

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

**Научный журнал Российской академии наук
(издается под руководством Отделения нанотехнологий
и информационных технологий РАН)**

Издается с 1989 года
Журнал выходит два раза в год

**Учредители:
Российская академия наук
Институт проблем информатики Российской академии наук**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

академик РАН И. А. Соколов — председатель Редакционного совета
академик РАН Г. И. Савин
академик РАН А. Л. Стемпковский
член-корреспондент РАН Ю. Б. Зубарев
профессор Ш. Долев (S. Dolev, Beer-Sheva, Israel)
профессор Ю. Кабанов (Yu. Kabanov, Besancon, France)
профессор М. Никулин (M. Nikulin, Bordeaux, France)
профессор В. Ротарь (V. Rotar, San-Diego, USA)
профессор И. Ушаков (I. Ushakov, San-Diego, USA)
профессор М. Финкельштейн (M. Finkelstein, Rostok, Germany)
профессор В. Хофкирхнер (W. Hofkircner, Wien, Austria)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

академик РАН И. А. Соколов — главный редактор
профессор, д.ф.-м.н. С. Я. Шоргин — заместитель главного редактора
д.т.н. В. Н. Захаров
профессор, д.т.н. В. Д. Ильин
профессор, д.ф.-м.н. Л. А. Калиниченко
д.т.н. В. А. Козмидиади
профессор, д.т.н. К. К. Колин
профессор, д.ф.-м.н. В. Ю. Королев
профессор, д.ф.-м.н. А. В. Печинкин
профессор, д.г.-м.н. Р. Б. Сейфуль-Мулюков
профессор, д.т.н. И. Н. Синицын
к.т.н. А. В. Филин
к.ф.-м.н. С. А. Христочевский

Редакция

профессор, д.г.-м.н. Р. Б. Сейфуль-Мулюков
к.ф.-м.н. Е. Н. Арутюнов
С. Н. Стригина (ответственный секретарь)

© Институт проблем информатики Российской академии наук, 2013

Журнал «Системы и средства информатики»
включен в «Перечень российских рецензируемых журналов,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», составленный ВАК

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 23 № 2 Год 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Скрытые каналы, порожденные метками, в дейтаграммах A. А. Грушо, Н. А. Грушо, Е. Е. Тимонина	6
Covert channels generated by tags in datagrams A. A. Grusho, N. A. Grusho, and E. E. Timonina	19
Топологическая модель изображений отпечатков пальцев В. Ю. Гудков, О. С. Ушмаев	22
Topological model of fingerprint image V. Yu. Gudkov and O. S. Ushmaev	33
Метод параллельных цепей для распознавания изображений отпечатков пальцев В. Ю. Гудков	35
Method of parallel circuits for fingerprint image recognition V. Yu Gudkov	48
Классификация людей по изображению лица на основе сравнительных признаков внешности В. С. Конушин, Т. М. Лукина, А. И. Кухаренко, А. С. Конушин	50
Person classification upon face image based on simile classifiers V. S. Konushin, T. M. Lukina, A. I. Kuharenko, and A. S. Konushin	59
Возрастная классификация людей по изображению лица на основе метода ранжирования и локальных бинарных шаблонов А. В. Рыбинцев, Т. М. Лукина, В. С. Конушин, А. С. Конушин	62
Age estimation upon face image based on local binary patterns and a ranking approach A. V. Rybintsev, T. M. Lukina, V. S. Konushin, and A. S. Konushin	72

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 23 № 2 Год 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Поиск соответствий между ключевыми точками изображений радужных оболочек глаз с помощью метода проекционной фазовой корреляции

E. A. Павельева

74

The search for matches between the iris key points using Hermite projection phase-only correlation method

E. A. Pavelyeva

86

Дискриминантный анализ для классификации и прогнозирования результатов лечения

M. А. Драницына, Т. В. Захарова

89

Discriminant analysis for classification and forecasting outcomes of the treatment

M. A. Dranitsyna and T. V. Zakharova

95

Исследование сложной задачи диагностики артериальной гипертензии в методологии искусственных гетерогенных систем

I. А. Кириков, А. В. Колесников, С. Б. Румовская

96

Study of the complex problem of arterial hypertension diagnostics in the methodology of artificial heterogeneous systems

I. A. Kirikov, A. V. Kolesnikov, and S. B. Rumovskaya

113

Агрегирование геоконцепций при генерализации карты с учетом логической согласованности и семантической точности

С. К. Дулин, Н. Г. Дулина, П. В. Ермаков

115

Aggregation geoconcepts for generalization maps, appropriate logical consistency and semantic accuracy

S. K. Dulin, N. G. Dulina, and P. V. Ermakov

131

Теоретические аспекты разработки методологии программирования рекуррентной архитектуры

Д. В. Хилько, Ю. А. Степченков

133

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 23 № 2 Год 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Theoretical aspects of programming methodology development for recurrent architecture D. Khilko and Yu. Stepchenkov	151
Методические вопросы формирования системы технического обеспечения информационно-телекоммуникационных сетей A. A. Зацаринный, Н. Г. Буроменский, А. И. Гаранин	154
Metogological questions of formation of the system technical support of information-telecommunication networks A. A. Zatsarinnyy, N. G. Buromienskii, and A. I. Garanin	166
К вопросу о сравнительной оценке эффективности ситуационных центров A. A. Зацаринный, Ю. С. Ионенков, А. П. Шабанов	170
On a comparative evaluation of situational centers efficiency A. A. Zatsarinnyy, Y. S. Ionenkov, and A. P. Shabanov	184
Формирование системы целей для ситуационного управления А. П. Сучков	187
Formation of the goals system for situational control A. P. Suchkov	196
Универсальный паттерн организации ситуационных центров A. В. Колесников, А. А. Меркулов	198
Universal pattern of organizations for the situational centers A. V. Kolesnikov and A. A. Merkulov	219

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 23 № 2 Год 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Программный продукт «Ситуационный центр VSM Cenose» A. В. Колесников, А. А. Меркулов	223
Situational Center VSM Cenose A. V. Kolesnikov and A. A. Merkulov	241
Предобработка данных и выявление логических закономерностей на основе генетического алгоритма В. Н. Гридин, В. И. Солодовников	244
Data preprocessing and extraction of logical rules based on the genetic algorithm V. N. Gridin and V. I. Solodovnikov	258
Архитектурные решения для систем вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий В. А. Минин, И. М. Зацман, В. А. Хавансков, С. К. Шубников	260
Information system conceptual decisions for assessment of linkages between science and technologies V. A. Minin, I. M. Zatsman, V. A. Havanskov, and S. K. Shubnikov	281
База данных «Труды сотрудников НЦВО РАН» как часть информационно-поисковой системы «Волоконная оптика» Т. А. Кочергина, Л. Д. Исхакова, Н. Е. Калёнов, М. М. Якшин	284
Database "FORC STAFF PROCEEDINGS" as a part of the "Fiber Optics Information System" T. A. Kochergina, L. D. Iskhakova, N. E. Kalenov, and M. M. Yakshin	295
Об авторах About Authors	297
Авторский указатель за 2013 г. 2013 Author Index	302
	305

СКРЫТЫЕ КАНАЛЫ, ПОРОЖДЕННЫЕ МЕТКАМИ, В ДЕЙТАГРАММАХ*

А. А. Грушо¹, Н. А. Грушо², Е. Е. Тимонина³

Аннотация: Скрытые каналы, порожденные метками, определяются выделением в потоке данных участков, длины которых являются кодами скрыто передаваемой информации. Выделение участков данных осуществляется с помощью меток. Метки проще скрыть от выявления или можно передать их по другому каналу. В работе такие скрытые каналы описываются парой в определенном смысле синхронизированных процессов. Рассматриваемый способ скрытой передачи позволяет передавать большой объем скрываемой информации при незначительных изменениях в легальном потоке данных. Приведены примеры таких скрытых каналов. Доказана корректность кодирования и декодирования скрываемой информации в таких каналах. Показана возможность использования таких скрытых каналов не только для скрытой передачи информации, но также и для контроля целостности. Найдены способы построения доказуемо невидимых меток для таких каналов. Невидимость обеспечивается криптографическими методами. Реализуемость рассмотренных методов подтверждена экспериментально. Компьютерный макет для экспериментов использует только открытое программное обеспечение (ПО).

Ключевые слова: скрытые каналы; контроль целостности; невидимость скрытых каналов; протоколы передачи дейтаграмм

DOI: 10.14357/08696527130201

1 Введение

Понятие скрытого канала было введено Лэмпсоном в [1]. Угрозы информационной безопасности, связанные с существованием скрытых каналов, рассматривались в [2–6]. В работе [7] введен новый класс скрытых каналов, для построения и описания которых потребовались новые подходы.

Данная работа является продолжением работы [7], и в ней рассматриваются особенности скрытых каналов, порожденных метками, в дейтаграммах.

При использовании стеганографии возникает несколько принципиальных ограничений [8, 9]. Чем больше требуется передать скрытой информации в заданном объеме легальной информации, тем выше опасность выявления скры-

*Работа поддержана РФФИ (грант 13-01-00215).

¹Институт проблем информатики Российской академии наук; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, grusho@yandex.ru

²Институт проблем информатики Российской академии наук, info@itake.ru

³Институт проблем информатики Российской академии наук, eltimon@yandex.ru

того канала и возможность искажения или уничтожения передаваемой скрытой информации. Рассматриваемый в статье способ скрытой передачи позволяет передавать большой объем скрываемой информации при незначительных изменениях в легальном потоке данных. Таким образом, этот тип канала является более опасным с точки зрения информационной безопасности, чем традиционные методы построения каналов скрытой передачи.

В связи с этим возникла необходимость изучения характеристик данного класса скрытых каналов. Только после глубокого изучения данного класса скрытых каналов можно ставить вопрос о построения эффективной защиты. Такой подход к защите информации от скрытых каналов предложен в [4].

2 Понятие синхронных процессов

Синхронизация двух процессов определяется с помощью понятия времени. Однако время может иметь различный смысл. Например, в двух приборах управление осуществляется с помощью общей тактовой частоты. Тогда синхронность событий в обоих приборах определяется равенством количества тактов до произошедших событий относительно некоторого общего начала отсчета. Синхронизация может определяться многомерным параметром, например двумерными координатами точки в двух изображениях. Можно определять синхронность событий в двух процессах передачи сигналов количеством сигналов, переданных в ходе каждого из процессов: например, числом пакетов, переданных из одного источника двум получателям, или количеством бит, переданных по двум различным каналам из одного источника.

Определение. Синхронизация двух процессов относительно параметра t — это возможность вычисления значений процесса при одинаковых значениях параметра t (или близких значениях параметра t).

Поскольку значения параметров, определяющих синхронность процессов, выражаются числами, то легко определить точность синхронизации двух событий как расстояние между значениями параметров этих отслеживаемых событий. Например, когда параметр синхронизации представляет собой время, определяемое действительными числами, точность синхронизации двух событий определяется модулем разности двух действительных чисел, характеризующих моменты отслеживаемых событий. Модуль разности между числами сигналов до отслеживаемых событий характеризует точность синхронизации, когда параметр, определяющий синхронизацию процессов, определяется числом дискретных сигналов.

3 Понятие метки и скрытые каналы, порожденные метками

В научной литературе [8–11] в основном принято считать, что стеганография реализуется с помощью встраивания скрытого сообщения в легальный контейнер.

Увеличение объема информации встраиваемого сообщения противоречит скрытности (невыявляемости) скрытой передачи. Вместе с тем возможно построение простых скрытых каналов, способных передавать информацию и не требующих встраивания длинных сообщений. Эти каналы основаны на идее меток [7]. Такие каналы устроены следующим образом.

Пусть заданы два синхронных относительно параметра t процесса. Каждый процесс передается по своему каналу связи. Один канал передает одинаковые сигналы (метки), которые соответствуют значениям неизвестного противнику параметра времени t . Метка представляет собой некоторый элемент передачи информации, который можно описать полубитом. Второй канал представляет собой синхронный с первым процессом относительно параметра t . Получатель информации второго канала получает значения параметра, в которые появляются метки в первом канале. Отсюда наблюдатель второго процесса знает длину промежутков значений процесса между сигналами первого процесса. Длина этих промежутков — это коды скрытой передаваемой информации.

Например, пусть отправитель передает пакеты через Интернет двум получателям. Пакеты, передаваемые второму получателю, занумерованы, и пусть скрываемое сообщение представляется целыми числами k_1, k_2, \dots В последовательности номеров пакетов выделяется подпоследовательность n_1, n_2, \dots , так что $n_{i+1} - n_i = k_i$, т. е. образует последовательность кодов скрываемых сообщений. Отправитель посыпает первому получателю пакеты в моменты времени посылки второму получателю пакетов с номерами n_1, n_2, \dots Пусть время у двух получателей информации синхронизировано (приблизительно) и моменты получения первым получателем пакетов известны второму получателю. Предположим, что, несмотря на погрешности Интернета, момент получения пакета первым получателем однозначно определяет номер передаваемого пакета второму получателю. Тогда вторым получателем однозначно восстанавливается последовательность n_1, n_2, \dots , а вместе с ней и скрываемая последовательность k_1, k_2, \dots При этом содержание пакетов совершенно не несет никакой скрытой информации. Синхронизация достигается с помощью GPS (global positioning system) с некоторым разрешенным допуском в связи с разным временем прохождения пакетов в сети. Секретность передачи строится на следующем. Противник не должен наблюдать одновременно оба канала, и параметр синхронизации обоих процессов ему не должен быть известен. Противник может наблюдать по отдельности каждый из каналов, но он не может получить скрытую информацию, так как второй канал не несет секретной информации без меток, а канал для передачи меток не содержит информации о втором канале и способе синхронизации процессов (или метки для противника являются «невидимыми» [12]).

Особый интерес представляет многоканальная передача с использованием меток [7]. Приведем примеры таких скрытых каналов. В компьютерной системе два микропроцессора могут функционировать под управлением одной такто-

вой частоты. Тогда модификация передаваемых импульсов (*glitch*) или сбой синхронизации (*timing glitch*) могут являться метками при скрытой передаче информации при наличии таймеров в передающем и принимающем микропроцессоре [13]. В случае побитовой передачи или автономном генераторе тактовой частоты в микропроцессоре промежутки между изменениями электрических сигналов можно измерять в количестве переданных битов. Секретность строится на том, что форма сигналов не регистрируется цифровыми приборами [12], поэтому прибор, регистрирующий цифровой канал, не видит меток на физическом уровне представления битов, а сложная техническая процедура регистрации формы сигналов трудно синхронизируется с цифровыми данными.

Данный вид стеганографии легко встраивается в открытые сообщения. Для этого можно использовать принцип запретов [14, 15]. Пусть выписан некоторый набор часто встречающихся слов, порядок выписывания определяется ключом. Под каждым из этих слов выписываются его синонимы. Первая встреча слова из такого списка является запретом, т. е. после этого случайное появление первого и второго слова из этого списка запрещены и заменяются синонимами. Использование второго слова (после первого) из этого списка определяет промежуток текста, длина которого является кодом части скрываемой информации. После появления второго слова случайное появление второго и третьего слов запрещены и заменяются на синонимы. Далее появляется третье слово, и оно определяет участок текста, являющийся вторым кодовым словом, и т. д. Используя последовательность запретов можно передавать последовательность скрываемой информации любой длины. При этом частоты встречаемости отдельных синонимов остаются такими же, как в открытом сообщении.

Построение такого скрытого канала не является простой задачей, однако такой канал не использует синтаксических признаков, позволяющих выявлять скрытые каналы с помощью автоматизированных средств даже статистическими методами [16].

Можно считать, что данные каналы обладают двумя пропускными способностями:

- (1) первая пропускная способность связана с объемом скрываемой информации, передаваемой по скрытому каналу. Эта информация предназначена получателю;
- (2) вторая пропускная способность связана с количеством меток, встраиваемых в легальное сообщение относительно объема всего легального сообщения.

Вторая пропускная способность может стремиться к 0. Информация кодируется промежутками между метками. Длина промежутка является кодом некоторого блока скрываемой информации. Длина скрываемого сообщения и длина промежутка между метками часто связаны показательной функцией. Поэтому с увеличением длины кодируемых блоков экспоненциально растет расстояние

между метками. Отсюда следует стремление к 0 пропускной способности канала с метками.

4 Корректность кодирования и декодирования в скрытых каналах, порожденных метками

В данном разделе ограничимся случаем, когда скрываемая информация является двоичной последовательностью. Легальная последовательность представляет собой передачу произвольных символов или сигналов. Метки определяются некоторым выделением отдельных символов в легальной передаче.

Рассмотрим три способа кодирования и декодирования двоичной последовательности в легальной последовательности символов с помощью меток.

Первые два способа основаны на взаимно однозначном соответствии целых неотрицательных чисел и векторов коэффициентов их двоичных представлений.

Первый способ предполагает, что на передающем и приемном конце известно натуральное число m , которое соответствует разбиению скрываемой двоичной последовательности на блоки длины m . Каждому m -битному блоку соответствует натуральное число от 0 до $2^m - 1$. Предположим, что легальная информация передается блоками длины 2^m . Например, 16-разрядная шина, 32-разрядная шина, 64-разрядная шина. Тогда m может равняться соответственно 4, 5 и 6 битам. Пусть метка выделяет один разряд в легально передаваемом блоке. Тогда длина участка легального блока от начала до метки включительно определяет участок скрываемой двоичной последовательности длины m , т. е. в данном случае возможно однозначное декодирование. В рассмотренном случае метку, определяющую начало кода скрываемого блока, определяет начало каждого легального блока информации. Это позволяет ограничиться одной меткой на один блок легальной информации.

Предположим, что разделение легальной информации на блоки отсутствует, но скрываемая двоичная последовательность по-прежнему разбита на блоки длины m . Тогда неотрицательное целое число, определяемое блоком длины m , определяется либо точкой отсчета, либо последним знаком легальной передачи, выделенным меткой. Число промежутков между символами легальной передачи до символа, выделенного меткой, определяет неотрицательное целое число, двоичное представление которого в виде m -мерного вектора однозначно определяет принятый скрытый вектор. Для передаваемой блоками длины m скрываемой двоичной последовательности существует очень простой способ кодирования и декодирования. Рассмотрим таблицу из двух столбцов. В первом столбце выписываются все 2^m двоичных векторов, а во втором выписываются отвечающие этим двоичным векторам неотрицательные целые числа. Эта таблица позволяет кодировать и декодировать сообщения, передаваемые метками, так как расстояние между двумя метками определяется однозначно.

Второй способ не предполагает деления скрываемой двоичной последовательности на блоки фиксированной длины. В этом способе определяется только верхняя граница участка двоичной последовательности, которая кодируется длинами между метками. В этом случае размер блока не фиксируется, но ограничивается сверху некоторой длиной t . Как это принято в записи представления неотрицательных целых чисел, длина представления определяется максимальным ненулевым разрядом. Длину 0 имеет только двоичная последовательность 0. Код этой последовательности определяется меткой, которая выделяет первый символ легальной последовательности после последней метки, или от начала отсчета. Старший разряд всех остальных двоичных чисел до длины t начинается с 1 и определяет целое число между 0 и 2^m . Декодирование происходит следующим образом. Длина промежутка между метками определяет целое неотрицательное число, двоичное разложение которого приписывается к восстановленной части скрываемой двоичной последовательности в порядке от старшего разряда к младшему. Если число равно 0, то восстановление двоичной последовательности происходит на один бит, равный 0. Таким образом, декодирование в этом случае также происходит однозначно.

Данный способ менее экономный, чем предыдущий, так как здесь кодируются блоки, меньшие или равные t в зависимости от положения старшего разряда. Однако данный способ не предполагает знания размера блока при кодировании.

Третий способ предполагает разбиение скрываемой двоичной последовательности на серии из 0 и 1. Такое разбиение определяет последовательность целых положительных чисел, каждое из которых является длиной очередной серии. Однако при этом способе декодирование скрываемой последовательности возможно с точностью до двух вариантов. Первый вариант принимает первую серию за серию, состоящую из 0, второй вариант — за серию, состоящую из 1. После этого последовательность восстанавливается однозначно, так как серии из 0 и 1 чередуются. Еще одним недостатком этого способа является то, что длина какой-нибудь серии может быть слишком большой и не помещаться в допустимые размеры легальной передачи. Однако преимуществом этого способа является то, что он самый экономный.

5 Скрытые каналы и контроль целостности, основанные на метках в дейтаграммах

Одной из проблем, возникающих при построении скрытых каналов через Интернет, основанных на метках и потоках пакетов, является выделение в качестве меток пакетов в потоке, который будет проходить через получателя скрываемой информации. В принципе, для такого выделения можно использовать любой из методов стеганографии, использующих особенности формата протоколов стека TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) [17].

Однако можно предложить другие способы установки меток, позволяющие скрыто передавать информацию как в дейтаграммах, так и в потоках дейтаграмм. Кроме того, эти методы можно с успехом использовать для контроля целостности дейтаграмм.

Пусть на приемном и передающем концах синхронно работают генераторы двоичной последовательности (гаммы), а легальная последовательность представляет собой равновероятную последовательность, состоящую из 0 и 1. Как правило, мультимедийные и многие другие данные перед передачей в сеть сжимаются. Сжатие приводит к увеличению энтропии и создает предпосылки для того, чтобы рассматривать эту последовательность как случайную и равновероятную. Если изменить 1 бит в полях, целостность которых контролируется помехозащищенным кодом, то такие пакеты будут отбрасываться модулем TCP/IP. Искажение пакета является меткой. Если на приемном конце известно, в каком месте произошло искажение, то можно обратно изменить соответствующий бит. Тогда контроль целостности исходного пакета не выявит ошибок и такой пакет будет обрабатываться как правильный пакет. Если пакет был подменен, то операция изменения бита на приемном конце приведет к нарушению целостности, и в результате подмененные пакеты будут выброшены из принимаемого потока пакетов. Таким образом, можно контролировать целостность пакетов.

При организации скрытой передачи искажению подвергается тот бит или байт в пакете, который определяет метку в передаваемых данных (от начала пакета). Выявление метки можно производить следующим образом. Последовательно от начала данных исправляются биты и подаются на блок контроля целостности. Если очередной исправленный бит дает положительный результат по контролю целостности, то полученное место является меткой в данных. При скрытой передаче с помощью изменения одного бита в пакете и восстановлении метки с помощью контрольной суммы (последовательное опробование битов до выявления с помощью контрольной суммы искаженного бита) однозначность восстановления определяется тем, что вероятность возникновения ложного варианта крайне мала. Возможность появления ложных вариантов можно определять так же, как это делается в криптографии при вычислении расстояния единственности [18]. Как правило, эта граница определяется условием, что математическое ожидание числа ложных вариантов не меньше 1.

Часто вероятность случайного совпадения с контрольной суммой имеет порядок 10^{-3} – 10^{-4} . Если число вариантов опробования метки не меньше чем 10^3 – 10^4 , то в среднем появляется не менее одного ложного варианта метки. Таким образом, стойкость контроля целостности определяется числом перебираемых вариантов изменений бита, при котором можно получить случайное совпадение контрольной суммы, а возможность передачи метки в описанном выше скрытом канале определяется тем, что число вариантов опробования места искаженного бита должно быть меньше 10^3 – 10^4 .

Приведем примеры нескольких способов построения меток, которые обеспечивают достаточно малую вероятность ложного выявления метки.

Изменим немного рассмотренные выше схемы. При контроле целостности и расположении метки в пределах 256 бит появление случайного сбоя маловероятно, поэтому для опробования одного бита требуется не более 256 вариантов, что делает эту схему очень слабой. Для внесения одного бита метки на любое из 256 мест требуется 1 байт. Предположим, что для контроля целостности используется на 256 местах 3 измененных бита (метки). Для порождения этих меток требуется 3 байта гаммы. Однако для выявления этих меток требуется в среднем не меньше $10^{5,9}$ вариантов опробования, что больше 10^4 (граница случайного восстановления контрольной суммы).

Схему контроля целостности можно перенести на 256 байт следующим образом. Генератор псевдослучайных чисел вырабатывает 2 случайных байта, первый из которых определяет место метки, а второй — случайную гамму, которая суммируется по модулю 2 (или 256) с байтом, стоящим на месте метки. Если противник организует переборный процесс с целью получения правильной контрольной суммы, то ему потребуется в среднем $10^{4,2}$ вариантов опробования, что больше 10^4 , т. е. ему проще найти ложный вариант исправления пакета.

Отметим, что в рассматриваемых схемах контроля целостности синхронизация каналов, передающих данные и метки, является очевидной. Однако сами метки являются «невидимыми» [12]. Также «невидимые» метки можно построить в скрытом канале без проверки контрольной суммы.

Пусть в тексте из N двоичных байтов необходимо поместить метку длиной k байт. В данном случае предполагается внесение метки на этапе формирования массива данных. На передающем и приемном концах синхронно работают генераторы псевдослучайных чисел, а данные описываются равновероятной моделью. Метка строится следующим образом. Выделяется место метки, к k байтам данных от места метки прибавляются k байт псевдослучайной гаммы. После полученных при сложении k байт вписываются k байт, выделенных от метки ранее (до сложения с гаммой) данных. Далее продолжаются данные до следующей метки.

Такие метки являются абсолютно невидимыми, так как для любой пары из соседних k байт данных существует гамма, которая равна их разности. Гамма противнику не известна, поэтому он не может определить, какая истинная гамма использовалась при формировании метки. Получатель данных знает используемую гамму и путем последовательного вычитания соседних k -байтных векторов получает место, в котором получается истинная гамма, и соответственно восстанавливает метку.

Однако истинная гамма может возникнуть случайно для некоторой пары k -байтных векторов. Поэтому k должно быть выбрано таким образом, чтобы сделать вероятность случайного появления истинной гаммы достаточно малой.

Для $k = 1$ вероятность случайного появления истинной гаммы равна 2^{-8} , для $k = 2$ эта вероятность равна 2^{-16} .

6 Экспериментальная проверка результатов

Основной задачей этого раздела является экспериментальное доказательство реализуемости методов контроля целостности и скрытой передачи с использованием стандартного помехозащищенного кода в рамках существующего стека протоколов TCP/IP. С этой целью алгоритм передачи и приема данных был разбит на блоки, каждый из которых был реализован с помощью открытого ПО. Работа алгоритмов проверялась на специально созданном макете.

6.1 Состав и настройка макета

Макет состоит из 2 персональных компьютеров (ПК), соединенных между собой сетью Ethernet с произвольной скоростью. АдAPTERы этих ПК должны поддерживать «неразборчивый режим», т. е. такой режим, при котором сетевой адаптер может принимать все пакеты, появляющиеся в сети, даже если они предназначены другому узлу. Также на данных адаптерах должна быть отключена опция проверки контрольных сумм всех типов входящих пакетов (эта опция появилась на сетевых картах не так давно). На каждом из ПК установлено следующее ПО:

- операционная система Windows XP;
- библиотека PCAP (Packet Capture) для работы с сетевыми адаптерами на уровне NDIS (Network Driver Interface Specification);
- среда cygwin для специализированного ПО;
- windump — для получения сетевого трафика и записи его в файл;
- bittwist — для передачи полученного сетевого трафика в сеть;
- NetSndRcvUDP — специальное ПО, которое может принимать и передавать данные по сети, используя при этом UDP (User Datagram Protocol) протокол;
- Hex Editor Neo — редактор файлов в HEX.

Сетевые адAPTERы на ПК настроены следующим образом:

- ПК 1 — IP-адрес: 192.168.1.1 (далее по тексту — сервер);
- ПК 2 — IP-адрес: 192.168.1.2 (далее по тексту — клиент).

На сервере запущена программа NetSndRcvUDP в режиме прослушивания 83 портов, а также программа windump в режиме записи полученного сетевого трафика в файл. На клиенте запущена программа NetSndRcvUDP в режиме клиента (рис. 1).

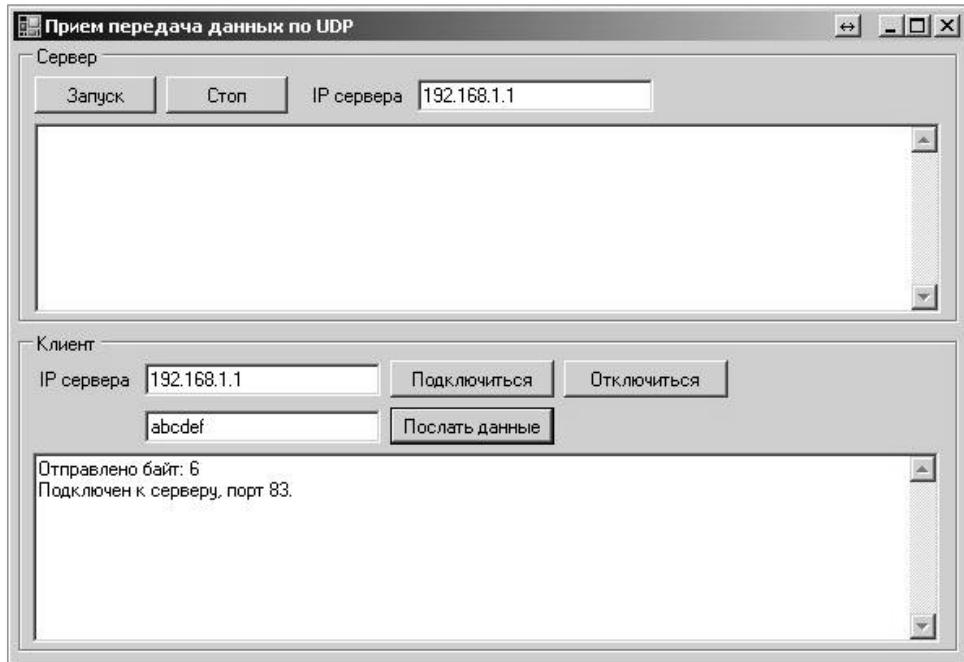


Рис. 1 Передача UDP-пакета на сервер

6.2 Передача и перехват легального сообщения от клиента к серверу

Передача сообщения «abcdef» от клиента к серверу осуществляется с помощью программы NetSndRcvUDP, запущенной на клиенте. В это время в программе NetSndRcvUDP появится сообщение: «Получены данные — 6 байт — abcdef». Программа windump, запущенная на сервере, запишет в файл полученный UDP-пакет. С помощью программы Hex Editor Neo можно просмотреть содержимое записанного пакета (рис. 2).

Первые 40 байт этого файла — это заголовок библиотеки PCAP, далее следуют данные полученного IP-пакета, внутри которого инкапсулирована UDP-дейтаграмма, содержащая текст «abcdef».

6.3 Модификация записанного сетевого пакета и отправка его в сеть

С помощью программы Hex Editor Neo изменим текст сообщения в записанном с помощью WinDump файле, заменив букву «f» в UDP-дейтаграмме на «z». При этом контрольная сумма заголовка IP останется правильной, а контрольная сумма UDP-дейтаграммы будет нарушена. С помощью программы bittwist,

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0a	0b	0c	0d	0e	0f	
00000000	d8	c3	b2	a1	02	00	04	00	00	00	00	00	00	00	00	00	ГИЎ.....
00000010	60	00	00	00	01	00	00	00	ac	ea	26	52	37	7d	09	00	'.....-R&R7}..
00000020	3c	00	00	00	3c	00	00	00	08	00	27	d5	a2	56	08	00	<...<....'ХўV..
00000030	27	cc	d6	67	08	00	45	00	00	22	00	56	00	00	80	11	'МЦg..E.."V..B.
00000040	b7	21	c0	a8	01	02	c0	a8	01	01	04	10	00	53	00	0e	•!АЁ..АЁ.....S..
00000050	4d	ee	61	62	63	64	65	66	01	02	00	8a	00	ac	00	00	Moabcdef...J.-..
00000060	20	45	4f	45	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	EOE.....	
00000070	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
00000080	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..

Рис. 2 Принятый UDP-пакет на сервере

запущенной на сервере, можно отправить модифицированный пакет обратно в сеть. В данном случае возникает следующая ситуация: пакет, предназначенный для сервера, отправляется в сеть с сетевого адаптера самого сервера. Сетевой адаптер, прочитав данные из этого пакета, произведет его прием. По факту передача в физическую среду сети не происходит. Происходит лишь передача и следующий за этим прием на одном и том же сетевом адаптере. Такая ситуация является обычной и называется *loopback*. Полученный сетевым адаптером модифицированный пакет будет воспринят как обычные входные данные, т. е. пакет будет передан на обработку на сетевой уровень и далее.

6.4 Получение модифицированного UDP-пакета на сервере

На сервере с помощью запущенной во время передачи модифицированного пакета в сеть программы windump получим модернизированный пакет. С помощью программы Hex Editor Neo можно убедиться, что полученный (и записанный) пакет содержит измененные данные (с «f» на «z»). При этом в программе NetSndRcvUDP на сервере нет сообщения о том, что получены данные. Это означает, что прикладной уровень (по модели OSI — Open Systems Interconnections) не получил данных, т. е. нарушенная контрольная сумма привела к тому, что на транспортном уровне пакет был отброшен, как испорченный (рис. 3).

6.5 Восстановление пакета и доставка пакета серверу

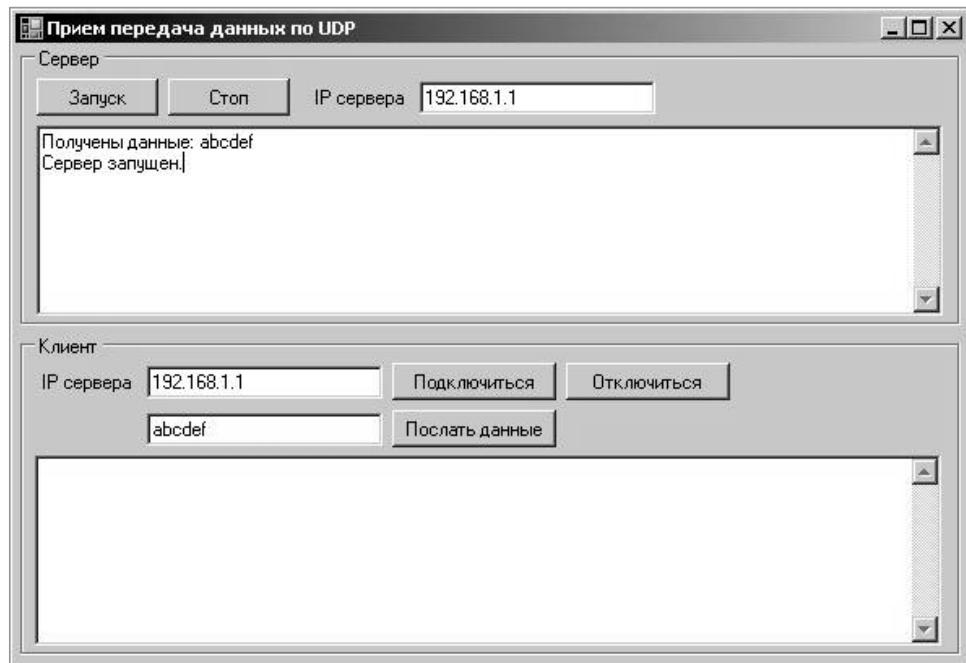
С помощью программы Hex Editor Neo восстановим пакет, т. е. произведем замену буквы «z» на букву «f» (см. рис. 2).

При этом контрольная сумма UDP-дейтаграммы будет правильной. С помощью программы bittwist, запущенной на сервере, можно отправить модифицированный пакет обратно в сеть. В данном случае возникает ситуация, описанная

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0a	0b	0c	0d	0e	0f	Encrypt...
00000000	d4	c3	b2	a1	02	00	04	00	00	00	00	00	00	00	00	00	Г҃ІЎ.....
00000010	60	00	00	00	01	00	00	00	ac	ea	26	52	37	7d	09	00	.....-к&R7}..
00000020	3c	00	00	00	3c	00	00	00	08	00	27	d5	a2	56	08	00	<...<....'ХЎV..
00000030	27	cc	d6	67	08	00	45	00	00	22	00	56	00	00	80	11	'М҃g..E.."V..B.
00000040	b7	21	c0	a8	01	02	c0	a8	01	01	04	10	00	53	00	0e	•!АЁ..АЁ....S..
00000050	4d	ee	61	62	63	64	65	7a	01	02	00	8a	00	ac	00	00	Moabcdez...Л.-..
00000060	20	45	4f	45	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	EOE.....
00000070	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Рис. 3 Модифицированный UDP-пакет, полученный на сервере

ранее: возникает loopback и полученный сетевым адаптером модифицированный пакет будет воспринят как обычные входные данные, т. е. пакет будет передан на обработку на сетевой уровень и далее. На рис. 4 видно, что программа NetSndRcvUDP приняла данные.

**Рис. 4** Прием восстановленного пакета сервером

Можно произвести захват пакета, его изменение и передачу обратно в сеть, даже если при этом будет нарушена контрольная сумма UDP-дейтаграммы. Получающая сторона примет пакет, что можно отследить с помощью windump, но сам пакет будет отброшен стеком на уровне обработки UDP-пакета, так как нарушена его контрольная сумма.

Таким образом, зная, где именно (в каком бите или байте) произведена замена, которая привела к нарушению контрольной суммы дейтаграммы, возможно восстановить значение этого бита или байта в исходное и отправить этот пакет в сторону получателя таким образом, чтобы получатель не заметил, что пакет был изменен и восстановлен.

Промежуток от начала UDP-дейтаграммы до измененного бита или байта может использоваться в качестве кода для скрытой передачи данных.

7 Заключение

Скрытые каналы, порожденные метками, отличаются тем, что при передаче сложных языковых форм они требуют простейших сигналов (меток), выделяющих участки синхронизированных процессов. Метки проще скрывать, они могут быть сделаны абсолютно невидимыми. Непротиворечивость скрытых каналов, порожденных метками, с протоколами передачи данных и использование этих протоколов не только в качестве носителей скрываемой информации позволяет говорить о практической реализуемости таких скрытых каналов. Нестандартная форма описания скрытых каналов, порожденных метками, требует построения новых математических моделей стойкости и устойчивости таких скрытых каналов.

Литература

1. Lampson B. W. A note of the confinement problem // Comm. ACM, 1973. Vol. 16. No. 10. P. 613–615.
2. A guide to understanding covert channel analysis of trusted systems. — National Computer Security Center, 1993. NCSC-TG-30. Ver. 1.
3. Грушо А. А., Тимонина Е. Е. Преодоление защиты от скрытых каналов // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2003. Т. 10. Вып. 3. С. 638–640.
4. Тимонина Е. Е. Анализ угроз скрытых каналов и методы построения гарантированно защищенных распределенных автоматизированных систем: Дисс. . . . докт. техн. наук. — М.: РГГУ, 2004. 204 с.
5. ГОСТ Р 53113.1-2008. Информационная технология. Защита информационных технологий и автоматизированных систем от угроз информационной безопасности, реализуемых с использованием скрытых каналов. Ч. 1. Общие положения. — М.: Изд-во стандартов, 2008. 12 с.
6. ГОСТ Р 53113.2-2009. Информационная технология. Защита информационных технологий и автоматизированных систем от угроз информационной безопасности,

- реализуемых с использованием скрытых каналов. Ч. 2. Рекомендации по организации защиты информации, информационных технологий и автоматизированных систем от атак с использованием скрытых каналов. — М.: Изд-во стандартов, 2009. 12 с.
7. Грушо Н. А. Скрытые каналы, основанные на метках // Системы и средства информатики, 2013. Т. 23. № 1. С. 7–13.
 8. Тимонина Е. Е. Скрытые каналы (обзор) // Jet Info, 2002. Т. 14. № 114. С. 3–11.
 9. Min Wu, Bede Liu. Multimedia data hiding. — N.Y.: Springer, 2003. 219 р.
 10. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — М.: СОЛООН-Пресс, 2002. 272 с.
 11. Коханович Г. Ф., Пузыренко А. Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. — К.: МК-Пресс, 2006. 288 с.
 12. Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е. Методы защиты информации от атак с помощью скрытых каналов и программно-аппаратных агентов в распределенных системах // Вестник РГГУ: Сер. Информатика. Защита информации. Математика, 2009. Вып. 10. С. 33–45.
 13. Skorobogatov S. P. Semi-invasive attacks — a new approach to hardware security analysis. Technical Report UCAM-CL-TR-630, April 2005. 144 с.
 14. Grusho A., Grusho N., Timonina E. Problems of modeling in the analysis of covert channels // Computer network security / Eds. I. Kotenko, V. Skormin. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. Vol. 6258. P. 118–124.
 15. Грушо А. А., Тимонина Е. Е. Запреты в дискретных вероятностно-статистических задачах // Дискретная математика, 2011. Т. 23. Вып. 2. С. 53–58.
 16. Grusho A., Timonina E., Kniazev A. Detection of illegal information flow // Computer network security / Eds. V. Gorodetsky, I. Kotenko, V. Skormin. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. Vol. 3685. P. 235–244.
 17. Ahsan K., Kundur D. Practical data hiding in TCP/IP // Workshop on Multimedia Security at ACM Multimedia'02 Proceedings. — Juan-les-Pins (on the French Riviera), 2002. 8 p. <http://www.gray-world.net/papers/acm02.pdf>.
 18. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: ИЛ, 1963.

COVERT CHANNELS GENERATED BY TAGS IN DATAGRAMS

A. A. Grusho¹, N. A. Grusho², and E. E. Timonina³

¹IPI RAN; M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
grusho@yandex.ru

²IPI RAN, Moscow, Russia, info@itake.ru

³IPI RAN, Moscow, Russia, eltimon@yandex.ru

Abstract: The covert channels generated by tags are defined by separation in a data stream of sections which lengths are the codes of hidden transmitted data.

Separation of sections of data is carried out with the help of tags. It is simpler to hide tags from detection, or it is possible to transfer them on other channel. In the paper, such covert channels are described by a couple of synchronized processes. The considered method of the hidden transmission allows to transfer large amount of hidden information in case of minor changes in a legal data stream. Examples of such covert channels are given. The correctness of coding and decoding of hidden information in such channels is proved. Such covert channels can be used not only for hidden information transfer, but also for integrity monitoring. Methods of creation of proved invisible tags for such channels are found. Invisibility is provided with cryptography methods. Implementation ability of the considered methods is confirmed experimentally. The computer prototype for experiments uses only the open software.

Keywords: covert channels; integrity monitoring; invisibility of the covert channels; transfer protocols of datagrams

DOI: 10.14357/08696527130201

Acknowledgments

The work is supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant 13-01-00215.

References

1. Lampson, B. W. 1973. A note of the confinement problem. *Comm. ACM* 16(10):613–15.
2. National Computer Security Center. 1993. A guide to understanding covert channel analysis of trusted systems. NCSC-TG-30. Ver. 1.
3. Grusho, A. A., and E. E. Timonina. 2003. Preodolenie zashhity ot skrytyh kanalov [Overcoming of protection against the covert channels]. *Obozrenie prikladnoj i promyshlennoj matematiki* [Review of Applied and Industrial Mathematics] 10(3):638–40.
4. Timonina, E. E. 2004. Analiz ugroz skrytyh kanalov i metody postroenija garantirovanno zashhhennyh raspredelennyh avtomatizirovannyh system [The analysis of threats of the covert channels and methods of creation of guaranteed protected distributed automated systems]. D.Sc. Diss. M.: Russian State University for the Humanities. 204 p.
5. GOST R 53113.1-2008. 2008. Informacionnaja tehnologija. Zashhita informacionnyh tehnologij i avtomatizirovannyh sistem ot ugroz informacionnoj bezopasnosti, realizuemyh s ispol'zovaniem skrytyh kanalov. Ch. 1. Obshchie polozhenija [Information technology. Protection of information technologies and automated systems against the threats of the information security implemented with use of covert channels. Part 1. General provisions]. M.: Publishing House of Standards. 12 p.
6. GOST R 53113.2-2009. 2009. Informacionnaja tehnologija. Zashhita informacionnyh tehnologij i avtomatizirovannyh sistem ot ugroz informacionnoj bezopasnosti, realizuemyh s ispol'zovaniem skrytyh kanalov. Ch. 2. Rekomendacii po organizacii zashhity informacii, informacionnyh tehnologij i avtomatizirovannyh sistem ot atak s

- ispol'zovaniem skrytyh kanalov [Information technology. Protection of information technologies and automated systems against the threats of the information security implemented with use of covert channels. Part 2. Recommendations about the organization of information security, information technologies and automated systems from attacks with use of the covert channels]. M.: Publishing House of Standards. 12 p.
7. Grusho, N. A. 2013. Skrytye kanaly, osnovанные на метках [Covert channels generated by tags]. *Systems and Means of Informatics* 23(1):7–13.
 8. Timonina, E. E. 2002. Skrytye kanaly (obzor) [Covert channels (review)]. *Jet Info* 14(114):3–11.
 9. Min, Wu, and L. Bede. 2003. *Multimedia data hiding*. N.Y.: Springer. 219 p.
 10. Gribunin, V. G., I. N. Okov, and I. V. Turincev. 2002. *Cifrovaja steganografija [Digital steganography]*. M.: SOLON-Press, 272 p.
 11. Kohanovich, G. F., and A. Ju. Puzyrenko. 2006. *Komp'juternaja steganografija. Teoriya i praktika [Computer steganography. Theory and practice]*. Kiev: MK-Press. 288 p.
 12. Grusho, A. A., N. A. Grusho, and E. E. Timonina. 2009. Metody zashhity informacii ot atak s pomoshch'ju skrytyh kanalov i programmno-apparativnyh agentov v raspredelennyh sistemah [Information security methods from attacks with the help of covert channels and hardware-software agents in distributed systems]. *Vestnik RGGU: Nauchnyj zhurnal: Serija "Informatika. Zashhita informacii. Matematika"* [RSUH Bulletin. Sci. J.: "Information Science. Information Security. Mathematics"] 10:33–45.
 13. Skorobogatov, S. P. 2005. Semi-invasive attacks—a new approach to hardware security analysis. Technical Report UCAM-CL-TR-630. 144 p.
 14. Grusho, A., N. Grusho, and E. Timonina. 2010. Problems of modeling in the analysis of covert channels. *Computer network security*. Eds. I. Kotenko and V. Skormin. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 6258:118–24.
 15. Grusho, A. A., and E. E. Timonina. 2011. Prohibitions in discrete probabilistic statistical problems. *Discrete Math. Appl.* 23(2):53–58.
 16. Grusho, A., E. Timonina, and A. Kniazev. 2005. Detection of illegal information flow. *Computer network security*. Eds. V. Gorodetsky, I. Kotenko, and V. Skormin. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 3685:235–44.
 17. Ahsan, K., and D. Kundur. 2002. Practical data hiding in TCP/IP. *Workshop on Multimedia Security at ACM Multimedia'02 Proceedings*. Juan-les-Pins, France. 8 p. <http://www.gray-world.net/papers/acm02.pdf>.
 18. Shannon, K. 1963. *Raboty po teorii informacii i kibernetike [Works on theory of informatics and cybernetics]*. M.: IL [Foreign Literature Publs.].

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ

В. Ю. Гудков¹, О. С. Ушмаев²

Аннотация: Предложена новая модель изображения отпечатка пальца, в состав которой входят геометрические и топологические характеристики окрестностей частных признаков. Для построения модели изображения отпечатка пальца в окрестности каждого частного признака — разветвления или окончания папиллярной линии — исследуются топологические отношения между этими признаками. Примером топологического отношения является факт расположения двух частных признаков на одной папиллярной линии. Для каждого частного признака строится список топологических отношений, к которому добавлены метрические отношения (расстояния между частными признаками). Далее полученная модель может применяться в задачах биометрической идентификации. Эксперименты показали, что одновременное использование для идентификации метрических и топологических отношений существенно увеличивает точность идентификации. На базах FVC2004 ошибка FNMR при FMR = 10^{-3} составила 2%.

Ключевые слова: топологические векторы; события; длина связи; отпечаток пальца; идентификация

DOI: 10.14357/08696527130202

1 Введение

Обычно идентификацию дактилоскопических изображений (ДИ) выполняют, сравнивая шаблоны, базис которых составляет описание частных признаков [1]. Они могут быть детектированы по серому изображению, однако простых методов для этого явно недостаточно [2–4]. Поэтому при построении шаблона опираются на скелет, показанный на рис. 1, как на формальную конструкцию изображения. Шаблоны, тяготеющие к классическому подходу, дополнительно снабжают гребневым счетом [4]. В настоящее время для доказательства индивидуальности узора применяют различные математические модели [3]. Каждая из таких моделей нацелена на повышение точности идентификации, однако неизвестно ни одной лучшей, свободной от недостатков модели [4].

¹Челябинский государственный университет, diana@sonda.ru

²Институт проблем информатики Российской академии наук, oushmaev@ipiran.ru

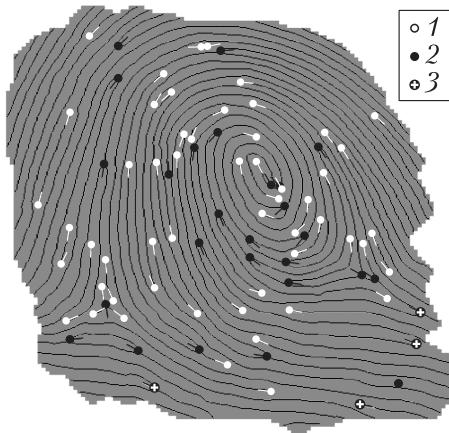


Рис. 1 Скелет и частные признаки: 1 — окончания линий; 2 — разветвления линий; 3 — окончания и разветвления, близко расположенные к неинформативной области (сомнительные)

Математическая модель должна содержать необходимое и достаточное количество признаков для уверенного распознавания изображений [2, 5]. В дактилоскопии под этим обычно понимают общие признаки, частные признаки и гребневый счет между ними [3]. Однако гребневый счет, являясь морфологической метрикой, не выдерживает критики. Действительно, в силу предписанного правила измерять гребневый счет вдоль прямой от точки до точки он не свободен от следующих недостатков [4, 6–8]:

- при мутации окончания в разветвление или разветвления в окончание гребневый счет может изменить значение;
- при измерении гребневого счета вдоль кривых линий его значение неопределенно;
- при смещении частных признаков вдоль линий гребневый счет может изменить значение;
- если прямая, вдоль которой измеряют гребневый счет, проходит вблизи другого частного признака, то значение гребневого счета неоднозначно;
- множество частных признаков, до которых измеряют гребневый счет для данного частного признака, условно ограничено.

В условиях помех и операционной неопределенности это приводит к увеличению ошибок идентификации и снижению производительности биометрических систем [9].

Первая попытка преодоления указанных недостатков на основе перехода от морфологических к топологическим характеристикам ДИ изложена в [6–8]. В данной статье предлагается развитие топологического подхода на основе шаблона изображения в виде отображения

$$\Gamma : \left\{ F_0^{(m)} \right\} \rightarrow \{L_m, L_s, L_v\}, \quad (1)$$

где $F_0^{(m)} = \left[f_0^{(m)}(x, y) \right]$ — скелет ДИ; L_m — список частных признаков; L_s — список общих признаков; L_v — список топологических векторов для частных признаков, снабженный длинами отрезков папиллярных линий.

2 Шаблон изображения

В работе шаблон ДИ по (1) представляется множеством из трех списков данных. Рассмотрим эти списки по порядку.

2.1 Список частных признаков

Список окончаний и разветвлений L_m находят в виде

$$L_m = \{M_i = \{(x_i, y_i), \alpha_i, t_i, s_i, v_i, \theta_i, p_i, h_i\} | i \in 1, \dots, n_1\}, \quad (2)$$

где M_i — частный признак; $|L_m| = n_1$ — мощность списка; i — индекс частного признака; (x_i, y_i) , α_i , t_i , s_i , v_i , θ_i , p_i и h_i — соответственно координаты, направление, тип, метка сомнительности, величина и направление кривизны, вероятность и плотность линий в окрестности частного признака. Частные признаки детектируют в информативной области изображения [1], которая на рис. 1 затемнена.

Координаты (x_i, y_i) частного признака M_i задают координатами вершины скелета [4]. Направление α_i как угол определяют простой цепью вершин скелета для окончания и тремя простыми цепями для разветвления [1]. Тип $t_i \in \{0, 1\}$ соответствует валентности вершины скелета как вершины графа [10], где 0 — разветвление, а 1 — окончание. Координаты (x_i, y_i) , направление α_i и тип t_i являются основными параметрами M_i при идентификации ДИ [3, 4].

Метку сомнительности $s_i \in \{0, 1\}$ определяют близостью частного признака к неинформативным областям (фону), причем 1 означает сомнительность. На границе информативных областей частные признаки не детектируют. Величину v_i и направление θ_i кривизны определяют по изменению направлений линий в некоторой окрестности ε частного признака M_i [4]. Вероятность p_i рассчитывают как отношение средней величины оценок качества изображения в окрестности ε к наилучшей оценке качества в информативной области ДИ [1]. Плотность линий h_i рассчитывают как среднее количество линий, умещающихся в окрестности ε на прямой, проведенной перпендикулярно линиям [4].

2.2 Список общих признаков

Список петель, дельт и завитков L_s находят в виде

$$L_s = \{S_i = \{(x_i, y_i), \alpha_i, t_i, s_i, p_i, h_i\} | i \in 1, \dots, n_2\},$$

где S_i — общий признак; $|L_s| = n_2$ — мощность списка; i — индекс общего признака; (x_i, y_i) , α_i , t_i , s_i , p_i и h_i — координаты, направление, тип, метка сомнительности, вероятность и плотность линий в окрестности общего признака. Величина и направление кривизны для общего признака теряют смысл и не используются. В целом список L_s подобен списку L_m по (2).

Координаты (x_i, y_i) общего признака S_i определяют координатами центра фигур (окружность, петля и дельта), вписанных в соответствующую область изображения. Направление $\alpha_i \in S_i$ определяют прослеживанием хода линий, а тип $t_i \in \{s_w, s_l, s_d\}$ определяют по характеру изгиба линий, где s_w — завиток, s_l — петля, s_d — дельта [1]. Координаты (x_i, y_i) , направление α_i и тип t_i являются основными параметрами S_i при идентификации ДИ [4].

Метку сомнительности $s_i \in \{0, 1\}$ определяют как вероятность p_i , меньшую заданной величины, причем 1 означает сомнительность. Вероятность p_i и плотность линий h_i рассчитывают аналогично (2), но окрестность ε выбирают значительно большего размера.

2.3 Список топологических векторов

Этот список L_v вычисляют на основе списка частных признаков L_m , слоя скелета $F_0^{(m)}$ и других матриц [1], элементы которых отображают локальные свойства ДИ.

Для каждого частного признака M_i синтезируют один топологический вектор V_i . Множество всех топологических векторов записывают в виде

$$L_v = \{V_i = \{e_j, l_j, n_j\} | i \in 1, \dots, n_1, j \in 1, \dots, m_t\}, \quad (3)$$

где V_i — топологический вектор для M_i ; $|L_v| = |L_m| = n_1$ — мощность списка; i — индекс топологического вектора, совпадающий с индексом частного признака; j — номер связи в топологическом векторе; e_j — событие, а l_j — длина связи, сформированная частным признаком с номером n_j ; m_t — количество связей, зависящее от типа частного признака t_i .

Опишем процедуру построения топологических векторов.

В области ясного ДИ выделяют линии и формируют стилизованное изображение в виде скелета. По скелету детектируют два типа частных признаков: окончания и разветвления [4]. На рис. 1 показаны направления частных признаков. Направление как угол указывает в область увеличения числа линий. Оно параллельно касательной к папиллярной линии в малой окрестности частного

признака M_i . Каждый частный признак нумеруют и описывают по (2): координатами, направлением, типом, меткой сомнительности, величиной и направлением кривизны, вероятностью и плотностью линий в окрестности ε частного признака. Затем от каждого частного признака фиксируют две проекции: вправо и влево перпендикулярно направлению частного признака на смежные скелетные линии. На рис. 2 проекции показаны пунктиром, а две соответствующие вершины скелета на линиях 1 и 2 закрашиваются «цветом проекции».

Выберем один частный признак M_i и проведем через координаты (x_i, y_i) вправо и влево сечение на глубину нескольких линий t перпендикулярно касательным к пересекаемым линиям и пронумеруем по спирали, разворачивающейся по часовой стрелке, рассеченные линии, которые назовем связями. Сечение проходит, отслеживая направление кривизны линий [1]. Глубина сечения t обычно варьируется от одной до восьми линий вправо и так же влево. Одна линия в сечении образует две связи. Число связей в топологическом векторе рассчитывается по формуле:

$$m_t = \begin{cases} 4m + 1, & \text{если } t_i \in \{1\} \text{ — окончание;} \\ 4m + 3, & \text{если } t_i \in \{0\} \text{ — разветвление.} \end{cases} \quad (4)$$

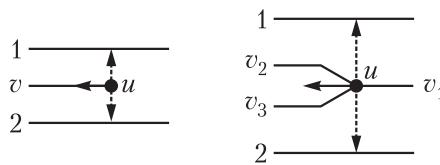


Рис. 2 Проекции от окончания и разветвления

Топологический вектор определяют по сечению методом слежения за ходом каждой связи от сечения до встречи с другим частным признаком, расположенным на связи, или с проекцией от него на связь. При этом на связях детектируют события, показанные на рис. 3. Каждому событию соответствует уникальный двоичный код.

С событием как двоичным числом, детектированным на связи, ассоциируют номер частного признака, инициирующего это событие. Событие привязано к номеру связи. Для событий 0000 и 1100 номера частных признаков отсутствуют. Нумерованный набор связей с заданными событиями и номерами частных признаков есть *базовый топологический вектор* (экономный). Событие и номер частного признака образуют упорядоченную пару. Событие может быть дополнено длиной связи от сечения до позиции, в которой детектируется это событие. Так формируется *расширенный топологический вектор*. Событие, номер частного признака и длина связи образуют упорядоченную тройку. Для событий 0000 и 1100 длины связей описывают информативные области, свободные от частных признаков. При этом длины связей, обрывающихся на краю отпечатка, устойчивы в том смысле, что не укорачиваются при полной прокатке пальца.

Местоположение бита в двоичном числе определяет тип частного признака, его направление по отношению к направлению хода связи, его местоположение

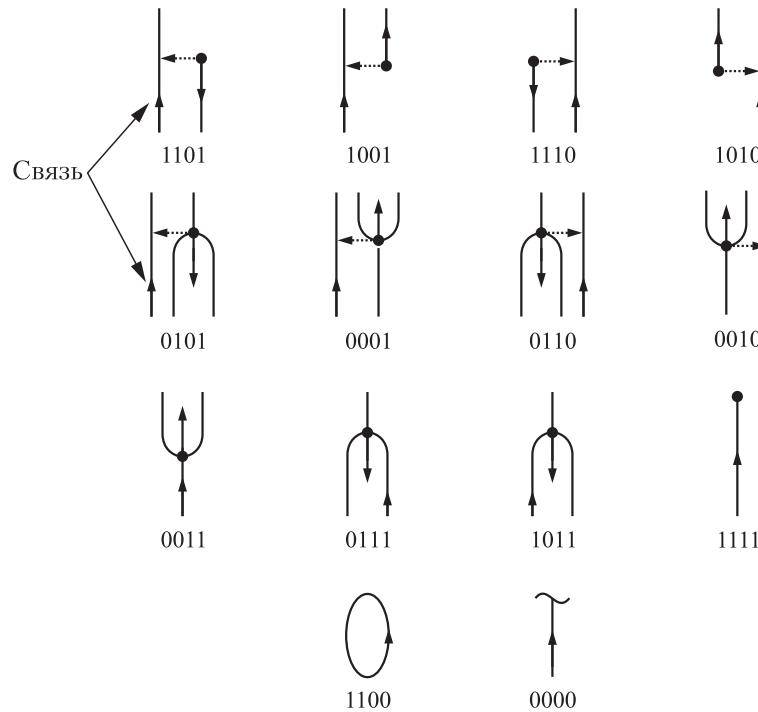


Рис. 3 События, детектируемые на связи

по отношению к связи и др. (см. рис. 3). События позволяют оперативно сопоставить (простыми компьютерными операциями) важную детальную информацию, необходимую для скоростной и надежной идентификации узора.

На рис. 4 и 5 сечения, которые разрезают линии на связи, пронумерованные по спирали, разворачивающейся по часовой стрелке, показаны пунктиром. Длины связей, соответствующие сечениям, в табл. 1 и 2 условно представлены символами.

При *мутациях* частного признака окончание замыкается в разветвление, а разветвление разрывается в окончание. Вследствие *мутаций* связи перенумеровываются, но их содержание сохраняется. Так, окончание на рис. 4 после мутации в разветвление приобретает топологическую структуру, показанную на рис. 5. Несложно синтезировать закон перенумерации связей для соответствующей мутации частного признака. Так, из табл. 1 и 2 видно, что третья связь для окончания перенумерована в нулевую связь для разветвления без изменения содержания, нулевая — во вторую и т. д.

Синтез топологического вектора выполняют для каждого частного признака, а последовательность действий — в информативной области, где прослеживают

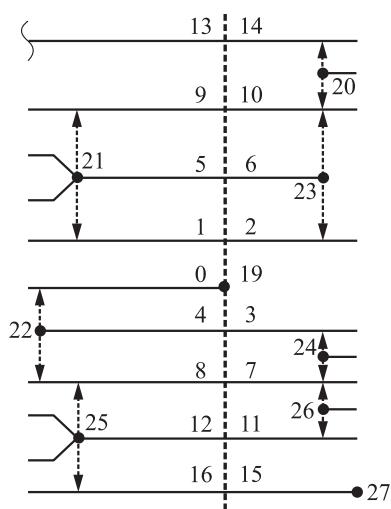


Рис. 4 Сечение для окончания

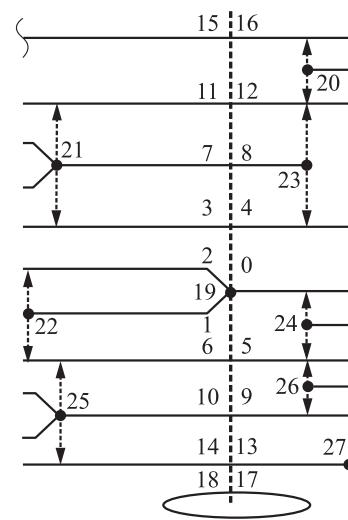


Рис. 5 Сечение для разветвления

Таблица 1 Вектор для окончания

Номер связи	Событие	Индекс	Длина связи
0	1110	22	l_0
1	0001	21	l_1
2	1110	23	l_2
3	1001	24	l_3
4	1111	22	l_4
5	0011	21	l_5
6	1111	23	l_6
7	1010	24	l_7
8	0010	25	l_8
9	0010	21	l_9
10	1010	20	l_{10}
11	1010	26	l_{11}
12	0011	25	l_{12}
13	0000	—	—
14	1001	20	l_{14}
15	1111	27	l_{15}
16	0001	25	l_{16}

Таблица 2 Вектор для разветвления

Номер связи	Событие	Индекс	Длина связи
0	1001	24	l_0
1	1111	22	l_1
2	1110	22	l_2
3	0001	21	l_3
4	1110	23	l_4
5	1010	24	l_5
6	0010	25	l_6
7	0011	21	l_7
8	1111	23	l_8
9	1010	26	l_9
10	0011	25	l_{10}
11	0010	21	l_{11}
12	1010	20	l_{12}
13	1111	27	l_{13}
14	0001	25	l_{14}
15	0000	—	—
16	1001	20	l_{16}
17	1100	—	—
18	1100	—	—

ход связи. Очевидно, что необходима сегментация узора на информативные и неинформативные области.

На этом синтез списка топологических векторов завершает.

Базовый топологический вектор инвариантен к повороту и переносу ДИ, масштабному преобразованию ДИ, линейным и нелинейным деформациям ДИ [1, 6]. Расширенный топологический вектор отражает морфологические свойства узора и теряет «топологическую чистоту». Если не учитывать несовершенство методов распознавания, то изменить содержание базового топологического вектора могут только дефекты изображения.

На рис. 4 в сечении для окончания 19 пронумерованы связи 0–16, а соответствующий топологический вектор представлен в табл. 1. Нумерация связей начинается с линии, на которой лежит окончание (связь № 0 на рис. 4). При глубине сечения $t = 4$ для окончания формируется семнадцать связей: $m_t = 17$. На рис. 5 в сечении для разветвления 19 пронумерованы связи 0–18, а соответствующий топологический вектор представлен в табл. 2. Нумерация связей начинается с линии, которая расщепляется на две другие линии (связь № 0 на рис. 5). При глубине сечения $t = 4$ для разветвления формируется девятнадцать связей $m_t = 19$ согласно (4).

Длины связей могут варьироваться в очень широких пределах: от 5 до 300 пикселов. Такое разнообразие длин связей обеспечивает высокую избирательность алгоритма идентификации, но их представление в шаблоне требует недопустимо много памяти. Компромиссным вариантом служит вычисление длин связей по модулю $l_j = l_j \bmod L$, где значение L выбирается из соображений сбалансированной компактности шаблона и избирательности алгоритма.

Предлагаемый базовый топологический вектор развивает работу американского изобретателя Sparrow [6–8], первым наметившего указанный подход. Простое сопоставление публикаций Sparrow с предлагаемой моделью выявляет следующие преимущества топологических векторов по (3):

- спиралевидный способ нумерации позволяет сохранить монотонность роста номеров связей при произвольном изменении глубины сечения t ;
- внутренние связи с номером $j \in 0, \dots, 4$ участвуют в формировании топологического вектора, что позволяет синтезировать однозначные правила перенумерации связей при различных мутациях частных признаков;
- сечение отслеживает направления кривизны узора, что повышает устойчивость топологического вектора при нелинейных деформациях узора;
- события представлены наиболее полно за счет использования проекций;
- полнота событий позволяет однозначно определить состав множества частных признаков, отраженных в топологическом векторе и определяемых структурой изображения, а не условными геометрическими характеристиками;

- числовая характеристика события не зависит от деформаций изображения, так как сечение отслеживает направление кривизны линий;
- длины связей дополняют топологические векторы новыми данными, не вычисляемыми на основе геометрических характеристик частных признаков, так как учитывают искривленность линий.

Топологический вектор несет информацию и о величине гребневого счета в виде номера связи, и совершенно новые данные. Так, из гребневого счета в общем случае невозможно определить, навстречу или по ходу связи ориентирован частный признак, справа или слева от связи он находится. Действительно, при анализе частных признаков, расположенных в области закручивающихся линий, геометрические характеристики не позволяют однозначно рассчитать событие, получаемое при прослеживании связи. Гребневый счет здесь не работает. Новые данные в виде событий обеспечивают более полную информацию о фрагменте узора, чем гребневый счет, а события и частные признаки позволяют реконструировать ДИ в виде ломанных линий [6].

Номер одного частного признака присутствует в различных топологических векторах. Образуется сильно связанный граф, по которому можно переходить от одного топологического вектора к другому. Это обеспечивает целостность и устойчивость описания узора. Число связей m_t по (4) играет важную роль. Их

количество влияет на вероятность того, что граф с вершинами V_i связный.

Топологические векторы позволяют описать структуру изображения на различном уровне. По сути, они формируют банк данных детального описания папиллярных узоров. Действительно, крючок образуется разветвлением, для которого событие 1111 находится на первой или второй связи, а длина связи мала. Фрагмент линии образуется двумя окончаниями, замыкающимися друг на друга нулевыми связями с малой длиной. Глазок образуется двумя разветвлениями, первая и вторая связи которых замыкаются на эти разветвления с событиями 0111 и 1011 и имеют малую длину. Мостик образуется двумя разветвлениями, для которых первая или вторая связь является общей, а длина связи мала. Эти часто встречаемые фрагменты узора представлены на рис. 6. Под малой длиной связи понимается величина, соизмеримая с локальным периодом линий.

Банк данных детального описания папиллярных узоров улучшает информативность признаков и точность идентификации [3, 4].

Кроме того, расположенные в определенных областях ДИ, эти информативные признаки могут порождать сигнатуры, позволяющие ускорить идентификацию ДИ в десятки раз.

3 Результаты экспериментов

По результатам исследований в компании Sonda Technologies разработано программное обеспечение для распознавания изображений отпечатков пальцев и их следов, содержащее функцию обработки изображения и функцию идентификации изображений по шаблонам. Функция обработки генерирует шаблоны, снабженные топологическими векторами для частных признаков, а функция идентификации вычисляет степень подобия шаблонов. Оценка качества работы этих функций без вычисления длин связей выполнена на тесте FVC 2004 [11], на котором 43 разработчика программ представили 67 алгоритмов распознавания ДИ. Результаты оценок в виде DET-кривых показаны на рис. 7.

На рис. 7 кривая 1 рассчитана на основе топологических векторов, не содержащих длины связей. Она построена на тесте FVC 2004 по базе изображений отпечатков пальцев DB1, снятых с оптического сенсора V300 фирмы Cross-Match. Видно, что алгоритм, использующий топологические векторы, допускает минимальные ошибки распознавания ДИ. Кривая 2 получена на той же базе изоб-

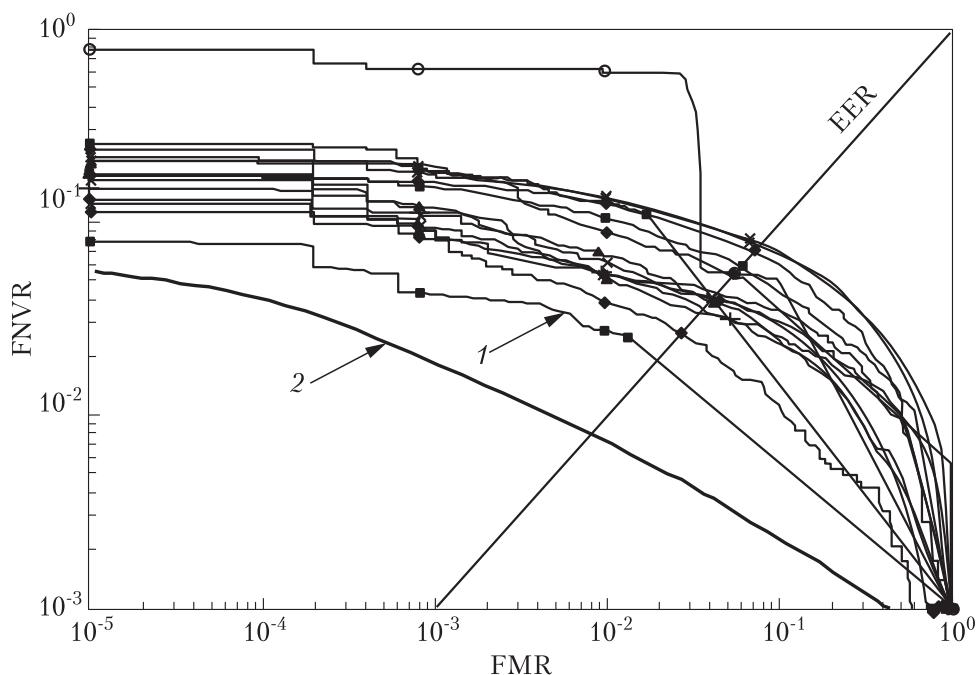


Рис. 7 Результаты экспериментов (FNMR — false not matching rate; FMR — false match rate; EER — equal error rate)

ражений DB1, но с учетом длин связей в составе топологических векторов. Эта кривая получена в лабораторных условиях. Величины ошибок идентификации существенно уменьшились.

4 Заключение

Предложена топологическая модель, для построения которой требуется выполнение сравнительно непростых методов обработки ДИ [1–3]. Эта модель сохраняется в шаблоне изображения. Граф каждой модели сильно связан и обладает высокой степенью избыточности, а ребра графа помечены длиной связи.

В тополого-геометрической модели с длинами связей используются новые способы представления шаблона ДИ. Объемом шаблона ДИ можно управлять выбором базового или расширенного топологического вектора, а также модулируя длины связей. Для некоторых режимов идентификации достаточно одного списка частных признаков.

Эксперименты показали, что идентификация ДИ на основе шаблонов, в состав которых входят тополого-геометрические векторы с длинами связей, может быть выполнена с повышенной точностью и надежностью. Преимущества новой модели по сравнению с ранее использованной показаны на примере теста FVC 2004.

Дальнейшее развитие работ планируется в направлении тополого-геометрического подхода для описания отрезков линий, а не точек.

Литература

1. Гудков В. Ю. Топологические модели и обработка изображений отпечатков пальцев. — Saarbrücken: LAP, 2011. 304 с.
2. Ковалевский В. А. Методы оптимальных решений в распознавании изображений. — М.: Наука, 1976. 328 с.
3. Komarinski P. Automated fingerprint identification systems. — N.Y.: Academic Press, 2005. 295 p.
4. Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Handbook of fingerprint recognition. — L.: Springer-Verlag, 2009. 496 p.
5. Gonçalves P., Budc P. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. под ред. П. А. Чочиа. — М.: Техносфера, 2006. 1072 с. (Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. — 3rd ed. — Prentice Hall, 2007. 976 p.)
6. Sparrow M. K., Sparrow P. J. A topological approach to the matching of single fingerprints: Development of algorithms for use on latent finger marks // U.S. Department of Commerce Nat. Bur. Stand. Spec. Publ., 1985. No. 500–126. 61 p.
7. Sparrow M. K. Fingerprint recognition and retrieval system. Pat. 4817183 USA, 28.03.89.
8. Sparrow M. K. Vector based topological fingerprint matching. Pat. 5631971 USA, 20.05.97.

9. Ушмаев О. С. Адаптация биометрической системы к искажающим факторам на примере дактилоскопической идентификации // Информатика и её применения, 2009. Т. 3. Вып. 2. С. 25–33.
 10. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов. — СПб.: Питер, 2001. 304 с.
 11. FVC 2004: Fingerprint verification competition. <http://bias.csr.unibo.it/fvc2004/results.asp>.
-
-

TOPOLOGICAL MODEL OF FINGERPRINT IMAGE

V. Yu. Gudkov¹ and O. S. Ushmaev²

¹Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia, diana@sonda.ru

²IPI RAN, Moscow, Russia, oushmaev@ipiran.ru

Abstract: The paper describes a new fingerprint image model which consists of topological and geometrical features of minutiae neighborhoods. To create a model, the authors suggest to calculate the topological features in the neighborhood of each fingerprint minutiae: ridge ending or bifurcation. The topological feature is the interrelation between two minutiae. An example of topological feature is the fact that two minutiae are situated on one ridge. Then, the list of topological features is constructed. Description of each feature is extended with metric information: distances between minutiae. Further, the proposed model is used for fingerprint identification. The experiments have shown that simultaneous usage of topological and metric features significantly improves the accuracy of fingerprint identification. On public available databases FVC2004, at $FMR = 10^{-3}$, FNMR is 2%.

Keywords: topological vectors; events; bond length; fingerprint; identification

DOI: 10.14357/08696527130202

References

1. Gudkov, V. Yu. 2011. *Topologicheskie modeli i obrabotka izobrazhenij otpechatkov pal'cev* [Topological models and fingerprint image processing]. Saarbrücken: LAP. 304 p.
2. Kovalevskiy, V. A. 1976. *Metody optimal'nyh reshenij v raspoznavanii izobrazhenij* [Methods of optimal solutions in image recognition]. M.: Nauka. 328 p.
3. Komarinski, P. 2005. *Automated fingerprint identification systems*. N.Y.: Academic Press. 295 p.
4. Maltoni, D., D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar. 2009. *Handbook of fingerprint recognition*. L.: Springer-Verlag. 496 p.

5. Gonzalez, R., and R. Woods. 2007. *Digital image processing*. 3rd ed. Prentice Hall. 976 p.
6. Sparrow, M. K., and P. J. Sparrow. 1985. A topological approach to the matching of single fingerprints: Development of algorithms for use on latent finger marks. U.S. Department of Commerce Nat. Bur. Stand. Spec. Publ. No. 500-126. 61 p.
7. Sparrow, M. K. 1989 (March 28). Fingerprint recognition and retrieval system. Pat. 4817183 USA.
8. Sparrow, M. K. 1997 (May 20). Vector based topological fingerprint matching. Pat. 5631971 USA.
9. Ushmaev, O. S. 2009. Adaptaciya biometricheskoy sistemy k iskazhayushhim faktoram na primere daktiloskopicheskoy identifikacii [Registration of distortions in automatic fingerprint identification]. *Informatics and Applications* 3(2):25–33.
10. Novikov, F. A. 2001. *Diskretnaya matematika dlya programmistov [Discrete mathematics for software engineers]*. SPb.: Piter. 304 p.
11. FVC 2004: Fingerprint verification competition. <http://bias.csr.unibo.it/fvc2004/results.asp>.

МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ

В. Ю. Гудков¹

Аннотация: Предложен новый метод обработки изображений отпечатков пальцев, основанный на совместном прослеживании направлений папиллярных линий в двух каналах — света и тени (вместо прослеживания одного канала). В областях с хорошим качеством изображения направления потока в обоих каналах прослеживаются достаточно четко. Но в областях плохого качества направления могут прослеживаться заметно хуже. После сглаживания изображения и построения светотеней в каждом сегменте изображения формируются цепочки точек минимальной и максимальной величины. На основе результатов прослеживания формируются гипотезы о направлении потока папиллярных линий по каждому каналу, после чего принимается общее решение о направлении потока. Прослеживание цепочек в двух каналах позволяет существенно увеличить точность измерения направлений и плотностей папиллярных линий в областях с низким качеством изображения. Предложенный метод устойчив к изменению ширины линий и просветов, разрывам линий и другим дефектам изображения. Результатом обработки изображения является поле направлений потока папиллярных линий с матрицей достоверности. Матрица достоверности рассчитывается по степени согласованности направлений в каналах света и тени. Такое уточнение направления потока позволяет существенно увеличить точность распознавания отпечатков пальцев за счет более качественного выделения информативных признаков: окончаний и разветвлений папиллярных линий.

Ключевые слова: отпечаток пальца; поле направлений; светотени; параллельные цепи

DOI: 10.14357/08696527130203

1 Введение

В компьютеризированных системах (КС) идентификацию изображений, как правило, выполняют после обработки изображений [1, 2]. При этом ошибки обработки напрямую влияют на ошибки идентификации, которые желательно минимизировать [3, 4].

При распознавании дактилоскопических изображений (ДИ) выделяют признаки, формирующие структуру самого ДИ. К таким основным признакам, согласно [5], относят: поле направлений линий, поле плотности линий и поле качества линий в виде матриц, размерность которых определяется сегментацией

¹Челябинский государственный университет, diana@sonda.ru



Рис. 1 Изображение отпечатка пальца

ДИ. В ячейку каждой такой матрицы записывают локально вычисленное значение признака (яркость, контрастность, градиент) [6]. Это случайная функция двух аргументов (координат), значение которой неизвестно до исхода эксперимента. Очевидно, что случайные поля [7], генерируемые обработкой, определяются распределением яркостей точек ДИ.

На рис. 1 представлено ДИ с дефектами, увеличивающими ошибки идентификации [5]. Это вынуждает разработчиков КС применять новые методы распознавания [2, 4].

2 Постановка задачи

Изображение как множество действительных чисел формируют в виде $F = \{f(x, y) | (x, y) \in X \times Y\}$ в прямоугольной области G мощностью $|G| = x_0y_0$, где $X = 0, \dots, x_0 - 1$ и $Y = 0, \dots, y_0 - 1$. Структурно обработку изображения представляют в виде пирамиды \mathfrak{R} слоев (препараторов изображения) из взаимосвязанных иерархий [3]. Сегментация l -го слоя k -й иерархии $F_k^{(l)}$ разбивает слой на $x_h y_h$ непересекающихся квадратных сегментов $S_{hk}^{(l)}(x, y)$ с длиной стороны 2^{h-k} и вершинами $(x, y) \in X_h \times Y_h$, где $k < h$ и h — номер иерархии; $X_h = 0, \dots, x_h - 1$ и $Y_h = 0, \dots, y_h - 1$. Доступ к каждой точке сегмента $S_{hk}(x, y)$ записывают в координатах $(u, v) \in \overline{X}_{hk} \times \overline{Y}_{hk}$:

$$\left. \begin{aligned} \overline{X}_{hk} &= \{u + x \cdot 2^{h-k} | x \in X_h \wedge u \in 0, \dots, 2^{h-k} - 1\}; \\ \overline{Y}_{hk} &= \{v + y \cdot 2^{h-k} | y \in Y_h \wedge v \in 0, \dots, 2^{h-k} - 1\}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

а центры сегментов $(u, v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h$ находят в виде:

$$\left. \begin{aligned} \hat{X}_h &= \{2^{h-1} + x \cdot 2^h | x \in X_h\}; \\ \hat{Y}_h &= \{2^{h-1} + y \cdot 2^h | y \in Y_h\}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для формализации методов классификационного анализа (КА) применяют прямолинейные щелевые $A_h(x, y, \alpha, w)$ и точечные $A_h^o(x, y, \alpha, w)$ апертуры. Их как множества в виде элементов (u, v, β) определяют по формулам:

$$\left. \begin{aligned} A_h(x, y, \alpha, w) &= \{(u, v, \beta) = (x + w_x, y + w_y, \beta) | w \in Z_w\}; \\ A_h^o(x, y, \alpha, w) &= \{(u, v, \beta) = (x + w_x, y + w_y, \beta) | w \in Z_w^o\}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $w_x = w \cos \alpha$ и $w_y = w \sin \alpha$; $(x, y) \in X_h \times Y_h$ — центр апертуры; $(u, v) \in X_h \times Y_h$ — точка апертуры; w — размер апертуры; множества $Z_w = 1, \dots, w$ и $Z_w^o = \{w\}$; α — угол направления апертуры. Угол, определяющий направление из центра (x, y) в точку (u, v) апертуры, находят в виде:

$$\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{v - y}{u - x} \right) + \pi n$$

при $n \in 0, \dots, 1$.

Алгоритм движения по точкам ДИ задается отношением:

$$R = \{(x_d, y_d) | d \in 0, \dots, 7\} \quad (4)$$

полного и строгого порядка по направлению движения d в 8-связанной области, где $(1, 0)$ есть элемент для $d = 0$.

Отношение R определяет функцию перехода $T_h^d(x, y)$ в h -й иерархии в направлении d . Функция описывает смещение как отдельной точки с координатами $(x, y) \in X_h \times Y_h$, так и синхронное смещение множества точек в виде:

$$T_h^d(\{(x, y)\}) = \{(a, b) = (x + x_d, y + y_d) | (a, b) \in X_h \times Y_h\}. \quad (5)$$

Задача заключается в построении помехоустойчивого метода измерения полей направлений ДИ с опорой на формальный аппарат (1)–(5).

Измерение полей направлений является частью общей задачи обработки ДИ, представляемой в виде последовательности процедур и функций, сгруппированных поэтапно, очередность выполнения которых определяется при разработке КС и реже — при обучении. Это увязывает слои пирамиды \mathfrak{R} между собой запрограммированной последовательностью отображения данных.

3 Метод параллельный цепей

На основе формализма (1)–(5) рассматривается коррекция изображения, его сглаживание, построение светотеней и измерение полей направлений. Собственно метод параллельных цепей применяется на этапе измерения полей направлений как набора случайных величин.

3.1 Коррекция изображения

Обычной процедурой КА является коррекция исходного изображения $F_0^{(0)} = \{f_0^{(0)}(x, y)\} = \{f(x, y)\} = F$ для обеспечения полного динамического диапазона яркостей:

$$F_0^{(1)} = \left\{ f_0^{(1)}(x, y) \right\} = \left\{ \frac{(f_0^{(0)}(x, y) - f_{\min})(2^b - 1)}{f_{\max} - f_{\min}} \right\}, \quad (6)$$

где f_{\max} и f_{\min} — наибольшее и наименьшее значение яркости изображения; b — глубина изображения [1]. Расчет f_{\min} и f_{\max} можно улучшить, опираясь на гистограмму яркостей или модулей градиента и задавая наименьший и наибольший процентили, по которым определяют f_{\min} и f_{\max} [4]. В последнем случае эти параметры функции (6) оценивают на этапе обучения программного объекта.

3.2 Сглаживание изображения

Данная процедура выполняется по формуле двумерной дискретной свертки

$$F_0^{(2)} = \left\{ f_0^{(2)}(x, y) \right\} = \left\{ \mathbf{H} * * f_0^{(1)}(x, y) \right\} \quad (7)$$

с ядром вида

$$\mathbf{H} = [h(i, j)] = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}.$$

Такая фильтрация применяется для расфокусировки изображения, преимущественно краев линий [3]. Это улучшает результаты КА, особенно для изображений, снятых с ксерокопий и содержащих обедненный состав серого цвета. Утверждать, что сглаживание исходного изображения может увеличить ошибки распознавания изображения при его обработке, не следует, так как слои $F_0^{(0)}$, $F_0^{(1)}$ и $F_0^{(2)}$ одновременно хранятся в памяти машины, а функции КА имеют доступ к любому слою пирамиды \mathfrak{R} .

3.3 Построение светотеней

Сглаженный слой $F_0^{(2)}$ по формуле (7) служит основой для формирования слоев светотеней $F_0^{(d+3)} = \left\{ f_0^{(d+3)}(x, y) \right\}$ по формуле двумерной дискретной свертки

$$F_0^{(d+3)} = \mathbf{H}^d * * F_0^{(2)}, \quad (8)$$

где $d \in D = 0, \dots, 3$ — четыре направления засветки изображения через 45° ;
 \mathbf{H}^d — маски Собела [3] в виде:

$$\mathbf{H}^0 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{H}^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \\ -2 & -1 & 0 \end{bmatrix}; \quad \dots; \quad \mathbf{H}^3 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & -1 & -2 \end{bmatrix}.$$

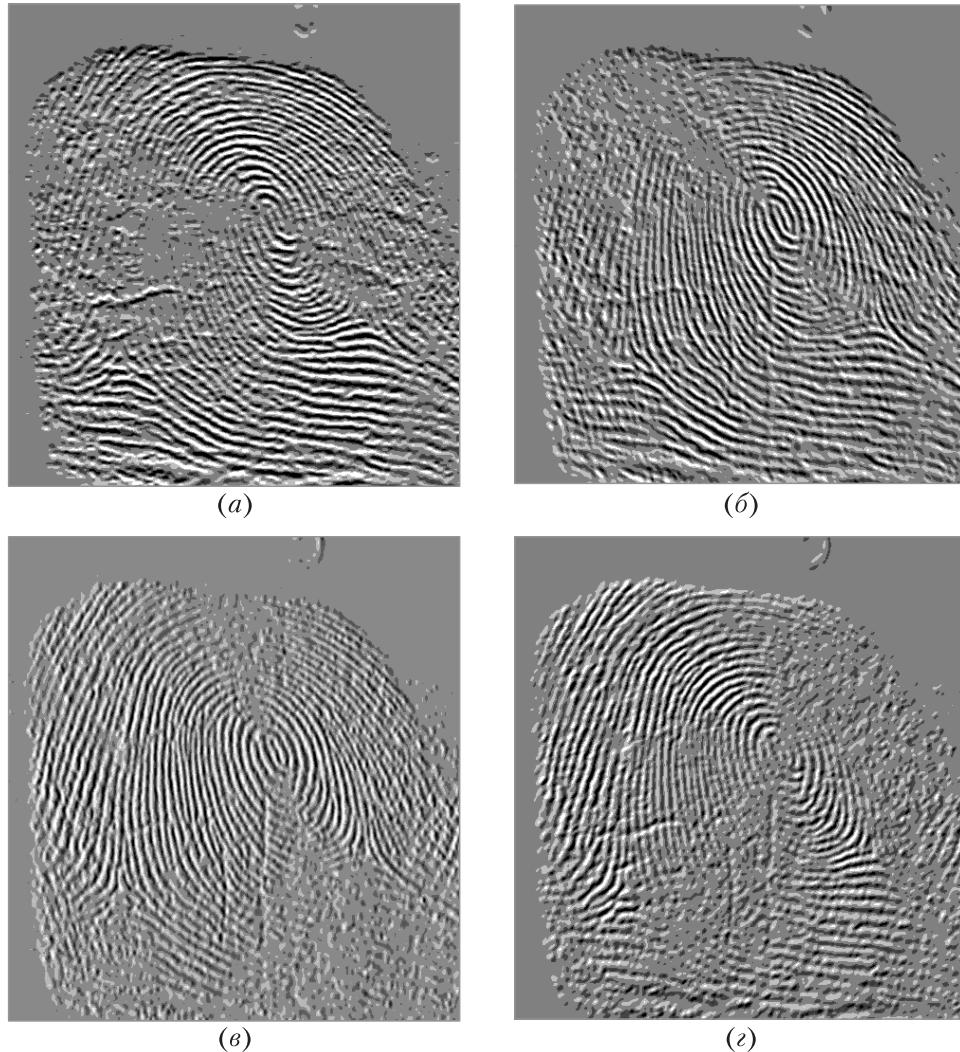


Рис. 2 Четыре слоя светотеней: (a) $F_0^{(0+3)}$; (б) $F_0^{(1+3)}$; (в) $F_0^{(2+3)}$; (г) $F_0^{(3+3)}$

Четыре слоя светотеней, вычисленные для ДИ, показаны на рис. 2. Нулевая реакция окрашена серым цветом, положительные значения светлее, а отрицательные — темнее.

3.4 Измерение полей направлений

Направление линии, по сути, близко к ориентации простой окрестности [3]. Поскольку светотени преимущественно формируются границами линий, применим метод локального адаптивного параллельного сканирования указанных слоев вдоль путей «тени» и «света» в качестве базовой оценки матриц направлений. Выполняемая процедура для направления $d \in D = 0, \dots, 3$ реализует отображение

$$\Gamma : \left\{ S_h^{(d+3)} \right\} \rightarrow \{\{\Delta_h\}, \{\Lambda_h\}\},$$

где $S_h^{(d+3)} = \left\{ S_h^{(d+3)}(u, v) | (u, v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h \right\}$ — множество сегментов с центрами по (2) слоев $F_0^{(d+3)}$; $\Delta_h = [\delta_h(x, y)]$ — слой F_h как матрица направлений на сегментах изображения S_h с углами $0 \leq \delta_h(x, y) < \pi$; $\Lambda_h = [\lambda_h(x, y)]$ — слой как матрица достоверностей Λ_h для матрицы направлений Δ_h ; h — номер иерархии, на которой отображаются случайные поля; $h \in H = 2, \dots, n$. Измерения выполняются в двух каналах, означенных символом $k \in \{0, 1\}$: 0 — канал «тени» и 1 — канал «света».

Первый этап. Первый этап фиксирует для каждого базового сегмента и заданного направления d четыре позиции:

$$\begin{aligned} p_q^{lk} &= (x_q^{lk}, y_q^{lk}) \in P^{lk}; \\ p_q^{rk} &= (x_q^{rk}, y_q^{rk}) \in P^{rk}, \end{aligned}$$

где q — длина цепи; $k \in \{0, 1\}$ — метка канала «тени» и «света»; l и r — метки левой и правой позиции; (x, y) — координаты; P — цепь. Цепи формируются в слоях $F_0^{(d+3)}$ как выделенные последовательности точек $\{p_i = (x_i, y_i)\}$ в направлении $s \in G = \{d + 1, d + 2, d + 3\}$, которое в среднем перпендикулярно направлению засветки d . Суммирование выполняют по модулю 8. Эти отсчеты соответствуют четырем простым цепям на точках изображения, как на вершинах графа. Две простые цепи для «тени» и две простые цепи для «света» P^{lk} и P^{rk} в процессе движения развиваются независимо:

$$\left. \begin{aligned} P^{lk} &= \left\{ p_i^{lk} = (x_i^{lk}, y_i^{lk}) \mid i \in 0, \dots, q \wedge p_0^{lk} = p^l \right\}; \\ P^{rk} &= \left\{ p_i^{rk} = (x_i^{rk}, y_i^{rk}) \mid i \in 0, \dots, q \wedge p_0^{rk} = p^r \right\}, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где $k \in \{0, 1\}$ — метка канала; q — длина цепи; $p^l = (x^l, y^l)$ и $p^r = (x^r, y^r)$ — две стартовые точки для левых и правых простых цепей. Обычно стартовые точки p^l и p^r располагаются в соседних сегментах. Они для сегментов $S_h^{(d+3)}$ с центрами $\{(u, v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h\}$ по (2) при $h = 2$ определяются методом переноса точки (u, v) в направлении d и зеркальном ему $\bar{d} = d + 4$ (суммирование по модулю 8) в апертуре по (3):

$$\begin{aligned}\left\{\left(x^l, y^l\right)\right\} &= \left\{A_0^o(u, v, 45d, t) | (u, v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h\right\}; \\ \left\{(x^r, y^r)\right\} &= \left\{A_0^o(u, v, 45\bar{d}, t) | (u, v) \in \hat{X}_h \times \hat{Y}_h\right\},\end{aligned}$$

где t — расстояние, на которое переносится точка из центра сегмента (в реализации $t \in 4, \dots, 7$). Точка остается в центре сегмента, если при переносе ее координаты выходят за границы изображения.

Независимое развитие четырех простых цепей P^{lk} и P^{rk} определяется формулой

$$f_0^{(d+3)}(x_i, y_i) = f_0^{(d+3)}(T_0^s(x_{i-1}, y_{i-1})) , \quad (10)$$

где $i > 0$; $d \in D = 0, \dots, 3$ — направление засветки; $T_0^s(\cdot)$ — функция перехода по (5); s — направление для функции перехода как аргумент выражения

$$s = \begin{cases} \arg \max_G \left(f_0^{(d+3)}(x_i, y_i)\right) & \text{при } k = 0; \\ \arg \min_G \left(f_0^{(d+3)}(x_i, y_i)\right) & \text{при } k = 1. \end{cases}$$

Итак, на каждом шаге развития цепи путь исследуется. Графы функций переходов показаны на рис. 3.

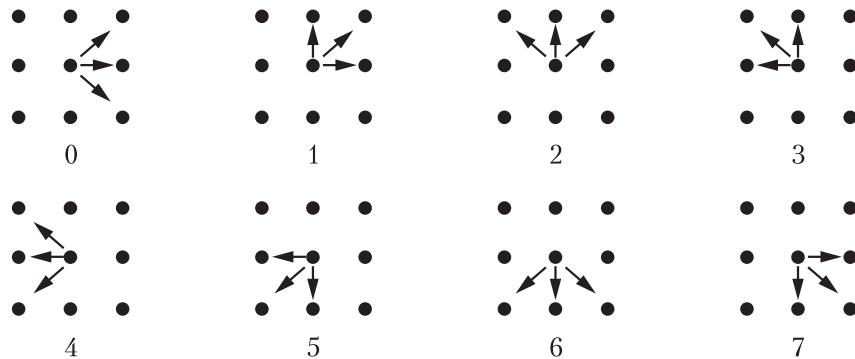


Рис. 3 Графы функций переходов T^d для $d \in 0, \dots, 7$

Этап фиксирует в каждом сегменте для текущего направления d четыре позиции, точность определения которых существенна. Поэтому величина q выбирается оптимальной по критерию: рост q приводит к увеличению времени обработки, уменьшение q снижает точность определения направлений даже на плавных линиях из-за наличия на ДИ пор, складок, залипаний, рыхлого фона старой бумаги и т. д. Для диагональных направлений выбирают целую часть величины $q' = q \cdot 0,707$.

Дополнительная оптимизация выполняется шевелением точек p^l и p^r в виде четырех шагов: шаг в направлении d , два шага в направлении \bar{d} и еще шаг в направлении d по (10). При этом точки p^l и p^r расщепляются и образуются не две, а четыре стартовые точки для развития четырех независимых простых цепей аналогично (9).

Второй этап. На сегментах S_h измеряются параметры направлений. Из цепей по (9) зададим два множества $P^k = \{p^{lk}, p^{rk}\} = \{p_q^{lk}, p_q^{rk}\}$, $k \in \{0, 1\}$. Каждое множество содержит две точки для «тени» либо две точки для «света». Расчет сводится к выделению в слоях $F_0^{(d+3)}$ по (8) отсчетов, отвечающих последовательностям точек $\{p_i = (x_i, y_i)\}$ в направлении $s \in \bar{G} = \{d+5, d+6, d+7\}$. Множество \bar{G} по направлениям зеркально множеству G , а суммирование выполняют по модулю 8. Выбор направлений из \bar{G} позволяет прослеживать светотени в направлении, обратном предшествующему этапу. Выделенные точки формируют две простые параллельные цепи для «тени» и две простые параллельные цепи для «света», причем параллельные цепи определяются одинаковой функцией перехода на каждом шаге:

$$\begin{aligned} \bar{P}^{lk} &= \left\{ p_i^{lk} = (x_i^{lk}, y_i^{lk}) \mid i \in q, \dots, 3q \right\}; \\ \bar{P}^{rk} &= \left\{ p_i^{rk} = (x_i^{rk}, y_i^{rk}) \mid i \in q, \dots, 3q \right\}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $k \in \{0, 1\}$; $3q - q$ — длина цепи; l и r — метки левой и правой цепи. Синтез на решетке двух копий простых параллельных цепей определяется условием:

$$f_0^{(d+3)}(x_i, y_i) = f_0^{(d+3)}(T_0^s(x_{i-1}, y_{i-1})), \quad (12)$$

где $T_0^s(\cdot)$ — функция перехода по (5); начала цепей $(x_q, y_q) \in P^k$; s — направление движения для функции перехода как аргумент выражения

$$s = \arg \Psi_{\bar{G}}^k \left(f_0^{(d+3)} \left(x_i^l, y_i^l \right), f_0^{(d+3)} \left(x_i^r, y_i^r \right) \right)$$

с функцией исследования пути на каждом шаге развития цепей:

$$\Psi_{\bar{G}}^k(a, b) = \begin{cases} \min_{s \in \bar{G}} \max(a, b) & \text{при } k = 0; \\ \max_{s \in \bar{G}} \min(a, b) & \text{при } k = 1. \end{cases}$$

Для определения направлений «тени» и «света» на сегменте $S_h^{(d+3)}(u, v)$ при рассматриваемых засветках изображения используются пары точек (p_q^{lk}, p_{3q}^{lk}) или (p_q^{rk}, p_{3q}^{rk}) нулевой иерархии. Связанные с ними направления $\delta_n^{(dk)}(x, y) \in F_2$ для заданного направления d определяются по формуле для левой (или правой) цепи:

$$\delta_h^{(dk)}(x, y) = \left(\arctg \left(\frac{y_q^{lk} - y_{3q}^{lk}}{x_q^{lk} - x_{3q}^{lk}} \right) + \pi n \right) \bmod \pi \text{ при } n \in 0, \dots, 1.$$

Действительно, выбор точек для расчета направлений цепей \overline{P}^{lk} или \overline{P}^{rk} не имеет значения, так как цепи канала k параллельны. Показателем достоверности такого решения могут служить величины $\lambda_h^{(dk)}(x, y) \in F_h$, собираемые в слоях данных:

$$\lambda_h^{(dk)}(x, y) = \frac{1}{q} \left| \sum_{i=q}^{3q} \Psi^k \left(f_0^{(d+3)} \left(x_i^{lk}, y_i^{lk} \right), f_0^{(d+3)} \left(x_i^{rk}, y_i^{rk} \right) \right) \right|, \quad (13)$$

где точки $f_0^{(d+3)}(x_i, y_i)$ выбираются по (12); в k -м канале функция выбора точек из параллельных цепей находится в виде:

$$\Psi^k(a, b) = \begin{cases} \max(a, b) & \text{при } k = 0; \\ \min(a, b) & \text{при } k = 1; \end{cases}$$

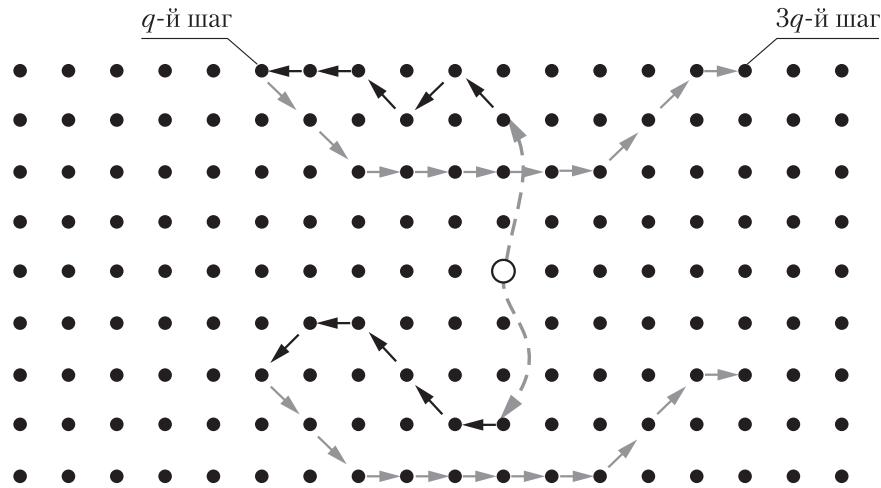
l и r — метки левой и правой цепей. Достоверность λ_h можно рассматривать как вероятность, отображенную на шкалу $0\text{--}2^b$ при глубине b изображения.

Итак, из двух параллельных цепей выбирают одну, а ее начальная и конечная вершины определяют направление как угол. Достоверность направления оценивают величинами, которые накапливаются в процессе развития цепей. Эти величины выбирают из параллельных цепей как значения, наименее отклоняющиеся от нуля. Выбор выполняют на каждом шаге развития цепей, что напоминает корреляцию цепей, синтезируемых при движении по критерию (12).

Две независимые цепи по (9), две параллельные цепи (выделены) по (11) и перенос центра сегмента (серые штриховые линии) представлены на рис. 4.

Важность процедуры сглаживания изображения (7) очевидна. Она обеспечивает плавность перепадов яркостей точек. Без этого точность измерений ухудшается.

Третий этап необходим для оптимизации элементов матриц на базовых сегментах S_h для заданного $d \in D = 0, \dots, 3$ с помощью повторения первого и второго этапов. Заметим, что движение на втором этапе производится в секторе, зеркальном сектору первого этапа. И хотя длина цепи первого этапа вдвое короче длины цепи второго этапа, цепи, казалось бы, должны центрироваться на сегменте. На самом деле этого не происходит, цепи отклоняются, измерения

Рис. 4 Граф цепей для $d = 2$, $G = \{3, 4, 5\}$ в слое «тени»

в направлении d не совпадают с измерениями в противоположном направлении $\bar{d} = d + 4$. Но направления d и \bar{d} равноправны, и можно выбрать для «тени» и «света» наилучшее по достоверности измерение.

Оптимизация сводится к вычислению в слоях F_h восьми матриц направлений

$$\Delta_h^{(dk)} = [\delta_h^{(dk)}(x, y)] \quad (14)$$

и соответствующих им восьми матриц достоверностей

$$\Lambda_h^{(dk)} = [\lambda_h^{(dk)}(x, y)] \quad (15)$$

при $k \in \{0, 1\}$. При этом в вершину каждого сегмента $S_h^{(d+3)}$ слоя $F_h^{(d+3)}$ записываются собственно направления

$$\delta_h^{(dk)}(x, y) = \delta_h^{(\vartheta(x, y, k)k)}(x, y)$$

и соответствующие им достоверности

$$\lambda_h^{(dk)}(x, y) = \lambda_h^{(\vartheta(x, y, k)k)}(x, y),$$

где направление

$$\vartheta(x, y, k) = \arg \max_{\{d, \bar{d}\}} (\lambda_h^{(dk)}(x, y), \lambda_h^{(\bar{d}k)}(x, y)) . \quad (16)$$

Направление $\vartheta(x, y, k) \in \{d, \bar{d}\}$ и максимизирует достоверность. Пусть графы цепей такие, как на рис. 4. Изменим направление d на противоположное ему \bar{d} . Несмотря на совпадение отсчетов $\{p^l, p^r\}$, вычисляемых по (9), графы независимых цепей, вероятно, изменятся, вследствие чего и граф параллельных цепей тоже изменится. Тогда матрицы направлений и их достоверностей оптимизируются. Экспериментально обнаружено, что выбор по (16) улучшает результаты КА.

Четвертый этап. Это процедура перколяции [2] матриц (14) и (15) для направления d с иерархии измерений $h = \min(H)$ на более высокие иерархии пирамиды \mathfrak{X} . Процедура сводится к рекурсивному вычислению по иерархиям в векторных пространствах восьми матриц направлений

$$\Delta_h^{(dk)} = [\delta_h^{(dk)}(x, y)] = \left[\frac{1}{2} \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{im}_{h-1}^{(dk)}}{\operatorname{re}_{h-1}^{(dk)}} \right) + \pi n \right) \right] \quad (17)$$

при $n \in 0, 1$ и восьми матриц достоверностей

$$\Lambda_h^{(dk)} = [\lambda_h^{(dk)}(x, y)] = \left[\kappa \sqrt{(\operatorname{re}_{h-1}^{(dk)})^2 + (\operatorname{im}_{h-1}^{(dk)})^2} \right], \quad (18)$$

где $k \in 0, 1$ — номер канала; иерархия $h \in H = 2, \dots, n$; направление $d \in D = 0, \dots, 3$. Действительную и мнимую части векторов для сегмента $S_{h h-1}(x, y)$ определяют по модели сложения векторов с величинами модуля $\lambda_{h-1}^{(dk)}(x, y)$ и аргумента $\delta_{h-1}^{(dk)}(x, y)$ в виде:

$$\begin{aligned} \operatorname{re}_{h-1}^{(dk)} &= \sum_{(u,v) \in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u, v) \cos(2\delta_{h-1}^{(dk)}(u, v)), \\ \operatorname{im}_{h-1}^{(dk)} &= \sum_{(u,v) \in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u, v) \sin(2\delta_{h-1}^{(dk)}(u, v)), \end{aligned}$$

где $G = \overline{X}_{h h-1} \times \overline{Y}_{h h-1}$ — множество точек сегмента $S_{h h-1}(x, y)$ по (1); аргумент $\delta_{h-1}^{(dk)}(u, v)$ удваивают для расширения полуплоскости $[0, \pi)$ до плоскости $[0, 2\pi)$ [3, 6]; κ — коэффициент нормировки векторов из G вида

$$\kappa = \frac{\max_{(u,v) \in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u, v)}{\sum_{(u,v) \in G} \lambda_{h-1}^{(dk)}(u, v)}.$$

Результат сложения векторов запоминают в вершине сегмента, а данные на всех уровнях пирамиды \mathfrak{R} привязывают к координатам. Коэффициент нормировки κ масштабирует достоверность $\lambda(x, y)$, которая при $h > 2$ как мера когерентности направлений достигает максимально возможной величины для идеальной локальной ориентации, а для изотропной структуры она равна нулю [3].

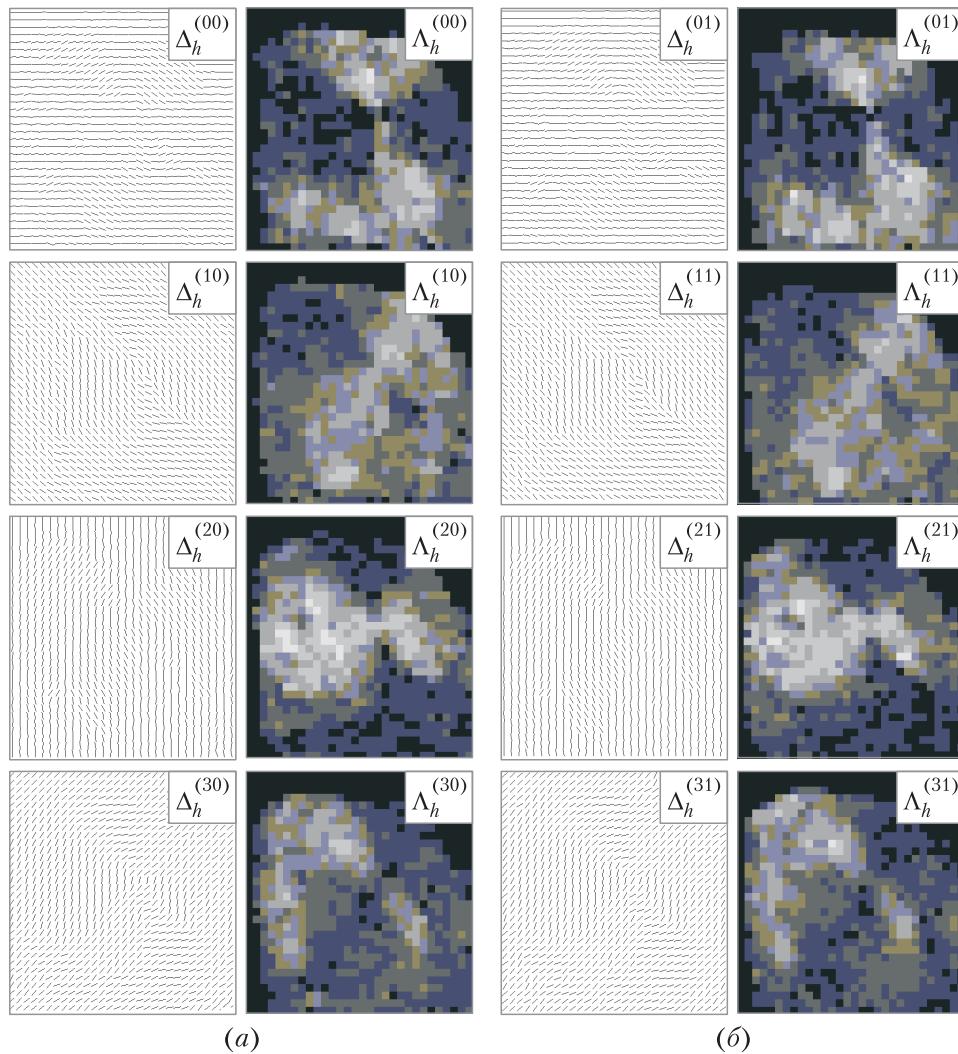


Рис. 5 Направления и достоверности канала «тени» (а) и канала «света» (б)

Пятый этап. Выполняется отбор направлений на сегментах $S_h^{(d+3)}$. Формально алгоритм реализуется последовательным выбором в каналах направлений из $D = 0, \dots, 3$ для иерархии $H = 2, \dots, n$ итерационно $h = \min(H) \Rightarrow H = H \setminus \{h\}$ по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_h &= [\delta_h(x, y)] = \left[\delta_h^{(\vartheta(x, y)k)}(x, y) \right]; \\ \Lambda_h &= [\lambda_h(x, y)] = \left[\lambda_h^{(\vartheta(x, y)k)}(x, y) \right], \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

где $k \in 0, 1$ и $\vartheta(x, y, k) \in D$ — направление-победитель на отдельном сегменте иерархии h — определяются в виде пары

$$(\vartheta(x, y)k) = \arg \max_{k \in 0, 1} \max_{d \in D} \lambda_h^{(dk)}(x, y).$$

Направления покрывают все многообразие ориентаций папиллярных линий $0 \leq \delta < \pi$ при равноправном выборе направлений d и \bar{d} по (16) для простых окрестностей. Матрицы $\{\Delta_h\}$, $\{\Lambda_h\}$ содержат наиболее правдоподобные направления из каждого канала, но необязательно корректные. Здесь для каждой иерархии $h \in H$ формируется 18 слоев: $\{\Delta_h^{(dk)}\}$, $\{\Delta_h\}$, $\{\Lambda_h^{(dk)}\}$, $\{\Lambda_h\}$, где $d \in 0, \dots, 3$; $k \in 0, 1$.

На этом заканчивается измерение полей направлений ДИ. Матрицы направлений и величин их достоверности показаны на рис. 5 и 6.

Итак, метод измерения полей направлений основан на оценке величин отсчетов при параллельном движении в слоях светотеней, а разделение результатов КА на два канала и изобилие результатов измерений позволяет улучшить КА изображения и уменьшить ошибки обработки ДИ и, тем самым, уменьшить ошибки идентификации [5].

На рис. 6 можно заметить, что, несмотря на дефекты ДИ, обозначенные на рис. 1, отобранные на основе максимизации достоверности направления (в виде черточек) в этих дефектных областях построены корректно.

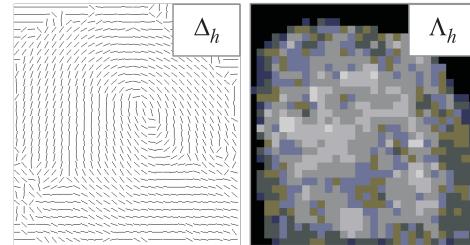


Рис. 6 Отобранные направления и достоверности

4 Заключение

Предложен метод параллельных цепей для распознавания направлений линий на ДИ. Он базируется на формализме (1)–(5) и выполняется на основе следующих новых решений:

- отслеживание слоев светотеней на основе корреляции точек из параллельных цепей (12), зеркалирования направления движения по (14)–(16) и вероятностной оценки достоверностей направлений по (13);
- многоканальное независимое измерение полей направлений и их достоверностей согласно уравнениям (11);
- перколоцию матриц направлений и их достоверностей на более высокие иерархии пирамиды \mathfrak{R} по (17) и (18) в рамках пирамидальной модели;
- отбор наиболее достоверных направлений в каналах и синтез матриц более высокого качества отобранных направлений и их достоверностей по (19).

Предложенный метод существенно отличается от метода простых окрестностей [3] как по точности, так и по качеству измерений.

В дальнейшем планируется развитие метода за счет применения трех параллельный цепей в сочетании с методом тензорного анализа простых окрестностей.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. под ред. П. А. Чочиа. — М.: Техносфера, 2006. 1072 с. (Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. — 3rd ed. — Prentice Hall, 2007. 976 p.)
2. Потапов А. А., Пахомов А. А., Никитин С. А., Гуляев Ю. В. Новейшие методы обработки изображений. — М.: Физматлит, 2008. 496 с.
3. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. А. М. Измайловой. — М.: Техносфера, 2007. 584 с. (Jähne B. Digital image processing. — Springer, 2008. 608 p.)
4. Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Бондаренко А. В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. — М.: Физматкнига, 2010. 672 с.
5. Bolle R. M., Ratha N. K. Automatic fingerprint recognition systems. — N.Y.: Springer-Verlag, 2004. 458 p.
6. Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. Handbook of fingerprint recognition. — L.: Springer-Verlag, 2009. 496 p.
7. Королюк В. С., Портенко Н. И., Скороход А. В., Турбин А. Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. — М.: Наука, 1985. 640 с.

METHOD OF PARALLEL CIRCUITS FOR FINGERPRINT IMAGE RECOGNITION

V. Yu. Gudkov

Chelyabinsk State University, diana@sonda.ru

Abstract: New method of fingerprint image processing is described. The method is based on simultaneous tracking of ridges and valleys directions, instead of

tracking ridges. In areas of good quality, the directions can be determined confidently both for ridges and valleys. But in areas of poor quality, there is a problem with accurate measuring of ridge flow. Given a pixel on filtered fingerprint image, the chains of pixels of minimal and maximal intensity are tracked. Based on the results of tracking, the hypotheses on ridge flow direction for ridges and valleys are generated. Then, the results are fused in order to obtain estimation of ridge flow direction and density. It allows to significantly improve the accuracy of ridge flow direction and density in the areas of poor quality. Finally, it is used to form the field of flows and its confidential (quality) matrix. More accurate measuring of ridge direction improves fingerprint recognition by more accurate feature extraction: ridge endings and bifurcations.

Keywords: fingerprint; field of flows; chiaroscuro; parallel circuits

DOI: 10.14357/08696527130203

References

1. Gonzales, R., and R. Woods. 2007. *Digital image processing*. 3rd ed. Prentice Hall. 976 p.
2. Potapov, A. A., A. A. Pakhomov, S. A. Nikitin, and Yu. V. Gulyaev. 2008. *Novejshie metody obrabotki izobrazhenij* [Newest image processing methods]. M.: Fizmatlit. 496 p.
3. Jähne, B. 2005. *Digital image processing*. Springer. 608 p.
4. Vizilter, Yu. V., S. Yu. Zhelton, A. V. Bondarenko, et al. 2010. *Obrabotka i analiz izobrazhenij v zadachah mashinnogo zreniya* [Processing and analysis of images in technical vision]. M.: Fizmatkniga. 672 p.
5. Bolle, R. M., and N. K. Ratha. 2004. *Automatic fingerprint recognition systems*. N.Y.: Springer-Verlag. 458 p.
6. Maltoni, D., D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar. 2009. *Handbook of fingerprint recognition*. L.: Springer-Verlag. 496 p.
7. Korolyuk, V. S., N. I. Portenko, A. V. Skorokhod, and A. F. Turbin. 1985. *Spravochnik po teorii veroyatnostej i matematicheskoy statistike* [Handbook of probability theory and mathematical statistics]. M.: Nauka. 640 p.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЮДЕЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА НА ОСНОВЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ВНЕШНОСТИ*

В. С. Конушин¹, Т. М. Лукина², А. И. Кухаренко³, А. С. Конушин⁴

Аннотация: Предложен новый подход к классификации людей по изображению лица. Подход состоит из двух шагов. На первом шаге оценивается сходство между тестовым лицом и лицами из известной базы, для чего обучаются специальные классификаторы сравнительных признаков внешности. Сходство оценивается отдельно по каждому фрагменту лица, таким как рот, нос, глаза. В качестве признаков используются цвета, яркости, величины и направления градиента пикселов как по отдельности, так и в совокупности в виде гистограммы или параметров нормального распределения. На втором шаге выполняется классификация по искомой характеристики на основе посчитанного сходства с этими людьми. В качестве классификаторов используется метод опорных векторов с ядром RBF (Radial Basis Function). Предложенный алгоритм был протестирован на задаче гендерной классификации с использованием баз LFW (Labeled Faces in the Wild) и PubFig (Public Figures Face Database). Алгоритм показал точность классификации в 92,96%.

Ключевые слова: классификация людей; гендерная классификация людей; метод опорных векторов

DOI: 10.14357/08696527130204

1 Введение

Классификация людей по изображению лица является активно развивающейся областью компьютерного зрения. По лицу человека можно определить такие атрибуты, как пол, возраст, расовую принадлежность. Также можно определить признаки текущего внешнего вида человека: цвет волос, наличие очков, усов или бороды и т. п.

Область использования таких алгоритмов включает фильтрацию результатов поиска изображений в Интернете, поиск людей в видеоархивах, анализ состава

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-4644.2012.9 и гранта РФФИ № 11-01-00957-а.

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, vadim@graphics.cs.msu.ru

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, tlukina@graphics.cs.msu.ru

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
akuharenko@graphics.cs.msu.ru

⁴Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, ktosh@graphics.cs.msu.ru

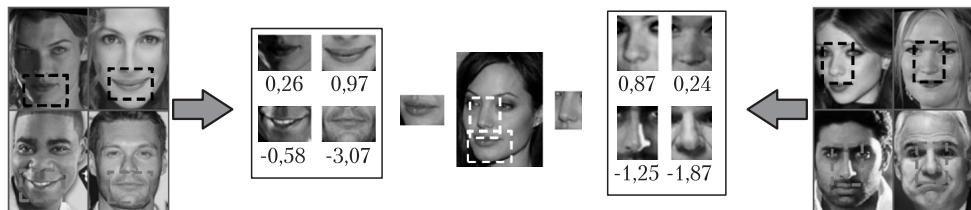


Рис. 1 Иллюстрация работы предложенного метода на задаче гендерной классификации. Тестируемое лицо разбивается на компоненты, которые сравниваются с соответствующими компонентами лиц известных людей. Итоговая классификация выполняется на основе вычисленного сходства с известными людьми

аудитории, системы интеллектуальных интерфейсов, когда поведение системы зависит, например, от пола и возраста пользователя.

Стандартным подходом к классификации людей по изображению лица является извлечение низкоуровневых признаков из изображения и их передача в классификатор, обученный с помощью алгоритма машинного обучения, который по обучающей выборке находит зависимости классифицируемого атрибута от этих признаков. При таком подходе не выполняется явного поиска похожих лиц или какого-либо сравнения с лицами из обучающей выборки. В случае использования в качестве классификатора метода опорных векторов некоторые лица из обучающей выборки отбираются в качестве опорных векторов и используются неявно. При этом результат классификации зависит от расстояний до опорных векторов (т. е. лиц), но эти расстояния определяются используемым ядром и могут плохо соответствовать реальной похожести между лицами.

В настоящей статье предлагается явно обучить классификаторы похожести лиц, чтобы оценить сходство тестируемого лица с лицами известных людей, после чего использовать полученные расстояния во втором классификаторе, который уже даст итоговый результат классификации. Данная работа основывается на идее алгоритма идентификации лиц [1], в которой было предложено сравнивать людей на основе их атрибутов, таких как пол, возраст, ширина носа и т. п., а также их похожести на других «эталонных» людей. Для этого было предложено обучить так называемые сравнительные признаки внешности для отдельных компонент лица, таких как область глаз или губ. Эти признаки оценивают похожесть конкретной компоненты лица на эту же компоненту данного «эталонного» человека.

Предлагается использовать аналогичный подход, но для задачи классификации людей по изображению лица. На рис. 1. изображена иллюстрация работы предложенного алгоритма. Алгоритм был протестирован на базе LFW [2] на примере задачи гендерной классификации и показал точность в 92,96%.

Статья организована следующим образом. В разд. 2 дается обзор существующих методов классификации людей по лицу, а также описываются методы

идентификации человека, на идеи которых опирается разработанный алгоритм. Раздел 3 описывает предложенный алгоритм классификации. В разд. 4 приводится описание и результаты тестирования и сравнения предложенного алгоритма. Раздел 5 содержит заключение и подытоживает основные результаты статьи.

2 Существующие подходы

Большинство алгоритмов классификации людей по лицу следует одинаковой последовательности действий, состоящей из нормализации лица, вычисления признаков на изображении и непосредственно классификации. Различия между алгоритмами заключаются в основном в методах, используемых на отдельных указанных шагах.

Наиболее распространенным алгоритмом нормализации лица является поворот изображения на такой угол, чтобы линия между глазами стала горизонтальной, обрезка и масштабирование до стандартных размеров. В [3] для нормализации лица было предложено использовать триангуляцию Делоне и аффинное преобразование. В [4] использовалась стандартная нормализация лица по глазам, но к обучающей выборке добавлялись примеры нормализованных лиц при смещенных положениях глаз, что позволяло повысить устойчивость классификации к неточному выделению глаз. Также может применяться дополнительная нормализация освещения.

В качестве признаков изображения в разных статьях предлагалось использовать исходные интенсивности пикселов [5, 6], признаки Хаара [7], параметры «Активной модели внешности» [7–9], локальные бинарные шаблоны [10, 11]. Наилучшие результаты показывают биологически обусловленные признаки [12, 13], основанные на фильтрах Гabora.

На этапе классификации может использоваться бустинг [6, 7, 11], метод опорных векторов [1, 5, 7–12, 14], рандомизированный лес решающих деревьев [15]. При этом наиболее часто применяется метод опорных векторов.

В отдельных статьях [13, 16] изучалось влияние одного атрибута на другой, например предварительной идентификации пола для оценки возраста [13] или классификации по этнической принадлежности для классификации по половому признаку [16].

Авторам не встретилось ни одной статьи по классификации людей по лицу, в которой бы в явном виде искались наиболее похожие лица, а классификация выполнялась на основе этой вычисленной похожести. Алгоритмы, использующие метод опорных векторов, делают это неявным образом, выбирая некоторые лица из обучающей выборки в качестве опорных векторов, однако используемая метрика определяется используемом ядром и может быть плохой аппроксимацией реальной похожести лиц.

Наиболее близким к предложенному методу является алгоритм идентификации человека по лицу из [1]. В целом, алгоритмы идентификации и классифи-

кации людей по лицу обычно очень похожи и зачастую используют одинаковые процедуры нормализации и вычисления признаков. В [1] для верификации людей по лицам было предложено использовать их похожесть на других, известных алгоритму людей в качестве признаков. Для этого обучались специальные классификаторы сравнительных признаков внешности, которые, например, могут оценить, «насколько данные губы похожи на губы Анджелины Джоли?» или «насколько похож этот нос на нос Брэда Питта?»

Другим, в чем-то похожим на предлагаемый, является алгоритм идентификации людей по лицу из [17], где предложено для повернутого тестируемого лица искать наиболее похожие части (компоненты) лица у известных «эталонных» людей. При сравнении тестируемых лиц их компоненты заменяются на наиболее похожие компоненты известных людей, но показанных во фронтальном ракурсе. Такая замена позволяет значительно повысить устойчивость идентификации к поворотам лица.

Авторами настоящей статьи предлагается похожий подход для классификации людей по лицу: оценивать похожесть тестируемого человека на известных людей и использовать посчитанные расстояния для классификации.

3 Предложенный алгоритм

Весь алгоритм состоит из 2 шагов:

- (1) вычисление сравнительных признаков внешности для компонент каждого лица на тестируемом изображении;
- (2) классификация лиц по вектор-признакам, составленным из наборов сравнительных признаков.

3.1 Классификаторы сравнительных признаков внешности

За основу взят подход к обучению классификаторов сравнительных признаков внешности, предложенный в статье [1].

Вначале производится поиск лиц на изображении с помощью алгоритма Viola–Jones [18]. После этого ищутся антропометрические точки лица, включая уголки глаз и губ, с помощью предлагаемой реализации алгоритма [19]. Затем на основе найденных точек выделяются компоненты лица, как показано на рис. 2. Для каждой компоненты лица обучается отдельный классификатор.

В обучаемых классификаторах используется ряд низкоуровневых признаков. Каждый вид признака конструируется путем выбора типа пикселов, вида нормализации и метода агрегации.

В качестве типов пикселов используются цвета в пространствах RGB (red, green, blue) и HSV (hue, saturation, value), яркость пикселя, величина и направление градиента.

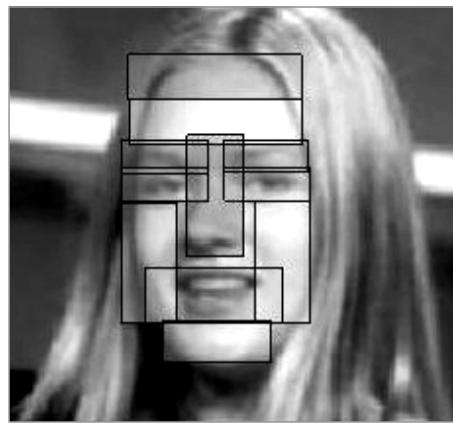


Рис. 2 Выделяемые компоненты лица

Нормализацию значений признаков пикселов можно либо вообще не делать, либо использовать усреднение значений пикселов $\hat{x} = x/\mu$, либо выполнить нормализацию энергии $\hat{x} = (x - \mu)/\sigma$, где x — входное значение; μ и σ — среднее и стандартное отклонение всех пикселов x внутри компоненты; \hat{x} — нормализованное выходное значение.

Виды агрегации включают в себя построение гистограммы значений признаков и вычисление среднего и дисперсии.

Все виды признаков собраны в единую таблицу.

Используемые виды признаков

Тип пикселов	Нормализация	Агрегация
RGB		
HSV	Нет	Нет
Интенсивность пикселов	Усреднение	Гистограмма
Величина градиента	Нормализация энергии	Среднее, дисперсия
Направление градиента		

Для каждой компоненты и каждого «эталонного» человека обучается отдельный классификатор, который оценивает похожесть данной компоненты на данного человека. В качестве положительных примеров обучающей выборки используются соответствующие компоненты лица, взятые из разных изображений этого человека, а в качестве отрицательных примеров используется эта же компонента, но взятая из произвольных изображений других людей.

Отдельный классификатор обучается на основе метода опорных векторов с ядром RBF для каждого вида признаков, каждой компоненты и каждого «эталонного» человека.

3.2 Классификация людей на основе сравнительных признаков внешности

На данном этапе для тестируемого лица имеется дескриптор F размерности $N \times M \times K$, где N — количество «эталонных» людей; M — количество видов признаков; K — число компонент. Каждый элемент дескриптора $F_{n,m,k}$ является оценкой похожести k -й компоненты тестируемого лица и лица n -го

«эталонного» человека, используя m -й вид признака, и по сути является выходом соответствующего классификатора. Остается найти класс $L(F)$ тестируемого человека.

Рассматривается только случай бинарной классификации. Задача много-классовой классификации может быть сведена к бинарной через классификацию «каждый с каждым» или «один против всех». В [9] было предложено сведение задачи оценки возраста к ряду бинарных задач классификации, которые отвечают на вопрос: «Больше ли данному человеку лет, чем заданное число?» Этот метод показал один из наиболее высоких на данный момент результатов по точности классификации людей по возрасту.

Наиболее простым способом классификации людей на основе сравнительных признаков внешности является метод ближайшего соседа или k ближайших соседей. В этом случае просто ищутся наиболее похожие «эталонные» люди и в качестве результата классификации берется класс этих известных людей. Однако по результатам экспериментов данный подход показал относительно низкую точность классификации.

Другим способом является обучение дополнительного классификатора, принимающего на вход весь вектор $F_{n,m,k}$. Но высокая размерность вектора признаков относительно размера обучающей выборки приводит к переобучению классификатора. Поэтому было предложено использовать двухуровневый классификатор.

На первом уровне K классификаторов принимают решение на основании одной компоненты:

$$L_k(F) = \text{Classifier 1}_k \{F_{i,j,k}, i \in \{1, \dots, N\}, j \in \{1, \dots, M\}\}.$$

На втором уровне единственный классификатор объединяет K выходов классификаторов первого уровня для итогового решения:

$$L(F) = \text{Classifier 2} \{L_k(F), k \in \{1, \dots, K\}\}.$$

В обоих случаях в качестве классификатора используется метод опорных векторов с ядром RBF.

Стоит отметить, что в этом случае, в отличие от метода k ближайших соседей, не требуется информации о метках «эталонных» людей. Классификаторы автоматически обучаются зависимостям вида «похожесть на данного человека означает, что тестируемый человек скорее имеет метку -1 , а сходство с этим человеком — что метку 1 ».

4 Эксперименты

В качестве тестовой задачи была выбрана гендерная классификация, так как, с одной стороны, это одна из наиболее исследуемых задач в силу своей широкой

применимости, а с другой стороны, в отличие от задачи оценки возраста человека, для нее относительно легко можно подготовить эталонные данные.

К сожалению, в отличие от задачи идентификации человека по лицу, для гендерной классификации на данный момент нет стандартной эталонной тестовой базы и протокола для сравнения алгоритмов. В разных статьях для этого используются выборки из баз FERET [20], CAS-PEAL [21], FaceTracer [14] и LFW.

Естественным выбором для проводимых экспериментов стало использование баз PubFig [1] и LFW [2], так как они использовались в статье [1], где были впервые предложены классификаторы сравнительных признаков внешности.

База LFW состоит из 13 233 изображений 5749 человек. Все изображения отобраны из Интернета. Единственным ограничением являлось то, что на них должно находиться лицо с помощью алгоритма Viola–Jones. В настоящее время LFW является стандартной базой для сравнения алгоритмов идентификации человека по лицу.

База PubFig является дополнением к базе LFW, предложенным в статье [1]. Она содержит 60 000 изображений 200 разных людей. Важным отличием базы PubFig является наличие как минимум 50 разных изображений для каждого человека, что делает ее подходящей для составления набора «эталонных» людей, так как в ней достаточно изображений для обучения классификаторов сравнительных признаков внешности.

Примеры изображений из баз LFW и PubFig приведены на рис. 3, *a* и 3, *б* соответственно. Авторы вручную разметили пол всех людей из этих баз.

В экспериментах использовался «набор разработчика» (Development Set) базы PubFig для составления списка «эталонных» людей (всего 59 человек, исходно в этом наборе было 60 человек, однако сама база предоставляется в виде списка URL (uniform resource locator) и некоторые ссылки уже стали недействительными) и 5-кратную кросс-валидацию на базе LFW.

Для сравнения с существующими алгоритмами гендерной классификации были выбраны 2 алгоритма с наиболее близким протоколом тестирования:

- (1) в [1] гендерная классификация, наряду с классификацией других атрибутов, использовалась для дальнейшей идентификации людей. Точные выборки, используемые для обучения и тестирования, приведены не были, но они являлись частью базы PubFig и LFW. Была заявлена точность в 81,22%;
- (2) в [11] для экспериментов использовалась 5-кратная кросс-валидация на базе LFW. Сильно повернутые лица, а также лица, для которых сложно вручную разметить пол, были выведены из рассмотрения. В итоге использовалось 7443 изображения из 13 233. Итоговая точность составила 94,81%.

Точность предлагаемого алгоритма составила 92,96%. При этом если на первом уровне классификаторы обучать не по компонентам, а по виду признаков, то точность понижается до 91,6%. Метод на основе *k* ближайших соседей, при

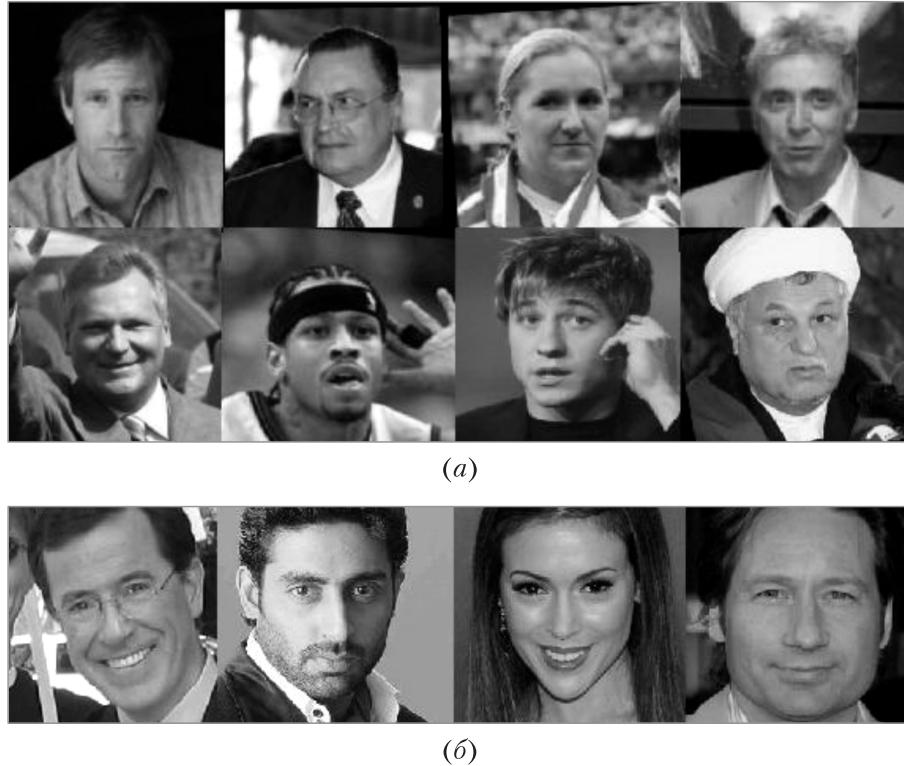


Рис. 3 Примеры изображений из базы LFW (а) и из базы PubFig (б)

$k = 4$ и объединении разных компонент и видов признаков с помощью метода опорных векторов, дает всего 82% точности.

Достигнутая точность в 92,96% значительно превосходит 81,2% из [1], где использовались точно такие же низкоуровневые признаки. Стоит, правда, отметить, что более низкая точность в [1] может быть также следствием потенциально меньшего размера обучающей выборки.

Проигрыш почти 2% результату из [11] объясняется использованием значительно более сложной тестовой выборки (не выкидывались изображения сильно повернутых лиц), а также более простых низкоуровневых признаков.

5 Заключение

В данной статье предложен новый подход к классификации людей по лицу. Использована база изображений «эталонных» людей и проведено обучение

на ней классификаторов сравнительных признаков внешности, которые позволяют оценивать сходство между тестируемым изображением лица человека и «эталонным» человеком.

Поверх вектор-признака, составленного из вычисленных значений сходства тестируемого изображения с «эталонными» людьми, строится двухуровневый классификатор на основе метода опорных векторов, который классифицирует тестируемое лицо вначале отдельно по каждой компоненте, а потом используя решения по всем компонентам.

Предложенный алгоритм был протестирован на задаче гендерной классификации и показал точность в 92,96% на базе LFW.

Литература

1. Kumar N., Berg A. C., Belhumeur P. N., Nayar S. K. Attribute and simile classifiers for face verification // IEEE Conference (International) on Computer Vision. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 365–372.
2. Huang G., Ramesh M., Berg T., Learned-Miller E. Labeled faces in the wild: A database for studying face recognition in unconstrained environments. UMass Amherst Technical Report 07-49, 2007.
3. Yang Z., Li M., Ai H. An experimental study on automatic face gender classification // 18th Conference (International) on Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2006. P. 1099–1102.
4. Mayo M., Zhang E. Improving face gender classification by adding deliberately misaligned faces to the training data // IVCNZ08: 23rd Conference (International) Image and Vision Computing Proceedings. — New Zealand, 2008. P. 1–5.
5. Moghaddam B., Yang M. Learning gender with support faces // IEEE TPAMI, 2002. Vol. 24. No. 5. P. 707–711.
6. Baluja S., Rowley H. A. Boosting sex identification performance // Int. J. Comput. Vision, 2007. Vol. 71. No. 1. P. 111–119.
7. Makinen E., Raisamo R. Evaluation of gender classification methods with automatically detected and aligned faces // IEEE TPAMI, 2008. Vol. 30. P. 541–547.
8. Guo G., Fu Y., Huang T. S., Dyer C. A probabilistic fusion approach to human age prediction // IEEE CVPR-SLAM Workshop. — N.Y.: IEEE, 2008. P. 1–6.
9. Chang K.-Y., Chen C.-S., Hung Y.-P. Ordinal hyperplanes ranker with cost sensitivities for age estimation // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2011. P. 585–592.
10. Lian H. C., Lu B. L. Multi-view gender classification using local binary patterns and support vector machines // 5th Conference (International) on Artificial Neural Networks Proceedings, 2006. Vol. 2. P. 202–209.
11. Shan C. Learning local binary patterns for gender classification on real-world face images // Pattern Recogn. Lett., 2012. Vol. 33. No. 4. P. 431–437.
12. Mu G. W., Guo G. D., Fu Y., Huang T. S. Human age estimation using bio-inspired features // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 112–119.

13. *Guo G., Mu G., Fu Y., Dyer C., Huang T. S.* A study on automatic age estimation using a large database // 12th IEEE Conference (International) on Computer Vision Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 1986–1991.
 14. *Kumar N., Belhumeur P. N., Nayar S. K.* FaceTracer: A search engine for large collections of images with faces // Computer vision—ECCV 2008 / Eds. D. Forsyth, Ph. Torr, A. Zisserman. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. Vol. 5305. P. 340–353.
 15. *Montillo A., Ling H.* Age regression from faces using random forests // 16th IEEE Conference (International) on Image Processing Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 2465–2468.
 16. *Du P., Xiaoqing D.* The application of decision tree in gender classification // Congress on Image and Signal Processing Proceedings. — Los Alamitos: IEEE, 2008. Vol. 4. P. 657–660.
 17. *Yin Qi, Tang X., Sun J.* An associate-predict model for face recognition // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2011. P. 497–504.
 18. *Viola P., Jones M. J.* Robust real-time face detection // Int. J. Comput. Vision, 2004. Vol. 57. No. 2. P. 137–154.
 19. *Cristinacce D., Cootes T.* Boosted regression active shape models // British Machine Vision Conference Proceedings. — Warwick, 2007. Vol. 2. P. 880–889.
 20. *Phillips P. J., Moon H., Rizvi S. A., Rauss P.* The FERET evaluation methodology for face recognition algorithms // IEEE PAMI, 2000. Vol. 22. No. 10. P. 1090–1104.
 21. *Gao W., Cao B., Shan S. G., et al.* The CAS-PEAL large-scale chinese face database and baseline evaluations. Technical Report of JDL, 2004.
-
-

PERSON CLASSIFICATION UPON FACE IMAGE BASED ON SIMILE CLASSIFIERS

V. S. Konushin¹, T. M. Lukina², A. I. Kuharenko³, and A. S. Konushin⁴

¹M. V. Lomonosov Moscow State University, vadim@graphics.cs.msu.ru

²M. V. Lomonosov Moscow State University, tlukina@graphics.cs.msu.ru

³M. V. Lomonosov Moscow State University, akuharenko@graphics.cs.msu.ru

⁴M. V. Lomonosov Moscow State University, ktosh@graphics.cs.msu.ru

Abstract: A new approach to person classification upon face images is presented. It consists of two steps. First, similarity distances between a test face and faces from a known sample are computed. For this task, special simile classifiers are trained. Similarity distances are estimated independently for each face fragment, e.g., nose, mouth, left or right eye, etc. Pixel colors, brightness, gradient

norm, and orientation are used as features both for each pixel and for whole fragment in the form of a histogram or Gaussian distribution parameters. Person classification is performed based on these similarity distances. For classification, support vector machine with radial basis function kernel is used. The proposed algorithm was tested on a gender classification task, using Labeled Faces in the Wild and Public Figures Face databases. The algorithm achieved 92.96% accuracy.

Keywords: face classification; gender classification; support vector machine

DOI: 10.14357/08696527130204

Acknowledgments

The study was supported by the Grant of the President of Russian Federation for the state support of young Russian scientists — PhD — No. MK-4644.2012.9 and by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 11-01-00957-a).

References

1. Kumar, N., A. C. Berg, P. N. Belhumeur, and S. K. Nayar. 2009. Attribute and simile classifiers for face verification. *IEEE International Conference on Computer Vision*. N.Y.: IEEE. 365–72.
2. Huang, G., M. Ramesh, T. Berg, and E. Learned-Miller. 2007. Labeled faces in the wild: A database for studying face recognition in unconstrained environments. UMass Amherst Technical Report 07-49.
3. Yang, Z., M. Li, and H. Ai. 2006. An experimental study on automatic face gender classification. *18th International Conference on Pattern Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 1099–102.
4. Mayo, M., and E. Zhang. 2008. Improving face gender classification by adding deliberately misaligned faces to the training data. *IVCNZ08: 23rd International Conference Image and Vision Computing Proceedings*. New Zealand. 1–5.
5. Moghaddam, B., and M. Yang. 2002. Learning gender with support faces. *IEEE TPAMI* 24(5):707–11.
6. Baluja, S., and H. A. Rowley. 2007. Boosting sex identification performance. *Int. J. Comput. Vision* 71(1):111–19.
7. Makinen, E., and R. Raisamo. 2008. Evaluation of gender classification methods with automatically detected and aligned faces. *IEEE TPAMI* 30:541–47.
8. Guo, G., Y. Fu, T. S. Huang, and C. Dyer. 2008. A probabilistic fusion approach to human age prediction. *IEEE CVPR-SLAM Workshop*. N.Y.: IEEE. 1–6.
9. Chang, K.-Y., C.-S. Chen, and Y.-P. Hung. 2011. Ordinal hyperplanes ranker with cost sensitivities for age estimation. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 585–92.
10. Lian, H. C., and B. L. Lu. 2006. Multi-view gender classification using local binary patterns and support vector machines. *5th International Conference on Artificial Neural Networks Proceedings*. 2:202–9.

11. Shan, C. 2012. Learning local binary patterns for gender classification on real-world face images. *Pattern Recogn. Lett.* 33(4):431–37.
12. Mu, G. W., G. D. Guo, Y. Fu, and T. S. Huang. 2009. Human age estimation using bio-inspired features. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 112–19.
13. Guo, G., G. Mu, Y. Fu, C. Dyer, and T. S. Huang. 2009. A study on automatic age estimation using a large database. *12th IEEE Conference (International) on Computer Vision Proceedings*. N.Y.: IEEE. 1986–91.
14. Kumar, N., P. N. Belhumeur, and S. K. Nayar. 2008. FaceTracer: A search engine for large collections of images with faces. *Computer vision — ECCV 2008*. Eds. D. Forsyth, Ph. Torr, and A. Zisserman. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Heidelberg: Springer. 5305:340–53.
15. Montillo, A., and H. Ling. 2009. Age regression from faces using random forests. *16th IEEE Conference (International) on Image Processing Proceedings*. N.Y.: IEEE. 2465–68.
16. Du, P., and D. Xiaoqing. 2008. The application of decision tree in gender classification. *Congress on Image and Signal Processing Proceedings*. Los Alamitos: IEEE. 4:657–60.
17. Yin, Qi, X. Tang, and J. Sun. 2011. An associate-predict model for face recognition. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 497–504.
18. Viola, P., and M. J. Jones. 2004. Robust real-time face detection. *Int. J. Comput. Vision* 57(2):137–54.
19. Cristinacce, D., and T. Cootes. 2007. Boosted regression active shape models. *British Machine Vision Conference Proceedings*. Warwick. 2:880–89.
20. Phillips, P. J., H. Moon, S. A. Rizvi, and P. Rauss. 2000. The FERET evaluation methodology for face recognition algorithms. *IEEE PAMI* 22(10):1090–104.
21. Gao, W., B. Cao, S. G. Shan, *et al.* 2004. The CAS-PEAL large-scale chinese face database and baseline evaluations. Technical Report of JDL.

ВОЗРАСТНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЮДЕЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА НА ОСНОВЕ МЕТОДА РАНЖИРОВАНИЯ И ЛОКАЛЬНЫХ БИНАРНЫХ ШАБЛОНОВ*

A. V. Рыбинцев¹, T. M. Лукина², В. С. Конушин³, A. С. Конушин⁴

Аннотация: Предложен алгоритм возрастной классификации людей по изображению лица, являющийся развитием алгоритма, предложенного Chang с соавторами. Идея алгоритма заключается в построении набора бинарных классификаторов, каждый из которых определяет, старше человек на фотографии заданного возраста или нет. Итоговую оценку возраста тогда можно получить простым суммированием выходов всего набора классификаторов. Благодаря использованию в качестве признаков для классификации локальных бинарных шаблонов (ЛБШ) достигается повышение точности определения возраста человека в ущерб размеру классификатора. Предлагается ряд модификаций, позволяющих уменьшить размер классификатора и повысить скорость алгоритма при сохранении низкой ошибки классификации. Эксперименты на базе MORPH показали ошибку определения возраста от 4,52 до 5 лет при времени классификации от 0,32 до 3,21 с на одно изображение в зависимости от используемых параметров.

Ключевые слова: классификация людей по лицу; возрастная классификация людей; локальные бинарные шаблоны

DOI: 10.14357/08696527130205

1 Введение

Интерес к задаче возрастной классификации людей по изображению лица в последние годы неуклонно растет. Одной из главных причин является стремительное увеличение числа изображений в Интернете и необходимость их автоматической аннотации для задач поиска. Человек является самым распространенным объектом, запечатленным на фотографиях, и автоматическая оценка возраста человека может помочь фильтровать выдаваемые поисковиком резуль-

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-4644.2012.9 и гранта РФФИ № 11-01-00957-а.

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
arybintsev@graphics.cs.msu.ru

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, tlukina@graphics.cs.msu.ru

³Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, vadim@graphics.cs.msu.ru

⁴Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, ktosh@graphics.cs.msu.ru

таты. Другим применением автоматической возрастной классификации является анализ возрастного состава аудитории, что полезно для анализа эффективности рекламы. В будущем возрастная классификация также найдет свое место при создании так называемых «аффективных» человеко-машинных интерфейсов, в которых поведение системы будет подстраиваться под конкретного пользователя, ориентируясь в числе прочего и на его возраст.

В этой работе предлагается ряд модификаций для одного из лучших на данный момент алгоритмов оценки возраста человека по фотографии, взятого из статьи [1]. Для повышения точности алгоритма предлагается заменить использованный в исходной работе дескриптор на ЛБШ. Поскольку это также приводит к существенному увеличению размера классификаторов и уменьшению скорости работы алгоритма, предлагается ряд модификаций для решения этой проблемы.

Статья организована следующим образом. В разд. 2 приведен обзор существующих алгоритмов возрастной классификации людей по изображению лица. В разд. 3 более подробно описан алгоритм, предложенный в статье [1]. В разд. 4 описаны предлагаемые модификации алгоритма [1], повышающие точность и скорость классификации, а также приводятся результаты проведенных экспериментов. Заключение дано в разд. 5.

2 Существующие подходы

Большинство алгоритмов возрастной классификации людей по изображению лица состоит из трех шагов: нормализация изображения лица, вычисление дескриптора, классификация. Различаются алгоритмы в первую очередь реализацией отдельных указанных шагов.

На шаге нормализации стандартным решением является поворот, масштабирование и обрезание изображения таким образом, чтобы центры глаз находились в заданном положении на одной горизонтальной линии. Другим методом нормализации является использование аффинного преобразования и деформации на основе триангуляции Делоне [2]. Для повышения устойчивости к точности выделения центров глаз и других антропометрических точек в тренировочную выборку можно добавлять немного смещенные изображения с неточной нормализацией [3].

В качестве признаков изображения могут использоваться непосредственно интенсивности пикселов с последующим понижением размерности, например с помощью метода проекций, сохраняющих свойство локальности (Locality Preserving Projections) [4]; количество краевых пикселов [5]; расстояния между антропометрическими точками [6]; параметры «Активной модели внешности» (Active Appearance Models) [7]; ЛБШ [8]. В [9] были предложены так называемые «биологически обусловленные признаки» (Biologically Inspired Features, BIF), использование которых позволило достичь наилучших результатов на задаче классификации по полу и возрасту.

Для собственно возрастной классификации обычно используется либо регрессия [9], позволяющая оценивать точный возраст человека, либо многоклассовая классификация [9, 10], предсказывающая возрастную группу человека. В качестве алгоритмов классификации используют нейронные сети [11], случайный лес деревьев [6]. Наиболее широкое применение нашел в этой задаче метод опорных векторов [1, 7, 9, 10, 12].

В статье [10] предложено вначале классифицировать пол и примерный возрастной диапазон человека, после чего применять специализированный классификатор возраста для данной половозрастной группы. Авторы статьи показали, что такая двухступенчатая процедура заметно повышает точность итоговой классификации. В статье [13] также используется вначале грубая оценка возраста человека с помощью одной глобальной регрессии, после чего возраст уточняется с помощью другой регрессии, обученной специально для данного возрастного интервала.

В [12] задача возрастной классификации людей была сведена к набору бинарных классификаций. Для каждого возраста строится классификатор, который определяет, старше человек, изображенный на тестовом изображении, чем заданный возраст, или младше. Возраст человека определяется как число классификаторов, выдавших положительный результат. Предложенная схема показала более высокую точность классификации, чем существующие аналоги.

В [1] данный метод получил развитие. В частности, в [12] использовался метод опорных векторов и бинарные классификаторы отличались между собой только сдвигом разделяющей поверхности, в то время как в [1] бинарные классификаторы обучались независимо друг от друга и в каждом классификаторе могло использоваться свое ядро. Также было предложено вместо минимизации ошибки классификации минимизировать цену ошибки. Для этого для каждой из двух используемых метрик качества алгоритма были предложены специальные функции расчета цены ошибки.

3 Базовый алгоритм

По результатам проведенного обзора существующих методов был выбран для последующей модификации алгоритм [1] как показавший один из лучших результатов. В данной секции опишем его подробнее.

Обозначим i -й тренировочный пример из обучающей выборки как x_i , а через y_i — соответствующий ему возраст, где $y_i \in \{1, \dots, K\}$, K — максимальный возраст. Конкретное значение K зависит от используемой базы, в [1] взят равным 80.

Для каждого возраста k построим 2 выборки X_k^+ и X_k^- следующим образом:

$$X_k^+ = \{(x_i, +1) | y_i > k\}; \quad X_k^- = \{(x_i, -1) | y_i \leq k\}. \quad (1)$$

По этим выборкам X_k^+ и X_k^- обучим бинарный классификатор, который будет отвечать на вопрос: заданному человеку больше чем k лет или нет.

Так как на практике важность, т. е. цена, разных ошибок отличается, то вводится функция стоимости $\text{cost}_k(l)$, где $k, l = 1, \dots, K$. Эта функция показывает цену неправильной идентификации примера возраста l для k -го классификатора и зависит от используемой меры качества итогового алгоритма.

Наиболее часто применимой мерой качества в задаче определения возраста является MAE (mean absolute error), которая определяется следующим образом:

$$\text{MAE} = \sum_{j=1}^N \frac{|\bar{y}_j - y_j|}{M},$$

где \bar{y}_j — предсказанный возраст; y_j — истинный возраст; M — количество тестовых изображений.

Для этой меры в качестве функции стоимости предлагается использовать модуль разности между возрастами:

$$\text{cost}_k(l) = |l - k|, \quad (2)$$

так как чем больше разница между истинным и предсказанным возрастом, тем больше вклад в итоговую ошибку.

Второй широко используемой мерой качества является суммарный счет (cumulative score), который показывает число примеров с ошибкой предсказания ниже заданного уровня:

$$\text{CS}(L) = \frac{M_{e < L}}{M} \cdot 100\%,$$

где $M_{e < L}$ — количество тестовых примеров с ошибкой предсказания e меньше L лет.

Так как для этой меры разница до L лет не вносит вклад в общую ошибку, то можно в функции стоимости сделать цену такой ошибки нулевой, а цену всех остальных ошибок одинаковой (например, единичной):

$$\text{cost}_k(l) = \begin{cases} 0, & \text{если } l - L \leq k \leq l + L; \\ 1 & \text{иначе.} \end{cases} \quad (3)$$

Для обучения классификатора используется метод опорных векторов с RBF (radial basis function) ядром. Вес каждого примера из обучающей выборки задается с помощью функции стоимости ошибки.

Для определения возраста человека нужно применить все $K - 1$ классификаторов, после чего итоговая оценка считается равной числу положительных откликов классификаторов плюс один:



Рис. 1 Примеры изображений из базы MORPH Album 2

$$r(x) = 1 + \sum_{k=1}^{K-1} \| f_k(x) > 0 \|, \quad (4)$$

где $f_k(x)$ — выход k -го классификатора, $\| \cdot \|$ — равна 1, если внутреннее условие верно, и 0 иначе.

В качестве признаков используются параметры «Активной модели внешности» [14].

Для тестирования алгоритма использовались база FG-NET (Face and Gesture Recognition Research Network) [15] и часть большей по размеру базы MORPH [16]. Примеры изображений из базы MORPH приведены на рис. 1.

Используемая часть базы MORPH содержит 5492 изображения людей в возрасте от 16 до 77 лет. Во время тестирования используемая выборка случайным образом 30 раз разбивалась на две части — 80% данных использовались для обучения и 20% для тестирования. Для подбора параметров на обучающей выборке использовался метод кросс-валидации с разбиением на 5 сегментов. Результаты усреднялись по всем 30 разбиениям. Итоговый алгоритм показал ошибку МАЕ в 6,07 лет.

4 Предложенные модификации

4.1 Локальные бинарные шаблоны

Вместо используемых в [1] параметров «Активной модели внешности» предлагается использовать в качестве признаков ЛБШ [17], хорошо себя зарекомендовавшие в задачах распознавания человека по изображению лица.

Локальные бинарные шаблоны вычисляются путем применения определенного оператора к каждому пикселу изображения. Этот оператор работает следующим образом. Вначале значение интенсивности в пикселе сравнивается со значениями во всех пикселях из некоторой окрестности, например размером 3×3 пикселя. Результат сравнения записывается как 0, если значение рассматриваемого пикселя меньше центрального, и как 1 в противном случае. Для рассматриваемой окрестности 3×3 получается 8 цифр, из которых составляется двоичный вектор, который интерпретируется как двоичная запись целого числа.

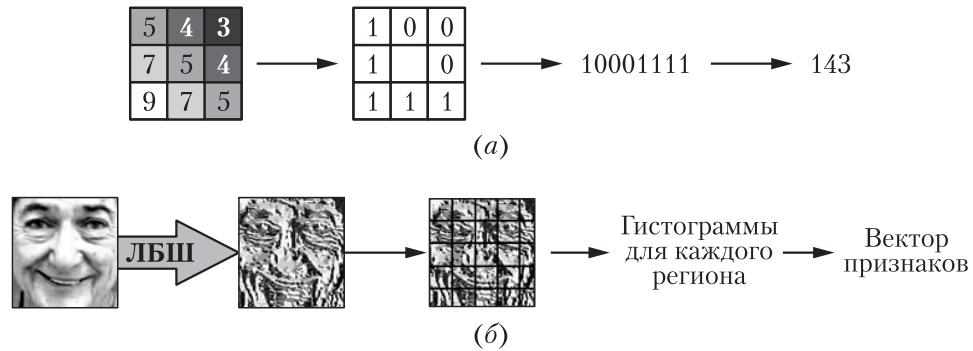


Рис. 2 Вычисление ЛБШ: (a) для одного пикселя; (б) для целого изображения

Это число и является результатом применения оператора к пикселю. Итоговые признаки получаются после разбиения всего изображения решеткой на прямоугольные области, подсчета гистограмм частот появления чисел в каждой области и конкатенации гистограмм по всем областям в один вектор. Процесс вычисления ЛБШ показан на рис. 2.

Эти признаки устойчивы к небольшим изменениям освещенности и небольшим сдвигам в положении лица. Такая устойчивость достигается за счет того, что подсчет ведется не индивидуально для каждого пикселя, а используются области значительного размера.

При замене в базовом алгоритме используемых признаков на ЛБШ, а также при использовании линейного метода опорных векторов, ошибка МАЕ алгоритма на выборке из базы MORPH понизилась с 6,07 до 4,61. При этом использовалась точно такая же процедура тестирования, как и в [1].

В последующих экспериментах была использована упрощенная процедура тестирования. Параметры модели, такие как параметры метода опорных векторов, подбирались с помощью кросс-валидации с 5 разбиениями однократно на всей выборке. После этого вся выборка 30 раз случайным образом делилась на 80% и 20%, на большей части классификаторы обучались, а на 20% — тестировались. Данная процедура существенно быстрее исходной, поэтому она лучше подходит для тестирования различных модификаций алгоритма.

Основными недостатками исходного алгоритма являются высокие требования по памяти и длительное время классификации из-за большого числа независимых классификаторов. В работе [1] использовалось 80 классификаторов. При замене параметров «Активной модели внешности» на ЛБШ данная проблема значительно обостряется, так как размер вектор-признака увеличивается в несколько раз — с нескольких десятков или сотен параметров¹ до 2065.

¹Точный размер вектор-признака в [1] не указан.

4.2 Повышение точности классификации

Далее были предложены две модификации, дающие дополнительный прирост в точности классификации.

Первая модификация заключается в использовании вероятностного выхода классификатора. В базовом алгоритме подсчитывается число классификаторов, которые выдают результат больше 0, т. е. всех тех, которые считают человека старше сравниваемого возраста. Данная схема была бы правильной, если бы все первые классификаторы выдавали бы положительный результат, а после определенного возраста — отрицательный. Однако на практике в окрестности правильного возраста человека классификаторы могут давать разный результат. Например, среди соседних отрицательных результатов может встречаться и положительный.

Поэтому предлагается суммировать непосредственно вероятностный выход всех классификаторов:

$$r'(x) = 1 + \sum_{k=1}^{K-1} f_k(x).$$

Предварительно к вероятностным выходам классификаторов применяется медианная фильтрация.

Также предлагается изменить функцию стоимости. Исходная функция стоимости (2) линейно зависит от ошибки в оценке возраста вне зависимости от значения возраста. При этом одна и та же разница в возрасте для детей обычно гораздо заметнее, чем для пожилых людей. Поэтому был предложен модифицированный вариант этой функции

$$\text{cost}_k(l) = \alpha(K - k)|l - k|,$$

где K — максимальный возможный возраст, α — настраиваемый параметр.

Суммарно указанные модификации уменьшают ошибку МАЕ до 4,52 года.

4.3 Ускорение алгоритма

Как было сказано выше, основным недостатком используемого алгоритма является большой размер классификатора и медленная классификация.

Наиболее прямолинейным решением является непосредственное уменьшение числа классификаторов. Например, можно оставить лишь часть классификаторов, различающихся на n лет друг от друга. Это автоматически влечет за собой уменьшение размера общего классификатора и ускорение времени обработки в n раз. В табл. 1 указана точность алгоритма, использующего все модификации из п. 4.2, если оставлять лишь каждый n -й классификатор.

Разумно было бы предположить, что оптимальный набор возрастов, классификаторы которых стоит оставить при заданном числе последних, отличается

Таблица 1 Средняя ошибка возрастной классификации при использовании каждого n -го классификатора

n	Средняя ошибка
1 (все классификаторы)	4,52
2	4,61
3	4,65
4	4,72
5	4,96

Таблица 2 Средняя ошибка возрастной классификации при остановке классификации после n отрицательных результатов

n	Средняя ошибка
1	4,75
2	4,7
3	4,65
4	4,63
5	4,62

от простого выбора каждого n -го. Для выбора оптимального набора возрастов исследовалась применимость жадного алгоритма, который по одному «выкидывает» отдельные классификаторы так, чтобы ошибка классификации оставалась минимальной. Однако это приводит к переобучению, так как алгоритм естественным образом выкидывает те возрасты, для которых в выборке меньше всего фотографий. Таким образом, жадный алгоритм можно применять только при наличии полностью равномерной выборки.

Также для ускорения возрастной классификации можно применять не все классификаторы, а лишь часть их: до того момента, когда n последних классификаторов не дадут отрицательный результат. Суммировать результаты нужно также только по примененным классификаторам. При этом нельзя использовать вероятностные выходы и приходится округлять их до 0 или 1. В табл. 2 приведены результаты работы алгоритма при различных n .

Таким образом, при остановке после трех отрицательных результатов средняя ошибка увеличилась до 4,65, при этом среднее время классификации уменьшилось более чем в 2 раза. Однако уменьшение времени происходит по-разному для различных возрастов. Для старших возрастов уменьшение времени меньше, так как приходится применять большее количество классификаторов. Если же скомбинировать описанные оптимизации вместе, например, используя лишь каждый третий классификатор и остановку классификации после двух отрицательных результатов, можно добиться 8-кратного ускорения и 3-кратного уменьшения размера классификатора при увеличении ошибки определения возраста до 4,72.

Наконец, еще одним способом ускорения является использование бинарного поиска. При этом вначале проверяется средний возраст. Если классификатор дает положительный результат, то проверяется старшая половина возрастов, если отрицательный — то младшая половина. При этом также можно использовать не все классификаторы, а только каждый n -й. Проведенные эксперименты показали, что при этом можно в 3 раза уменьшить классификатор и в 10 раз снизить время классификации при увеличении средней ошибки до 5 лет.

4.4 Выводы

Наибольшей точности определения возраста удалось достичь при использовании ЛБШ, суммирования вероятностных выходов и модифицированной функции стоимости. Компромисс между увеличением точности и временем классификации можно обеспечить за счет использования каждого третьего классификатора и остановки после двух отрицательных результатов (обозначим этот алгоритм как «ускоренный вариант 1») или за счет замены остановки после двух отрицательных результатов на бинарный поиск («ускоренный вариант 2»). В табл. 3 показано сравнение указанных вариантов алгоритмов друг с другом и с исходным алгоритмом. Поскольку в исходной работе [1] не указан размер классификаторов и времена работы, эти параметры в таблице не приводятся. Время указано для реализации алгоритма на Matlabе, непосредственно классификация реализована на C++ в виде тех-функций. Для классификации использовалась библиотека lib-svm [18].

Таблица 3 Сравнение различных модификаций алгоритма на основе бинарных классификаторов

Алгоритм	Размер классификатора, ГБ	Время классификации, с	MAE, лет
Исходный алгоритм	—	—	6,07
Лучший по точности	1,17	3,21	4,52
Ускоренный вариант 1	0,29	0,40	4,72
Ускоренный вариант 2	0,29	0,32	5,0

5 Заключение

В данной статье предлагается ряд модификаций алгоритма [1] определения возраста человека по фотографии лица. Благодаря замене параметров «Активной модели внешности» на ЛБШ в качестве признаков достигнуто существенное повышение точности возрастной классификации, однако при этом алгоритм становится медленнее и существенно более требовательным к объему необходимой памяти. Для обеспечения компромисса между повышением точности, временем работы и требованиями по памяти предложено несколько дополнительных модификаций.

Литература

1. Chang K.-Y., Chen C.-S., Hung Y.-P. Ordinal hyperplanes ranker with cost sensitivities for age estimation // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2011. P. 585–592.

2. Yang Z., Li M., Ai H. An experimental study on automatic face gender classification // 18th Conference (International) on Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE Computer Society, 2006. P. 1099–1102.
3. Mayo M., Zhang E. Improving face gender classification by adding deliberately misaligned faces to the training data // IVCNZ08: 23rd Conference (International) Image and Vision Computing Proceedings. — New Zealand, 2008. P. 1–5.
4. Fu Y., Xu Ye, Huang T. S. Estimating human age by manifold analysis of face pictures and regression on aging features // IEEE Conference (International) on Multimedia and Expo Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2007. P. 1383–1386.
5. Nakano M., Yasukata F., Fukumi M. Age classification from face images focusing on edge information // Knowledge-based intelligent information and engineering systems / Eds. M. Gh. Negoita, R. J. Howlett, and L. Jain. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. Vol. 3213. P. 898–904.
6. Montillo A., Ling H. Age regression from faces using random forests // 16th IEEE Conference (International) on Image Processing Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 2465–2468.
7. Guo G., Fu Y., Huang T. S., Dyer C. A probabilistic fusion approach to human age prediction // IEEE CVPR-SLAM Workshop. — N.Y.: IEEE, 2008. P. 1–6.
8. Lian H.-C., Lu B.-L. Multi-view gender classification using local binary patterns and support vector machines // Advances in neural networks. / Eds. J. Wang, Zh. Yi, J. M. Zurada, et al. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. Vol. 3972. P. 202–209.
9. Mu G., Guo G., Fu Y., Huang T. S. Human age estimation using bio-inspired features // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 112–119.
10. Guo G., Mu G., Fu Y., Dyer C., Huang T. S. A study on automatic age estimation using a large database // 12th IEEE Conference (International) on Computer Vision Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 1986–1991.
11. Lanitis A., Draganova C., Christodoulou C. Comparing different classifiers for automatic age estimation // IEEE TSMC Part B, 2004. Vol. 34. Iss. 1. P. 621–628.
12. Chang K.-Y., Chen C.-S., Hung Y.-P. A ranking approach for human ages estimation based on face images // 20th Conference (International) on Pattern Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2010. P. 3396–3399.
13. Ben S., Chen J., Su G. Piecewise linear aging function for facial age estimation // 16th IEEE Conference (International) on Image Processing. — N.Y.: IEEE, 2009. P. 2753–2756.
14. Cootes T., Edwards G., Taylor C. Active appearance models // IEEE TPAMI, 2001. Vol. 23. Iss. 6. P. 681–685.
15. The FG-NET Aging Database [HTML]. <http://www.fgnet.rsunit.com>.
16. Ricanek K., Jr., Tesafaye T. Morph: A longitudinal image database of normal adult age-progression // 7th Conference (International) on Automatic Face and Gesture Recognition Proceedings. — N.Y.: IEEE, 2006. P. 341–345.
17. Ojala T., Pietikainen M., Harwood D. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions // Pattern Recogn., 1996. Vol. 29. P. 51–59.
18. Chang C. C., Lin C. J. LIBSVM: A library for support vector machines. 2001. Available at: <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/> (accessed October 25, 2013).

AGE ESTIMATION UPON FACE IMAGE BASED ON LOCAL BINARY PATTERNS AND A RANKING APPROACH

A. V. Rybintsev¹, T. M. Lukina², V. S. Konushin³, and A. S. Konushin⁴

¹M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
arybintsev@graphics.cs.msu.ru

²M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
tlukina@graphics.cs.msu.ru

³M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
vadim@graphics.cs.msu.ru

⁴M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
ktosh@graphics.cs.msu.ru

Abstract: A new age classification algorithm is suggested, which is a modification of method developed by Chang *et al.* The algorithm is based on training of a set of binary classifiers. Each classifier estimates whether the person is older than a specified age or not. The age then can be simply calculated as a sum of outputs of all binary classifiers. Using local binary patterns as classification features, age prediction accuracy improvement is achieved, though classifier size is increased. A number of modifications, which decrease a classifier size and increase classification speed, but keep age estimation accuracy high, are proposed. Experiments on MORPH database showed mean absolute error from 4.52 to 5 years and classification time between 0.32 and 3.21 s, depending on parameters.

Keywords: face classification; age classification; local binary patterns

DOI: 10.14357/08696527130205

Acknowledgments

The study was supported by the Grant of the President of Russian Federation for the state support of young Russian scientists — PhD — No. MK-4644.2012.9 and by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 11-01-00957-a).

References

1. Chang, K.-Y., C.-S. Chen, and Y.-P. Hung. 2011. Ordinal hyperplanes ranker with cost sensitivities for age estimation. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 585–92.
2. Yang, Z., M. Li, and H. Ai 2006. An experimental study on automatic face gender classification. *18th Conference (International) on Pattern Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 1099–102.

3. Mayo, M., and E. Zhang. 2008. Improving face gender classification by adding deliberately misaligned faces to the training data. *IVCNZ08: 23rd Conference (International) Image and Vision Computing Proceedings*. New Zealand. 1–5.
4. Fu, Y., Ye Xu, and T. S. Huang. 2007. Estimating human age by manifold analysis of face pictures and regression on aging features. *IEEE Conference (International) on Multimedia and Expo Proceedings*. N.Y.: IEEE. 1383–86.
5. Nakano, M., F. Yasukata, and M. Fukumi. 2004. Age classification from face images focusing on edge information. *Knowledge-based intelligent information and engineering systems*. Eds. M. Gh. Negoita, R. J. Howlett, and L. Jain. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 3213:898–904.
6. Montillo, A., and H. Ling. 2009. Age regression from faces using random forests. *16th IEEE Conference (International) on Image Processing Proceedings*. N.Y.: IEEE. 2465–68.
7. Guo, G., Y. Fu, T. S. Huang, and C. Dyer. 2008. A probabilistic fusion approach to human age prediction. *IEEE CVPR-SLAM Workshop*. N.Y.: IEEE. 1–6.
8. Lian, H.-C., and B.-L. Lu. 2006. Multi-view gender classification using local binary patterns and support vector machines. *Advances in neural networks*. Eds. J. Wang, Zh. Yi, J. M. Zurada, et al. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 2:202–9.
9. Mu, G., G. Guo, Y. Fu, and T. S. Huang. 2009. Human age estimation using bio-inspired features. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 112–19.
10. Guo, G., G. Mu, Y. Fu, C. Dyer, and T. S. Huang. 2009. A study on automatic age estimation using a large database. *12th IEEE Conference (International) on Computer Vision Proceedings*. N.Y.: IEEE. 1986–91.
11. Lanitis, A., C. Draganova, and C. Christodoulou. 2004. Comparing different classifiers for automatic age estimation. *IEEE TSMC Part B* 34(1):621–28.
12. Chang, K.-Y., C.-S. Chen, and Y.-P. Hung. 2001. A ranking approach for human age estimation based on face images. *20th Conference (International) on Pattern Recognition*. N.Y.: IEEE. 3396–99.
13. Ben, S., J. Chen, and G. Su. 2009. Piecewise linear aging function for facial age estimation. *16th IEEE Conference (International) on Image Processing*. N.Y.: IEEE. 2753–56.
14. Cootes, T., G. Edwards, and C. Taylor. 2001. Active appearance models. *IEEE TPAMI* 23(6):681–85.
15. The FG-NET Aging Database [HTML]. <http://www.fgnet.rsunit.com>.
16. Ricanek, Jr. K., and T. Tesafaye. 2006. Morph: A longitudinal image database of normal adult age-progression. *7th Conference (International) on Automatic Face and Gesture Recognition Proceedings*. N.Y.: IEEE. 341–45.
17. Ojala, T., M. Pietikainen, and D. Harwood. 1996. A comparative study of texture measures with classification based on feature distributions. *Pattern Recogn.* 29:51–59.
18. Chang, C. C., and C. J. Lin. 2001. LIBSVM: A library for support vector machines. Available at: <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/> (accessed October 25, 2013).

ПОИСК СООТВЕТСТВИЙ МЕЖДУ КЛЮЧЕВЫМИ ТОЧКАМИ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАДУЖНЫХ ОБОЛОЧЕК ГЛАЗ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПРОЕКЦИОННОЙ ФАЗОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ*

E. A. Павельева¹

Аннотация: Работа основана на анализе и сопоставлении наиболее информативных точек текстуры радужной оболочки глаза — ключевых точек. Для нахождения ключевых точек используется преобразование Эрмита. Предлагается осуществлять поиск соответствий между ключевыми точками радужных оболочек с помощью метода проекционной фазовой корреляции локальных окрестностей ключевых точек. В методе проекционной фазовой корреляции преобразование Фурье применяется к разложению функций интенсивности изображений в ряд Фурье по функциям Эрмита. В предложенном методе сопоставления ключевых точек не используется информация, связанная с их расположением. Метод позволяет добиться хороших результатов сравнения изображений и избежать ошибок, связанных с локальными сдвигами частей изображений и с попаданием век, ресниц и бликов на изображения.

Ключевые слова: распознавание по радужной оболочке глаза; фазовая корреляция; функции Эрмита; ключевые точки; биометрия

DOI: 10.14357/08696527130206

1 Введение

Выделение на изображении наиболее информативных ключевых точек является распространенным подходом к решению многих биометрических задач. По выделенным ключевым точкам составляется вектор свойств и производится сравнение изображений. В случае распознавания по радужной оболочке глаза этот подход встречается в работах [1–4].

В работе [2] ключевые точки выделяются с помощью фильтра Габора. В качестве вектора свойств радужной оболочки вычисляются расстояния между ключевыми точками. Однако в случае попадания на изображение радужной оболочки бликов, век, ресниц может отсутствовать большое количество ключевых точек радужной оболочки.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МД-72.2001.9 и грантов РФФИ 10-07-00433 и 13-07-00438.

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, paveljeva@yandex.ru

В работе [4] ключевые точки выделяются с помощью сверток с выбранной функцией преобразования Эрмита. Сравнение ключевых точек происходит с помощью расстояния Хэмминга. Изображение разбивается на блоки, и значение блока равняется единице, если там присутствует хотя бы одна ключевая точка, и равняется нулю в противном случае. Мерой близости изображений является число совпадающих блоков. Таким образом, используются соответствия между ключевыми точками, связанные лишь с их расположением.

В данной работе предложено сопоставление ключевых точек радужных оболочек глаз методом проекционной фазовой корреляции локальных окрестностей ключевых точек.

Фаза преобразования Фурье изображения несет в себе гораздо больше информации, чем его амплитуда [5]. Метод фазовой корреляции [6, 7] использует только информацию о фазе дискретного преобразования Фурье для определения близости и сдвигов изображений. Дискретное преобразование Фурье подразумевает периодическое продолжение изображений, поэтому в случае изображений небольших размеров в методе фазовой корреляции могут возникать ошибки вычисления, связанные с ложным оконтурированием. В работе предлагается метод проекционной фазовой корреляции, в котором преобразование Фурье применяется к разложениям функций интенсивности изображений в ряд по функциям Эрмита. Метод проекционной фазовой корреляции не требует периодического продолжения изображений для вычисления преобразования Фурье, поэтому имеет преимущество на изображениях небольших размеров.

2 Предобработка изображений радужных оболочек глаз

На изображении выделяется радужная оболочка глаза и маска радужной оболочки — области радужной оболочки, не закрытые ресницами, веками и

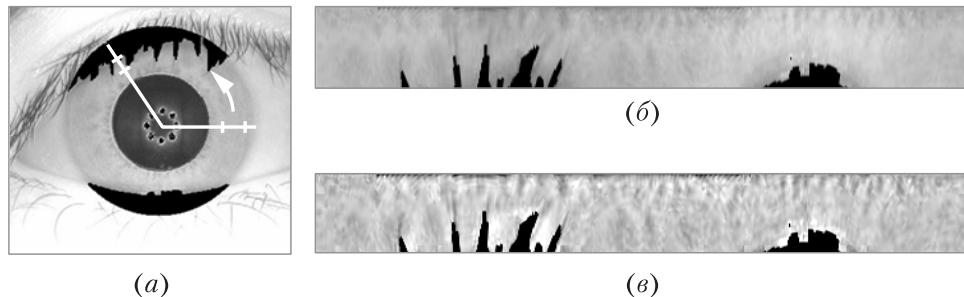


Рис. 1 Выделение радужной оболочки и маски радужной оболочки (a); нормализованное изображение радужной оболочки (б); нормализованное изображение после предобработки (в)

бликами. Далее радужная оболочка переводится в прямоугольное нормализованное изображение размером 512×64 пикселов [4], происходит выравнивание освещенности и повышение контрастности изображения (рис. 1) [8].

3 Метод ключевых точек

После предобработки изображения радужной оболочки на нем выделяются ключевые точки при помощи свертки с выбранной функцией преобразования Эрмита.

Функции преобразования Эрмита [9] задаются формулой:

$$\varphi_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} \frac{1}{\sigma \sqrt{\pi}} e^{-(x/\sigma)^2} H_n \left(\frac{x}{\sigma} \right), \quad n = 0, 1, 2, \dots,$$

где σ — параметр масштаба; $H_n(x)$ — полиномы Эрмита:

$$\begin{aligned} H_0(x) &= 1; & H_1(x) &= 2x; \\ H_n(x) &= 2xH_{n-1}(x) - 2(n-1)H_{n-2}(x). \end{aligned}$$

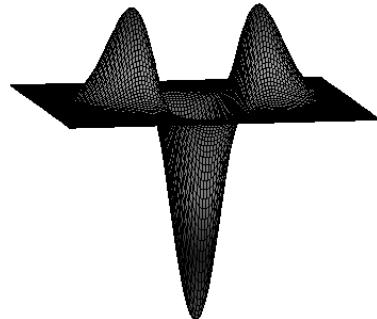


Рис. 2 Функция преобразования Эрмита $\varphi_{2,0}$

Двумерные функции преобразования Эрмита можно представить в виде произведения одномерных функций:

$$\varphi_{m,n}(x, y) = \varphi_m(x)\varphi_n(y).$$

Текстура радужной оболочки глаза сильнее изменяется в горизонтальном направлении нормализованного изображения. Сверткой (или корреляцией) с функцией $\varphi_{2,0}$ (рис. 2) можно выделить текстурные особенности радужной оболочки глаза [8].

В каждой точке (x_0, y_0) нормализованного изображения радужной оболочки вычисляется свертка данного изображения с функцией преобразования Эрмита $\varphi_{2,0}$ со значением параметра масштаба $\sigma = 3$: $(I(x, y) * \varphi_{2,0}(x, y))|_{(x_0, y_0)}$.

Далее выбираются точки со значениями сверток больше среднего значения модулей сверток и отстоящие друг от друга не менее чем на 3 пикселя (рис. 3).

Ключевыми точками считаются N выбранных точек ($N \leq 150$) с наибольшими значениями сверток.

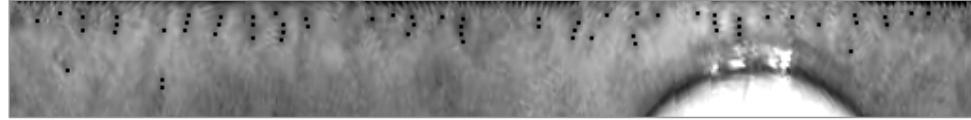


Рис. 3 Ключевые точки на исходном нормализованном изображении, полученные с помощью сверток с функцией преобразования Эрмита $\varphi_{2,0}(x, y)$, $\sigma = 3$

4 Метод фазовой корреляции

Метод фазовой корреляции [6, 7] позволяет вычислять меру близости изображений. Для двух дискретных изображений $f(x, y)$ и $g(x, y)$ размером $M \times N$ вычисляются их дискретные преобразования Фурье $F(u, v)$ и $G(u, v)$, и для спектральных функций $F(u, v)$ и $G(u, v)$ вычисляется их взаимный фазовый спектр:

$$R_{FG}(u, v) = \frac{F(u, v)\overline{G(u, v)}}{|F(u, v)\overline{G(u, v)}|} = e^{i(\varphi_F(u, v) - \varphi_G(u, v))},$$

т. е. спектральная функция с единичным модулем, фаза которой равна разности фаз функций F и G . Далее от функции взаимного фазового спектра вычисляется обратное дискретное преобразование Фурье и получается функция фазовой корреляции (POC (phase-only correlation) функция):

$$\text{POC}_{fg}(x, y) = F^{-1}[R_{FG}(u, v)].$$

В случае «похожих» изображений POC-функция имеет один четкий пик, высота пика определяет меру близости изображений, а положение пика соответствует смещению одного изображения относительно другого. Если же функции «не похожи», то POC-функция не дает четкого пика. В работе [10] показано, что если брать обратное преобразование Фурье не от всего спектрального сигнала, а только от его части, соответствующей низким частотам, то пик POC-функции получается более четким и устойчивым.

5 Метод проекционной фазовой корреляции

В методе проекционной фазовой корреляции [10] преобразование Фурье применяется к разложениям исходных непрерывных функций интенсивности изображений в ряд по функциям Эрмита $\psi_{m,n}(x, y)$ [11].

Одномерные функции Эрмита задаются следующей формулой:

$$\psi_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2^n n!}} \frac{1}{\sqrt{\sigma \sqrt{\pi}}} e^{-x^2/(2\sigma^2)} H_n \left(\frac{x}{\sigma} \right), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Функции Эрмита являются собственными функциями преобразования Фурье

$$F[f] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\lambda x} dx$$

с собственными значениями $\pm 1, \pm i$:

$$F[\psi_n] = (-i)^n \psi_n$$

и образуют полную ортонормированную в пространстве $L_2(R)$ систему функций.

Двумерные функции Эрмита можно представить в виде произведения одномерных:

$$\psi_{m,n}(x, y) = \psi_m(x)\psi_n(y).$$

Пусть исследуемые функции $f(x, y)$ и $g(x, y)$ заданы в прямоугольнике $D = [-A, A] \times [-B, B]$. Продолжим их нулем в $R^2 \setminus D$ и рассмотрим частичную сумму разложения в ряд по функциям Эрмита $\psi_{l,j}(x, y)$, $l = \overline{0, m}$, $j = \overline{0, n}$:

$$f(x, y) \approx f_1(x, y) = \sum_{l=0}^m \sum_{j=0}^n c_{lj} \psi_{l,j}(x, y), \quad (1)$$

где коэффициенты Эрмита

$$c_{lj} = \iint_{R^2} f(x, y) \psi_{l,j}(x, y) dx dy.$$

Тогда аппроксимация преобразования Фурье примет следующий вид:

$$\text{HF}[f, m, n] = F[f_1] = f \left[\sum_{l=0}^m \sum_{j=0}^n c_{lj} \psi_{l,j}(x, y) \right] = \sum_{l=0}^m \sum_{j=0}^n c_{lj} (-i)^{l+j} \psi_{l,j}(x, y).$$

Аналогично вычисляется аппроксимация преобразования Фурье для $g(x, y)$. Далее для спектральных функций $\text{HF}[f, m, n]$ и $\text{HF}[g, m, n]$ находится их взаимный фазовый спектр $R_{fg}(x, y)$ и вычисляется функция проекционной фазовой корреляции HPPOC_{fg}(x, y). Поскольку $F^{-1}[R_{fg}(x, y)] = F[R_{fg}(-x, -y)]$, то

$$\text{HPPOC}_{fg}(x, y) = \text{HF}[R_{fg}(-x, -y), m, n].$$

6 Сравнение метода фазовой корреляции и метода проекционной фазовой корреляции

Угол поворота одного глаза относительно другого соответствует циклическому сдвигу одного нормализованного изображения относительно другого. Будем искать сдвиг методами фазовой корреляции (РОС) и проекционной фазовой корреляции (НРРОС). В случае изображений одной радужной оболочки (рис. 4) пики РОС- и НРРОС-функций выражены четко, при этом позиция пика соответствует сдвигу второго изображения относительно первого (повороту второго глаза относительно первого), а высота пика определяет меру близости функций. В случае изображений разных радужных оболочек (рис. 5) нет четкого пика РОС- и НРРОС-функций.

Однако при небольших размерах изображений метод проекционной фазовой корреляции дает более точные результаты, чем метод фазовой корреляции (рис. 6). Это связано с тем, что метод НРРОС не требует периодического продолжения изображений для вычисления преобразования Фурье (в отличие от

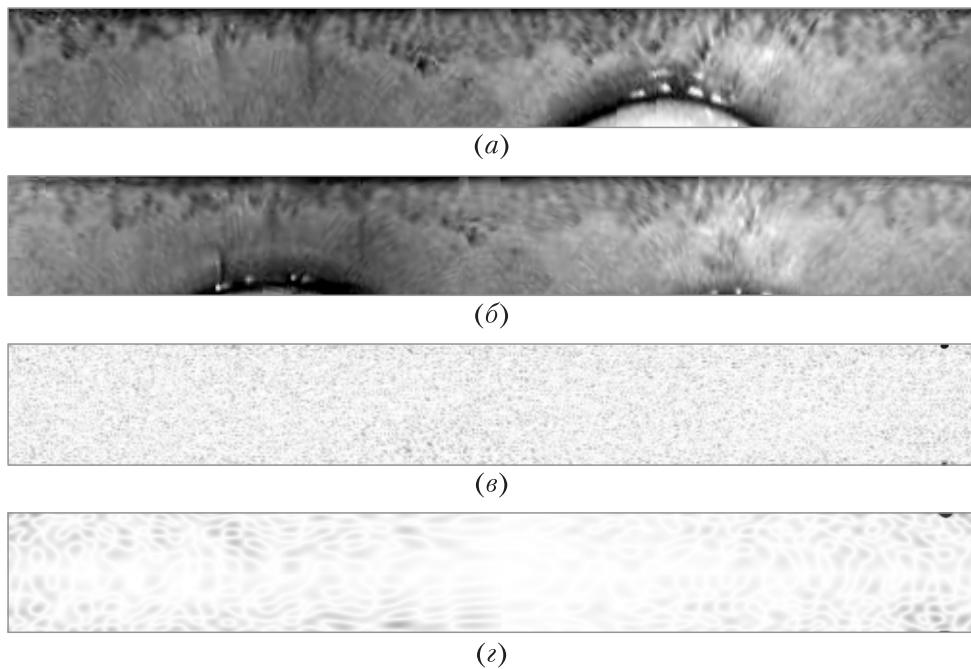


Рис. 4 Нормализованные изображения глаз одного человека (*a*, *b*), их РОС-функция (*c*) и НРРОС-функция (*d*). Чем выше значения функций РОС или НРРОС, тем темнее соответствующие области изображений для РОС и НРРОС

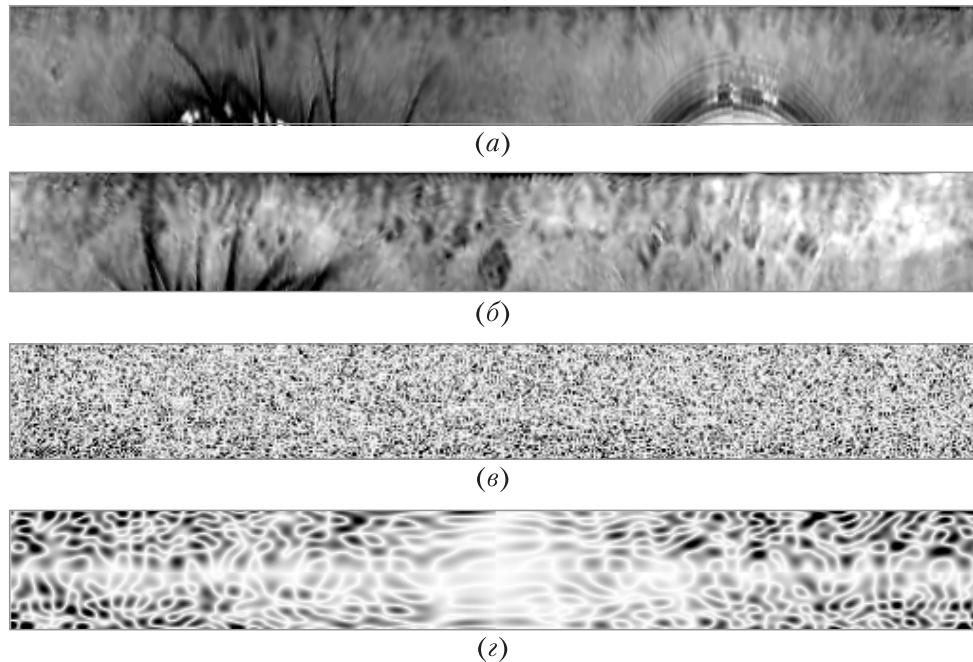


Рис. 5 Нормализованные изображения глаз разных людей (а, б), их РОС-функция (в) и НПРОС-функция (г)

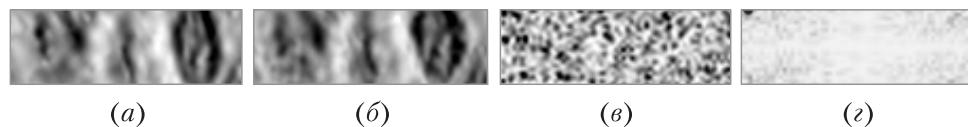


Рис. 6 Части изображений одного глаза (а, б); РОС-функция (в); НПРОС-функция (г)

метода РОС), и поэтому в методе НПРОС не возникает ошибок от скачков на границах (ложного оконтурирования). В случае изображений маленького размера ошибки в методе РОС, связанные с ложным оконтурированием, могут приводить к неверным результатам.

7 Сопоставление ключевых точек радужных оболочек глаз методом проекционной фазовой корреляции

Предлагается метод сопоставления ключевых точек радужных оболочек глаз, основанный на анализе проекционной фазовой корреляции их окрестно-

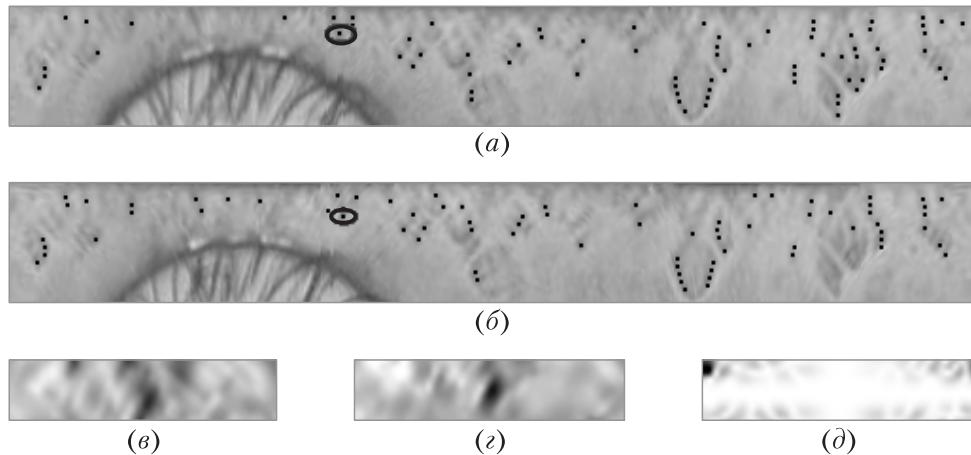


Рис. 7 Сопоставление ключевых точек двух изображений одного глаза методом проекционной фазовой корреляции: исходные нормализованные изображения (*a*, *b*, выделены две сравниваемые ключевые точки); окрестность (увеличенная) ключевой точки первого изображения (*c*); окрестность ключевой точки второго изображения (*d*); HPROC-функция для данных окрестностей (*e*)

стей [8, 10]. В каждой ключевой точке выделяется локальная окрестность размера 25×10 пикселов с центром в данной точке. Данное изображение раскладывается в сумму (1) по функциям Эрмита ψ_{lj} , $l = 0, 1, \dots, 9$, $j = 0, 1, 2, 3, 5$. Чем меньше функций Эрмита берется для параметризации, тем меньше коэффициентов будет храниться и участвовать в сравнении. Чем больше функций Эрмита, тем лучше будет аппроксимация функций.

Сначала определяется угол поворота одного глаза относительно другого методом проекционной фазовой корреляции, примененным к целым нормализованным изображениям [10] либо к правой верхней четверти нормализованных изображений для увеличения быстродействия работы метода. Далее каждая ключевая точка одного изображения сопоставляется с каждой ключевой точкой второго изображения из окрестности 40×10 пикселов методом проекционной фазовой корреляции окрестностей (размером 25×10 пикселов) данных ключевых точек. Таким образом, считаем, что возможен поворот глаза на угол до $\pm 14^\circ$. Если отношение пика HPROC-функции ко второму локальному максимуму этой функции больше значения $k = 3$, то считается, что ключевые точки соответствуют друг другу. Пример алгоритма сопоставления ключевых точек показан на рис. 7–9.

В случае изображений одного глаза (см. рис. 7) для сопоставляемых ключевых точек есть четкий пик HPROC-функции. В случае изображений разных глаз (см. рис. 8) для сопоставляемых ключевых точек нет четкого пика HPROC-функции.

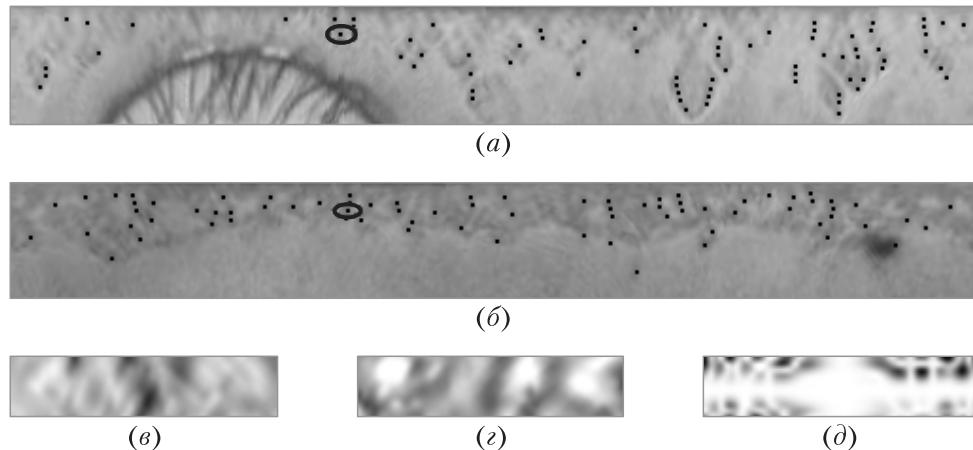


Рис. 8 Сопоставление ключевых точек (близких по месторасположению) изображений разных глаз методом проекционной фазовой корреляции

На рис. 9 представлены нормализованные изображения одного глаза и показано их сопоставление методом проекционной фазовой корреляции. Черным цветом обозначены ключевые точки, не имеющие сопоставимых ключевых точек на другом изображении при использовании метода проекционной фазовой корреляции. Белые точки — точки, имеющие сопоставимые ключевые точки на другом изображении. Из рисунка видно, что чем меньше порог k отношения пика НПРОС-функции ко второму локальному максимуму этой функции, тем больше ключевых точек оказываются сопоставимыми.

8 Сопоставление ключевых точек радужных оболочек глаз с помощью расстояния Хэмминга

При сопоставлении ключевых точек с помощью расстояния Хэмминга [4] изображение разбивается на блоки 4×4 пикселя, и значение блока приравнивается 1, если в него попадает хотя бы одна ключевая точка, и 0, если не попадает ни одной ключевой точки. Расстоянием между изображениями считается число совпадающих блоков. Таким образом, используются соответствия между ключевыми точками, связанные лишь с их расположением. В случае локальных сдвигов изображений соответствующие друг другу ключевые точки изображений одного глаза могут попадать в соседние блоки. В случае попадания на изображение радужной оболочки бликов, век, ресниц может отсутствовать большое количество ключевых точек, присутствующих на другом изображении той же радужной оболочки (рис. 10). Если же глаза разные, то в одной и той

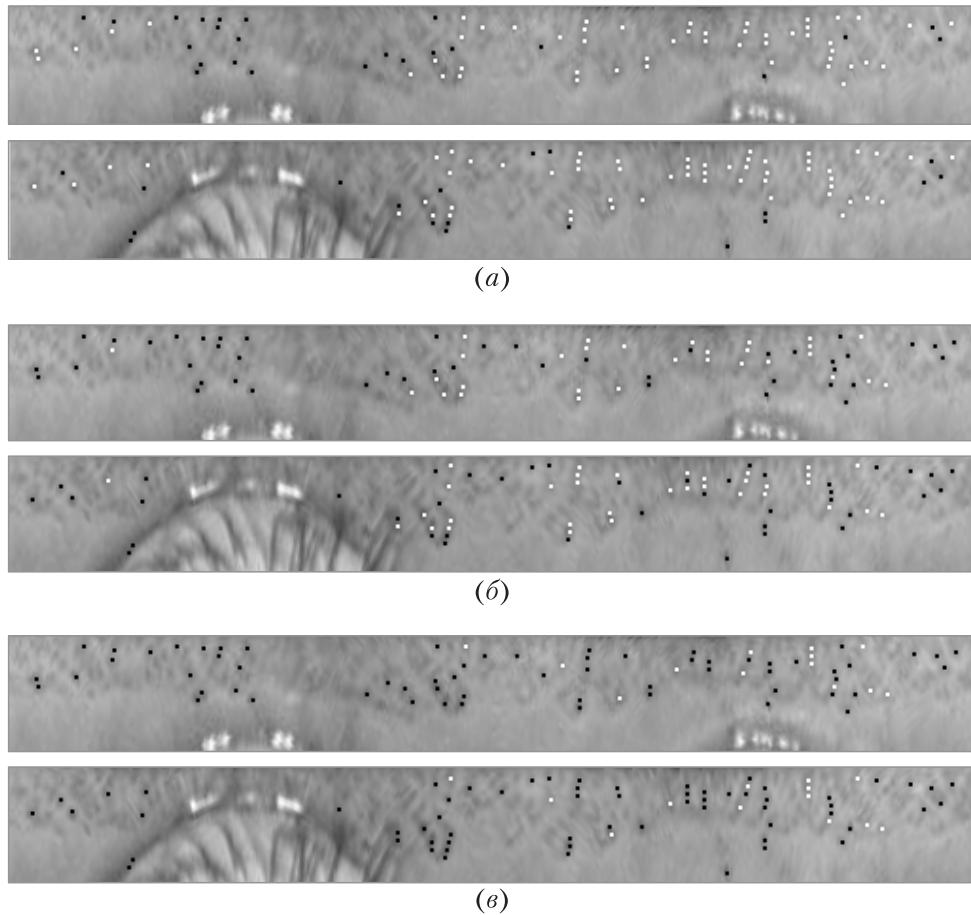


Рис. 9 Сопоставление ключевых точек изображений одного глаза методом проекционной фазовой корреляции при различных порогах k : (а) $k = 2$; (б) 3 (используется при анализе результатов работы метода в разд. 9); (в) $k = 4$

же области могут оказаться ключевые точки (т. е. соответствующие блоки будут совпадать), но соответствующие разным текстурным особенностям.

На рис. 10, а и 10, б приведены те же изображения, что и на рис. 9, и приведено сопоставление ключевых точек этих изображений с помощью расстояния Хэмминга (рис. 10, в). Ключевые точки первого изображения обозначены черным цветом, второго — белым. Разобьем приведенные изображения на три части. Видно, что в правой части изображений ключевые точки на двух изображениях соответствуют друг другу. В центре изображений заметно смещение ключевых

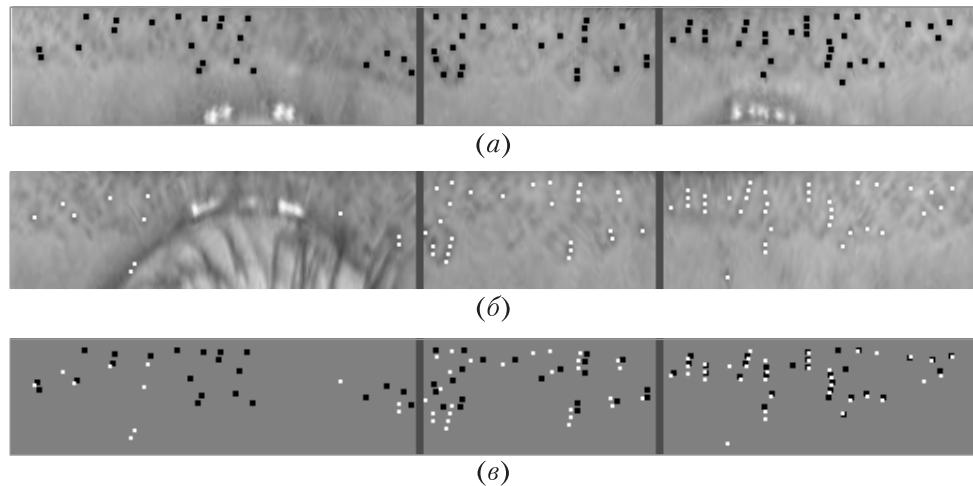


Рис. 10 Сопоставление ключевых точек изображений одного глаза методом Хэмминга

точек изображений (это связано с локальным смещением центральных частей изображения). Слева на рис. 10, б присутствует веко, поэтому там отсутствуют ключевые точки, присутствующие на рис. 10, а.

9 Результаты алгоритмов сопоставления ключевых точек

Для сравнения двух предложенных методов сопоставления ключевых точек используется часть базы данных CASIA-IrisV3 [12], содержащая изображения глаз первых 20 людей в базе: 224 изображений, образующих 40 множеств M_1, \dots, M_{40} (каждое множество содержит изображения одного из двух глаз одного из 20 людей). В этой базе данных для каждой пары изображений сопоставляются ключевые точки с помощью расстояния Хэмминга и методом проекционной фазовой корреляции. Расстоянием между изображениями считается число совпадающих (по методу Хэмминга или методу проекционной фазовой корреляции) ключевых точек.

Возникает вопрос о выборе порогового значения: если расстояние между изображениями выше этого значения, глаза считаются одинаковыми, если ниже — разными. Ошибка I рода, или FRR (False Rejection Rate), — значение в процентах, показывающее, в скольких случаях одинаковые глаза считаются разными. Ошибка II рода, или FAR (False Acceptance Rate), — значение в процентах, показывающее, в скольких случаях разные глаза считаются одинаковыми. Величина EER (Equal Error Rate) — величина ошибки работы метода, при которой ошибки I и II рода равны.

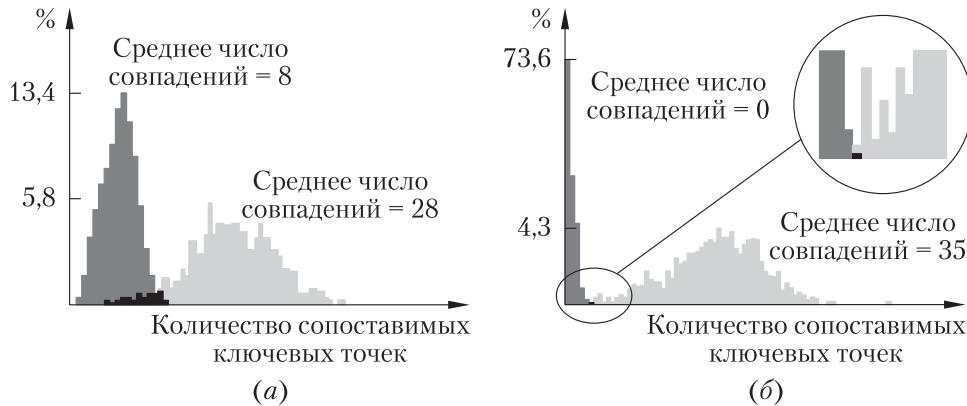


Рис. 11 Сопоставление ключевых точек с помощью расстояния Хэмминга (а) и проекционной фазовой корреляции (б)

При сопоставлении ключевых точек с помощью расстояния Хэмминга величина EER составила 3,43%, при сопоставлении методом проекционной фазовой корреляции EER = 0,02%. На рис. 11 приведены результаты сопоставления ключевых точек с помощью расстояния Хэмминга (а) и с помощью проекционной фазовой корреляции (б). Светло-серым цветом показано распределение всевозможных сравнений изображений одного глаза, темно-серым цветом — распределение всевозможных сравнений изображений разных глаз, черным — пересечение этих распределений.

10 Заключение

Предложен метод сопоставления ключевых точек изображений радужных оболочек глаз на основе метода проекционной фазовой корреляции. Сравнение ключевых точек происходит по локальной информации окрестностей ключевых точек. В методе не используются никакие соответствия между ключевыми точками, связанные с их взаиморасположением. Предложенный метод сопоставления ключевых точек достаточно устойчив к присутствию век, ресниц и бликов на изображении, а также к локальным сдвигам частей изображения.

Литература

1. Ma L., Tan T., Wang Y., Zhang D. Efficient iris recognition by characterizing key local variations // IEEE Trans. Image Process., 2004. Vol. 13. No. 6. P. 739–750.
2. Yu L., Zhang D., Wang K. The relative distance of key point based iris recognition // Pattern Recogn., 2007. Vol. 40. No. 2. P. 423–430.

3. Hollingsworth K., Bowyer K., Flynn P. The best bits in an iris code // IEEE TPAMI, 2009. Vol. 31. No. 6. P. 964–973.
 4. Павельева Е. А., Крылов А. С. Поиск и анализ ключевых точек радужной оболочки глаза методом преобразования Эрмита // Информатика и её применения, 2010. Т. 4. Вып. 1. С. 79–82.
 5. Oppenheim A. V., Lim J. S. The importance of phase in signals // IEEE Proceedings, 1981. Vol. 69. No. 5. P. 529–541.
 6. Miyazawa K., Ito K., Aoki T., Kobayashi K., Nakajima H. A phase-based iris recognition algorithm // Advances in biometrics / Eds. D. Zhang, A. K. Jain. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. Vol. 3832. P. 356–365.
 7. Nagashima S., Ito K., Aoki T., Ishii H., Kobayashi K. High-accuracy estimation of image rotation using 1D phase-only correlation // IEICE Trans. Fund. Electr., 2009. Vol. E92-A. No. 1. P. 235–243.
 8. Павельева Е. А. Метод проекционной фазовой корреляции в ключевых точках радужной оболочки глаза // ГрафиКон'2012: Труды 22-й Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению. — М.: МАКС Пресс, 2012. С. 128–132.
 9. Martens J.-B. The Hermite transform-theory // IEEE Trans. Acoust. Speech, 1990. Vol. 38. No. 9. P. 1595–1606.
 10. Павельева Е. А., Крылов А. С. Определение локальных сдвигов изображений радужных оболочек глаз методом проекционной фазовой корреляции // ГрафиКон'2011: Труды 21-й Междунар. конф. по компьютерной графике и зрению. — М.: МАКС Пресс, 2011. С. 188–191.
 11. Krylov A., Korchagin D. Fast Hermite projection method // Image analysis and recognition / Eds. A. Campilho, M. S. Kamel. Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. Vol. 4141. P. 329–338.
 12. CASIA-IrisV3 database. Available at: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>. (accessed October 25, 2013).
-

THE SEARCH FOR MATCHES BETWEEN THE IRIS KEY POINTS USING HERMITE PROJECTION PHASE-ONLY CORRELATION METHOD

E. A. Pavelyeva

Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, paveljeva@yandex.ru

Abstract: The paper is based on the analysis and comparison of the iris key points which are the most informative points of the iris image texture. The key

points are selected using Hermite transform. The search for matches between the iris key points using Hermite projection phase-only correlation of local areas around key points is suggested. In Hermite projection phase-only correlation method, the Fourier transform is applied to the expansions of images intensity functions in a Fourier series of Hermite functions. The proposed method of key points comparisons does not use any information about key points locations, is robust to eyelids, eyelashes, and glares, and gives good results.

Keywords: iris recognition; phase only correlation; Hermite functions; key points; biometrics

DOI: 10.14357/08696527130206

Acknowledgments

The research was supported by the President of Russian Federation (Grant No. MD-72.2001.9) and by the Russian Foundation for Basic Research (Grants Nos. 10-07-00433 and 13-07-00438).

References

1. Ma, L., T. Tan, Y. Wang, and D. Zhang. 2004. Efficient iris recognition by characterizing key local variations. *IEEE Trans. Image Process.* 13(6):739–50.
2. Yu, L., D. Zhang, and K. Wang. 2007. The relative distance of key point based iris recognition. *Pattern Recogn.* 40(2):423–30.
3. Hollingsworth, K., K. Bowyer, and P. Flynn. 2009. The best bits in an iris code. *IEEE TPAMI* 31(6):964–73.
4. Pavlyeva, E. A., and A. S. Krylov. 2010. Poisk i analiz kljuchevyh tochek raduzhnoj obolochki glaza metodom preobrazovaniya Hermita [Hermite transform based iris key points selection and analysis]. *Informatics and Applications* 4(1):79–82.
5. Oppenheim, A. V., and J. S. Lim. 1981. The importance of phase in signals. *IEEE Proceedings* 69(5):529–41.
6. Miyazawa, K., K. Ito, T. Aoki, K. Kobayashi, and H. Nakajima. 2006. A phase-based iris recognition algorithm. *Advances in biometrics*. Eds. D. Zhang and A. K. Jain. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Hridelberg: Springer. 3832:356–65.
7. Nagashima, S., K. Ito, T. Aoki, H. Ishii, and K. Kobayashi. 2009. High-accuracy estimation of image rotation using 1D phase-only correlation. *IEICE Trans. Fund. Electr.* E92-A(1):235–43.
8. Pavlyeva, E. A. 2012. Metod proekcionnoj fazovojo korreljacii v kljuchevyh tochkah raduzhnoj obolochki glaza [Hermite projection phase-only correlation method in iris key points]. *GraphiCon'2012 Conference Proceedings: 22nd Conference (International) on Computer Graphics and Vision*. Moscow. 128–32.
9. Martens, J.-B. 1990. The Hermite transform-theory. *IEEE Trans. Acoust. Speech* 38(9):1595–606.

10. Pavelyeva, E. A., and A. S. Krylov. 2011. Opredelenie lokal'nyh sdvigov izobrazhenij raduzhnyh obolochek glaz metodom proekcionnoj fazovoj korreljacii [Local iris images shifts detection using Hermite projection phase-only correlation method]. *GraphiCon'2011 Conference Proceedings: 21nd Conference (International) on Computer Graphics and Vision*. Moscow. 188–91.
11. Krylov, A., and D. Korchagin. 2006. Fast Hermite projection method. *Image analysis and recognition*. Eds. A. Campilho and M. S. Kamel. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 4141:329–38.
12. CASIA-IrisV3 database. Available at: <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm> (accessed October 25, 2013).

ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ

М. А. Драницына¹, Т. В. Захарова²

Аннотация: Целью данной работы ставилась разработка методики классификации пациентов, проходящих лечение методом гипербарической оксигенации (ГБО), по эффективности лечения, построение математической модели оценки и прогноза состояния пациента во время проведения сеанса и всего курса терапии. В ходе работы была обследована группа из 161 пациента. Во время сеансов ГБО с помощью системы непрерывного компьютерного мониторинга проводились измерения физиологических параметров, характеризующих работу сердечно-сосудистой системы. Для решения поставленной задачи использован дискриминантный анализ. Коэффициент результативности классификации для тестовой выборки в предложенной модели составил более 75%. Был выполнен статистический анализ физиологических параметров пациентов во время прохождения процедуры ГБО и разработан метод классификации исследуемых объектов на основе статистических выводов и экспертизы оценок.

Ключевые слова: дискриминантный анализ; дискриминантные переменные; классификационные функции; прогнозирование

DOI: 10.14357/08696527130207

1 Введение

Целью данной работы ставилась разработка методики классификации пациентов, проходящих лечение методом ГБО, по эффективности лечения, построение математической модели оценки и прогноза состояния пациента во время проведения сеанса и общего курса лечения.

Гипербарическая оксигенация — метод насыщения организма кислородом под повышенным давлением с профилактической или лечебной целью. В основе ГБО лежит повышение парциального давления кислорода в жидких средах организма (плазме крови, лимфе, тканевой жидкости). Это приводит к соответствующему возрастанию их кислородной емкости и сопровождается увеличением диффузии кислорода в ткани организма, что дает возможность полного удовлетворения по-

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, margarita13april@mail.ru

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, факультет вычислительной математики и кибернетики, lsa@cs.msu.ru

требности в кислороде. Действие ГБО наиболее полно проявляется в отсутствие нарушений функции системы кровообращения. В целом терапевтический эффект ГБО обусловлен возможностью компенсировать кислородную задолженность организма при недостаточности функций внешнего дыхания, кислородсвязывающей функции крови, дефиците регионарного или общего кровотока и др. К нормальным реакциям организма на действие ГБО относят урежение и углубление дыхания, замедление частоты сердечных сокращений (ЧСС), снижение сердечного выброса и объема органного кровотока, увеличение периферического сосудистого сопротивления. Однако иногда (как правило, в первые 1–3 сеанса) наблюдают признаки кислородной интоксикации в виде раздражения центральной нервной системы (судорожный синдром) или расстройства легочной функции (одышки, цианоза), что связано с повышенной индивидуальной чувствительностью к кислороду. Во время сеанса пациент находится в барокамере, где давление постепенно повышают до 2 атм. Для контроля состояния пациента используется система непрерывного компьютерного мониторинга основных физиологических параметров, но прямой доступ к пациенту невозможен, и для того чтобы снизить давление в барокамере и вывести пациента в экстренных случаях, требуется 5–10 мин. Поэтому на первом этапе лечения важно, чтобы по результатам измерений параметров, полученных во время проведения сеансов, врач имел возможность в реальном времени оценить состояние пациента и с высокой степенью достоверности прогнозировать ход сеанса, а также подобрать индивидуальный оптимальный режим ГБО, определить целесообразность лечения и ожидаемую эффективность. Для решения этой задачи прогнозирования был использован дискриминантный анализ, который впервые с прогностической целью, а именно для определения риска развития ишемической болезни сердца, применен в 1967 г. [1].

2 Постановка задачи

В ходе работы была обследована группа проходивших процедуру ГБО пациентов, включавшая 161 человека. Во время сеансов ГБО с помощью системы непрерывного компьютерного мониторинга проводились измерения физиологических параметров, характеризующих работу сердечно-сосудистой системы. Для каждого пациента из исследуемой группы была дана экспертная оценка эффективности и переносимости терапевтической процедуры. Ранее была успешно проведена классификация для группы пациентов, проходивших сеансы ГБО, на две группы с положительными и отрицательными результатами терапии соответственно [2]. С помощью экспертных оценок эмпирически были выделены три группы: в первую группу вошли пациенты, для которых процедура высокоэффективна и хорошо переносима, во вторую группу — участники, у которых отмечена умеренная эффективность ГБО, в третью группу — пациенты, для

которых терапия оказалась неэффективной или наблюдалось выраженное ухудшение состояния в барокамере [3]. Таким образом, основная задача настоящей работы заключалась в первичной обработке исходных данных, построении классификационной модели и оценке ее достоверности.

Исходные данные были предоставлены сотрудниками Московского государственного медицинского университета им. И. М. Сеченова.

3 Метод

Методом решения поставленной задачи был выбран дискриминантный анализ [4, 5]. Цель дискриминантного анализа состоит в построении решающего правила, позволяющего наилучшим образом отделить одну группу исследуемых объектов от другой, а также в идентификации новых объектов и отнесении их к уже имеющимся группам или совокупностям.

Все процедуры дискриминантного анализа можно разбить на две группы и рассматривать как совершенно самостоятельные методы. Первая группа процедур позволяет интерпретировать различия между существующими классами, вторая — проводить классификацию новых объектов в тех случаях, когда неизвестно заранее, к какому из существующих классов они принадлежат.

Пусть задано пространство признаков X размерностью $m > 1$, точками которого являются конкретные наблюдения, каждое из которых представляет собой случайный вектор $x = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$. Признаки, которые используются для того, чтобы отличать один класс от другого, называются дискриминантными переменными, теоретически их число не ограничено, но на практике выбор должен осуществляться на основании логического анализа исходной информации. Число объектов наблюдения должно превышать число дискриминантных переменных как минимум на два.

Задача дискриминации состоит в разбиике всего множества реализаций рассматриваемой многомерной величины на некоторое число групп R_k , $k = 1, 2, \dots, n$, и последующем отнесении нового наблюдения к одной из них. Необходимо определить набор формальных решающих правил, позволяющих для произвольного измерения x из X указать класс R_k , к которому оно принадлежит. Правило дискриминации выбирается в соответствии с определенным принципом оптимальности — минимизации средних потерь от неправильной классификации, исходя из априорных вероятностей p_k извлечения объекта из группы R_k . Решающее правило считается наилучшим, если никакое другое правило не может дать меньшей величины функции потерь.

Таким образом, в рамках дискриминантного анализа осуществляется переход от пространства дискриминантных переменных размерностью m к пространству канонических дискриминантных функций размерностью q , обеспечивающих наилучшую дискриминацию групп. Метод позволяет изучать природу различий двух

и более групп объектов, а также дать ответ на вопрос, какие из выбранных дискриминантных переменных могут быть использованы при прогнозировании и какова точность такого прогноза.

4 Основные результаты

Для всех используемых в анализе показателей по всем сеансам были вычислены описательные статистики, построены графики изменения состояния каждого пациента в ходе сеанса для исследуемых признаков и аппроксимирующие их функции — экспоненциальные, логарифмические, линейные.

Был проведен разведочный анализ данных. С помощью критерия Смирнова–Колмогорова в модификации Лиллифорса была проверена гипотеза о нормальном распределении переменных в первичной модели. В каждой из трех групп результаты варьировали (табл. 1). С увеличением объема выборки (группы) число нормально распределенных переменных уменьшалось, однако следует заметить, что нормальность дискриминантных переменных в рассматриваемой модели не стала критичной для корректной классификации.

Далее была определена обучающая выборка, к которой были отнесены наиболее характерные наблюдения. С помощью пошагового дискриминантного анализа на основе обучающей выборки были построены линейные классификационные функции. Отметим, что три из включенных в первичную модель переменных

Таблица 1 Проверка гипотезы о нормальном распределении дискриминантных переменных

Переменная	Распределение		
	Группа 1, $n = 45$	Группа 2, $n = 82$	Группа 3, $n = 13$
x_1	N	—	N
x_2	—	—	—
x_3	N	N	N
x_4	N	N	N
x_5	N	—	N
x_6	N	—	N
x_7	—	—	—
x_8	N	—	—
x_9	—	—	N
x_{10}	—	N	—
x_{11}	—	—	N
x_{12}	—	—	N
x_{13}	N	—	N
x_{14}	—	—	N
x_{15}	N	—	—

Таблица 2 Классификационные функции

Переменные линейных классификационных функций	Группа 1	Группа 2	Группа 3
x_1	-222,787	-185,201	-42,333
x_2	0,077	0,114	0,187
x_3	-1,023	0,560	1,754
x_4	18,464	-9,669	-20,396
x_5	-785,409	43,946	-278,369
x_6	0,109	-1,010	0,312
x_7	0,244	0,237	0,408
x_8	43,387	224,283	270,880
x_9	0,099	-0,035	-0,023
x_{10}	-0,074	-0,131	-0,247
x_{11}	1,826	1,732	3,760
x_{12}	-0,042	-0,017	-0,098
Константа	-21,876	-19,402	-43,832

оказались неинформативными. Классификационные функции представлены в табл. 2, где x_1-x_{12} — включенные в окончательную модель дискриминантные переменные.

Качество классификации оценивалось с помощью так называемой классификационной матрицы. Эта матрица содержит ряд правильно (на главной диагонали) и ошибочно (в остальных клетках) классифицированных случаев. Степень

Таблица 3 Классификационная матрица для обучающей выборки

	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Корректно классифицировано, %
Группа 1	15	0	0	100
Группа 2	0	30	0	100
Группа 3	0	0	6	100
Результиативность	—	—	—	100

Таблица 4 Классификационная матрица для генеральной совокупности

	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Корректно классифицировано, %
Группа 1	39	16	1	69,64
Группа 2	13	74	5	80,43
Группа 3	0	3	10	76,92
Результиативность	—	—	—	75,66

близости наблюдения к той или иной группе оценивалась исходя из значений апостериорных вероятностей и квадратов расстояний Махalanобиса. Достоверность проверялась путем сравнения полученных результатов с экспертными оценками.

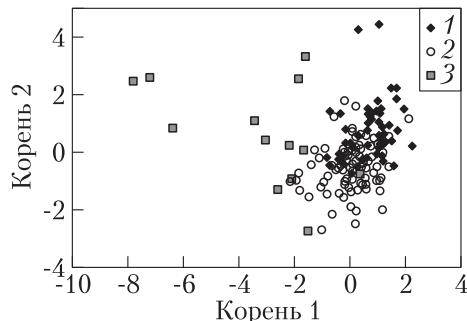


График рассеяния канонических значений для канонических корней генеральной совокупности наблюдений: 1 — группа 1; 2 — группа 2; 3 — группа 3

Для обучающей выборки модель показала 100%-ную результативность (табл. 3).

Далее по полученным классификационным функциям была проведена классификация тестовой выборки. Коэффициент результативности для тестовой выборки составил более 75% (табл. 4).

Удельный вес, вносимый каждой дискриминантной функцией в разделение групп, можно оценить, рассмотрев график рассеяния канонических значений для канонических корней генеральной совокупности наблюдений (см. рисунок).

5 Заключение

Таким образом, в ходе настоящей работы был выполнен статистический анализ физиологических параметров пациентов во время прохождения ГБО и разработан метод классификации исследуемых объектов на основе статистических выводов и экспертных оценок. Также была проведена оценка информативности переменных в модели и качества разработанной процедуры классификации.

Литература

1. Truett J., Cornfield J., Kannel W. A multivariate analysis of the risk of coronary heart disease in Framingham // J. Chron. Dis., 1967. Vol. 20. Iss. 7. P. 511–524.
2. Захарова Т. В., Золоева М. В. Прогнозирование состояния пациентов // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2007. Т. 14. Вып. 2. С. 298–299.
3. Драницына М. А., Захарова Т. В. Классификация состояний пациентов с целью прогнозирования результатов лечения // Обозрение прикладной и промышленной математики, 2009, Т. 16. Вып. 5. С. 840–841.
4. Электронный учебник по статистике StatSoft. — М: StatSoft, 2001. <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
5. Боровиков В. П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. — СПб.: Питер, 2003. 688 с.

DISCRIMINANT ANALYSIS FOR CLASSIFICATION AND FORECASTING OUTCOMES OF THE TREATMENT

M. A. Dranitsyna¹ and T. V. Zakharova²

¹M. V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Moscow, Russia, margarita13april@mail.ru

²M. V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Moscow, Russia, lsa@cs.msu.ru

Abstract: The aim of the work was to develop a classification method for patients underwent hyperbaric oxygenation procedure and to build up a relevant mathematical model of evaluation and forecasting the patient condition during each session and the whole therapy course. This classification method supposed to be based on the effectiveness of the treatment. The group of 161 patients was observed. For each patient, cardiac physiological parameters were registered during each hyperbaric oxygenation session via continuous computer monitoring system. The discriminant analysis was applied to obtained data. In the model developed, the rate of success in test sample classification achieved 75%. The classification technique based on statistical inference and expert estimates was developed.

Keywords: discriminant analysis; discriminant variables; classification functions; forecasting

DOI: 10.14357/08696527130207

References

1. Truett, J., J. Cornfield, and W. Kannel. 1967. A multivariate analysis of the risk of coronary heart disease in Framingham. *J. Chron. Dis.* 20(7):511–24.
2. Zakharova, T. V., and M. V. Zoloeva. 2007. Prognozirovaniye sostoyaniya pacientov [Forecast of the patients' conditions]. *Obozrenie prikladnoi i promyshlennoy matematiki [Review of Applied and Industrial Mathematics]* 14:298–99.
3. Dranitsyna, M. A., and T. V. Zakharova. 2009. Klassifikaciya sostoyaniy pacientov s cel'yu prognozirovaniya rezul'tatov lecheniya [Classification of patients' conditions in order to forecast outcomes of the treatment]. *Obozrenie prikladnoi i promyshlennoy matematiki [Review of Applied and Industrial Mathematics]* 16:840–41.
4. StatSoft. 2001. Elektronnyj uchebnik po statistike StatSoft [StatSoft electronic textbook on statistics]. Available at: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/default.htm>.
5. Borovikov, V. P. 2003. *Statistica: Iskusstvo analiza dannyh na kompiyutere [Statistica: The art of computer data analysis]*. SPb.: Piter. 688 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОЙ ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ В МЕТОДОЛОГИИ ИСКУССТВЕННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

И. А. Кириков¹, А. В. Колесников², С. Б. Румовская³

Аннотация: Рассмотрен подход к моделированию систем поддержки принятия решений на примере сложной задачи диагностики артериальной гипертензии (АГ) в рамках синергетической парадигмы искусственного интеллекта (ИИ). Исследования проведены на моделях «гетерогенной» и «гомогенной» задачи и релевантны новой научной картине мира в биомедицине, базирующейся на принципах разнообразия, дополнительности, сотрудничества и относительности, с целью создания информационной гибридной интеллектуальной системы для консультаций врача по выявлению АГ. Представлены результаты системного анализа сложной задачи диагностики АГ (СЗДАГ) в рамках проблемно-структурной (ПС) методологии, а именно: идентификация и редукция сложной задачи, спецификация подзадач, выбор методов для решения однородных подзадач и проверка неоднородности сложной задачи.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений; функциональная гибридная интеллектуальная система; гетерогенная задача; диагностика артериальной гипертензии

DOI: 10.14357/08696527130208

1 Введение

В планы Российской академии наук (РАН) на 2013–2017 и последующие годы включена разработка мобильных диагностических медицинских систем. В Калининградском филиале ИПИ РАН в 2011 г. выполнена научно-исследовательская работа «Гипертензия» по созданию системы с базой знаний для решения плохо формализуемой задачи клинической диагностики болезни века, медико-социальной проблемы с высоким риском осложнений, широкой распространенностью и недостаточным контролем в масштабе человеческого общества — АГ в условиях неопределенности информации. Опыт показал, что для релевантных результатов:

¹Калининградский филиал Института проблем информатики Российской академии наук, baltbipiran@mail.ru

²Калининградский филиал Института проблем информатики Российской академии наук; Балтийский федеральный институт имени Иммануила Канта, avkolesnikov@yandex.ru

³Калининградский филиал Института проблем информатики Российской академии наук, sophiyabr@gmail.com

- требуется осознать и преодолеть противоречие в картинах мира теоретической и клинической медицины;
- недостаточно применения модели «плохо структурированная задача» и технологии экспертных систем в условиях существенного разнообразия перерабатываемой диагностической информации и невиданных темпов увеличения ее объемов, а актуален переход к модели «гетерогенная (неоднородная) задача» [1], пришедшей в биомедицину из физики и химии, сформировавших определение гетерогенной системы как неоднородной системы, состоящей из однородных (гомогенных) частей, разделенных поверхностью раздела, разрывами в непрерывности физических свойств; физика и химия формализовали и используют понимание и знания о гибридизации [2] в искусственных гетерогенных системах;
- необходимо строить компьютерные системы поддержки принятия решений (КСПР) как искусственные гетерогенные интеллектуальные системы (ИГИС), в частности функциональные гибридные интеллектуальные системы (ФГИС) [1], моделирующие коллективные принятия решений, в том числе и медицинский консилиум (*лат. consilium* — совещание, обсуждение) — совещание врачей разных специальностей с целью выработки заключения о состоянии здоровья обследуемого, установления диагноза болезни, определения ее прогноза, тактики обследования и лечения больного [3, с. 488].

Разработка КСПР как ИГИС определит переход к клинической дифференциальной диагностике тысяч патологических признаков и сократит степень риска ошибок в ситуациях Р. Ригельмана [4] при атипичных симптомах и симптомах-миражах, связываемых с патологией, но к ней не относящихся. Диагноз АГ оказывается «замаскированным и недовыявленным» у 70% пациентов амбулаторно-клинического учреждения [5].

Настоящая работа посвящена результатам исследования сложной задачи диагностики АГ на модели «гетерогенная задача», релевантной новой научной картине мира в теоретической медицине и практике консилиумов в клинической медицине. Конечная цель — создание ИГИС для консультаций врача по выявлению АГ. Такая система разрабатывается по ПС методологии ФГИС [1].

2 Научная картина мира теоретической медицины

Теоретическая медицина (биомедицина) исследовала и стремилась понять организм человека, особенности процесса его диагностики и его окружение. Диагностика (*греч. diagnostikos* — способный распознавать) [3, с. 89] — раздел клинической медицины, изучающий содержание, методы и последовательные ступени процесса распознавания болезней или особых физиологических состояний. В узком смысле диагностикой называют сам процесс распознавания болезни

и оценки индивидуальных биологических особенностей и социального статуса субъекта, включающий целенаправленное медицинское обследование, истолкование полученных результатов и их обобщение в виде установленного диагноза. Степень этого понимания отражена в научной картине мира, содержащей знания о культуре, человеке, его месте в мире, форме систематизации знаний в области физиологии, а позже физики, химии, генетики, кибернетики и информатики. Сформировавшаяся у человека картина мира онтологизирует его представления и делает рассуждения и целесообразную деятельность «зависимыми» от них.

Первая, механистическая, картина мира основана на законах механики И. Ньютона, лапласовском детерминизме и рассматривает безграничное, абсолютное, *гомогенное* и изотропное пространство, без человека и его целей. Вторая, электромагнитная, картина мира добавила относительность пространства и времени. Третья, квантово-полевая, картина мира М. Планка, Э. Шредингера, В. Гейзенберга и Н. Бора строится на «вероятностно-статистических» представлениях и принципах *неопределенности и дополнительности*. Четвертая, современная постнеклассическая, картина признает *гетерогенность* пространства и времени, *разнообразие, системность, глобальный эволюционизм, самоорганизацию*, историчность мира. Упорядоченность, структурность, закономерность так же объективны, как неопределенность, стохастичность, многоальтернативность, нестабильность и неравновесность. Нет «средних значений», нет «равенства», каждая «особь» индивидуальна.

Многие ученые утверждают, что наука стоит на пороге смены парадигмы управления природой и обществом, что современная картина мира эволюционирует к новой, семипостулатной [6]:

- (1) квантово-волновой характер мира, признание гетерогенности мира и любого объекта, разнообразия жизни;
- (2) неопределенность границ объектов и связь «всего со всем»;
- (3) относительность любой иерархии, которая должна сочетаться с горизонтальными связями;
- (4) дополнительность и сотрудничество;
- (5) поликентризм;
- (6) относительность знания, введение координат наблюдателя для снижения относительности и неопределенности;
- (7) соответствие управления сложности объекта.

В первом постулате отражено центральное, неотъемлемое свойство внешнего мира и процесса диагностики организма человека — гетерогенность. Опыт науки в целом и медицины в частности показывает, что, если удавалось понять, сделать контрастными новые знания и использовать на практике это свойство естественных систем и (или) создавать искусственные гетерогенные системы с

полезными для человека свойствами, возникал прорыв, качественный скачок в технике, растениеводстве, животноводстве, медицине, информатике, технологиях. Именно в таких системах отображаются дополнительность, сотрудничество и относительность знаний.

Разнообразие — признак, проявление гетерогенности. Результаты исследования разнообразия С. Биром, У. Р. Эшби, В. М. Глушковым составили фундамент биокибернетики, теории управления, системного анализа и информатики. Следствие закона необходимого разнообразия У. Р. Эшби констатирует, что управление обеспечивается, если разнообразие средств управляющего не меньше разнообразия управляемой им ситуации. Это достигается организацией и самоорганизацией. Для отображения в информатике ситуативного разнообразия в естественных гетерогенных системах введены модели «гетерогенная задача» и «гомогенная задача», (5.10) и (5.7) в [1] соответственно, а сам закон трактуется так: только разнообразная, скоординированная клиническая деятельность, элементы которой в комбинации решают одну задачу, сделает диагноз (в частности диагноз АГ) качественно лучше в обществе с новой научной картиной мира.

Особенностям такой работы соответствует коллективный труд врачей за круглым столом — консилиумы (рис. 1), естественные гетерогенные системы для решения сложных задач. Именно в таких системах поддержки принятия решений (СППР) результат оказывается качественно лучше, чем мнение отдельного привлеченного к обсуждению и специализирующегося в узкой области знаний эксперта [1].

На принятие коллективных решений, помимо опыта, знаний и личностных особенностей лица, принимающего решения (ЛПР), врача-кардиолога, оказывают влияние позиции активных групп — объединений людей с общими интересами по отношению к решаемой задаче, а также окружения — сотрудников лечащего учреждения (больницы), от имени которой принимается решение (на рис. 1 обозначены как внешняя среда, а информационно-управляющие отношения отмечены пунктирной линией, $R_{LPR \text{ VS}}^U$).

Специфику СППР определяет их взаимодействие в ходе коллективного принятия решений. На рис. 1 это взаимодействие показано двумя видами связей: сплошными и пунктирными стрелками. Организационная структура СППР формируется установлением между ЛПР и экспертами отношений сотрудничества ($R_{LPR \text{ E}}^S$). Они показаны на рис. 1 сплошными стрелками. Сотрудничество носит «договорный» характер на время решения сложной задачи. Представляется, что именно эти отношения влияют на качество работы экспертов. Пунктирные стрелки на рис. 1, связывающие экспертов ($R_{E \text{ E}}^U$), показывают их взаимодействие. Оно многогранно. Во-первых, это может быть подчиненность. Во-вторых, существуют группы экспертов-врачей по профессиям (невролог, врач функциональной диагностики и т. д.), не связанных подчиненностью. Взаимодействие экспертов рассматривается как обмен: данными, знаниями, объяснениями и частичными

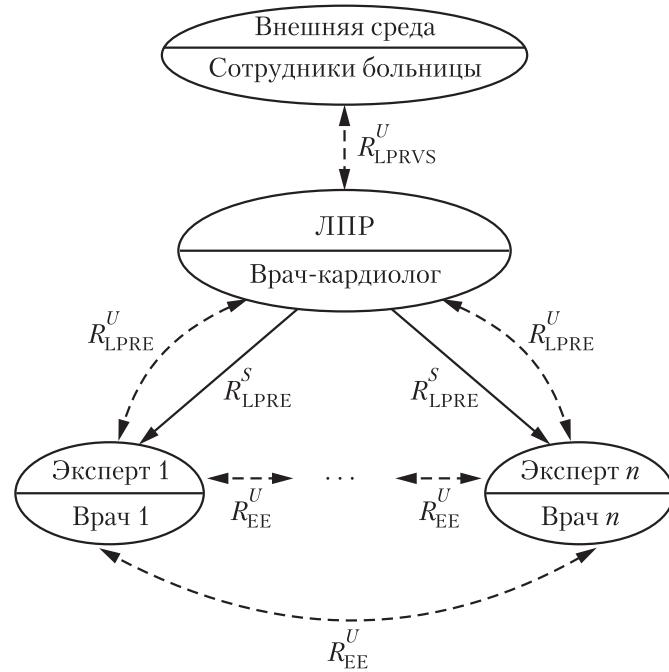


Рис. 1 Концептуальная модель медицинского консилиума как СППР: R_{LPVS}^U — информационно-управляющие отношения между внешней средой и ЛПР; R_{LPRE}^U — информационно-управляющие отношения между экспертами и ЛПР; R_{EE}^U — информационно-управляющие отношения между экспертами; R_{LPRE}^S — отношения сотрудничества между ЛПР и экспертами

решениями общей задачи. Взаимодействие ЛПР и экспертов показано на рис. 1 пунктирными стрелками (R_{LPRE}^U).

Стратификация предполагает, что изучение сложной задачи с различных точек зрения, с позиций различных наблюдателей, экспертов — врачей смежных специальностей, профессионально лучше, чем ЛПР, знающих отдельные аспекты задачи, обладающих специальными знаниями и опытом, а также данными для выработки и принятия решения. Эксперты высказывают свое личное, субъективное мнение, что помогает ЛПР в окончательном решении на различных уровнях абстрагирования. В итоге получается не одна, а несколько относительно простых моделей, реализовать и исследовать которые в целях решения задачи, во-первых, значительно проще, а во-вторых, качество решений зависит от количества таких выделенных аспектов-страт. Чем больше моделей, тем выше качество вырабатываемых СППР решений.

В разрабатываемой ФГИС моделируются все вышеперечисленные отношения, кроме информационно-управляющих отношений между внешней средой и лицом, принимающим решения, $R_{LPR \text{ VS}}^U$.

Настоящая работа продолжает следовать выдвинутой в [6] гипотезе: (1) никто и ничто сейчас не решает сложные задачи, удовлетворяющие модели «гетерогенная задача», лучше, чем СППР; (2) если в компьютер ввести имитационную модель коллективного решения, результаты автоматизированного решения сложных задач по качеству будут не хуже, чем в СППР; (3) консультации у КСППР с такой имитационной моделью снизят риск «замаскированных и недовыявленных» симптомов АГ.

Принцип дополнительности ввел в науку Н. Бор как компромисс между квантовой механикой и моделью атома Э. Резерфорда. Эти две взаимоисключающие картины — следствие взаимодействия микрообъекта с измерительными приборами, они «дополняют» друг друга. Биофизика и биохимия, несмотря на появление комплексных диагностических систем, еще не нашли компромисса с гомогенными системами измерений состояния организма человека.

Сотрудничать или участвовать в общем деле присуще восточному, японскому менталитету: «выигрываем вместе» в экономике, технике, технологиях и медицине. В ИИ сотрудничают методы, модели, отображающие гомогенные знания и опыт врачей-экспертов, привлекаемых в консилиум, технологии, агенты, обладающие плюсами и минусами. Дополнительность и сотрудничество проявляют «интегрированные», «гибридные», «синергетические» интеллектуальные системы и роевой интеллект. Относительность знания ассоциируется с субъективностью познания и присуща консилиумам. В данной работе разрабатывается множество моделей с субъективными мнениями экспертов. За «систему координат», смена которых и определяет относительность знаний, принимается точка зрения, профессиональные знания участника коллективного обсуждения.

3 Научная картина клинической медицины

Мысль о гетерогенности организма человека, а следовательно, и процесса его диагностики, восходит к Галену, полагавшему, что организм — разнообразие «пневмы»: в мозге — «душевной», в сердце — «жизненной», в печени — «естественной». Парацельс рассматривал жизнь как космическое гомогенное явление с одним археусом, «жизненной силой». У. Кеннон внес в эту картину идею адаптации к внешней среде как задачи, непрерывно решаемой организмом, К. Бернар считал, что жизнь подчинена физико-химическим закономерностям. И. П. Павлов доказал, что «поведение организма» — форма саморегуляции жизни. П. Д. Горизонтов представлял организм человека как систему с гомеостазом, а В. Л. Иогансен отображал ее на микро- (генотипа) и макроуровне (фенотипа). Клеточную теорию организма основали Т. Шванн и М. Шлейден. Клетки —

сложные открытые динамические системы со входами и выходами — главная и наименьшая структурная единица всего живого. С середины XX в. благодаря интегрирующей роли физико-химической биологии клиническая медицина рассматривает организм человека как совокупность биохимических процессов в клетке, дополненную микробиомом.

Сравнительный анализ картин мира био- и клинической медицины показывает:

- представления об организме человека и процессе его диагностики как гетерогенной системе еще не завершены в теории и не стали картиной мира клинической врачебной практики. Поскольку целостная картина мира — недостижаемый пока идеал [7], врач во время диагностики представляет пациента исходя из знаний об отдельных органах и системах его организма;
- врачи с узкопрофессиональными знаниями и навыками не имеют времени для охвата всех аспектов биомедицины;
- «Наша физиология, — утверждает А. С. Залманов, — носит еще чисто лабораторный характер. То, что мы знаем, есть физиология животных, а не человека. . . » [8].

4 Аналоги компьютерных систем поддержки принятия решений задачи диагностики артериальной гипертензии

Система МОДИС [9] помогает врачам распознавать и объяснять АГ. Диагностика АГ — гомогенная задача, а эвристический поиск не гарантирует отыскания оптимального решения. «Автоматизированная система диагностики и подбора индивидуальной фармакотерапии АГ» [10] разработана в Воронежской государственной медицинской академии под руководством И. В. Чесноковой. По сути, это экспертная система помощи при диагностике и подборе терапии АГ на догоспитальном этапе. Информационная поддержка принятия решений при диагностике АГ методами гибридного интеллекта М. А. Шулаковой [11] не включает обработку электрокардиограммы (ЭКГ), препроцессию симптомов на информативность. Решены гомогенные задачи диагностики сердечно-сосудистой и когнитивной подсистем человека [12–14], выявления аневризмы [15].

В упомянутых работах организм человека рассматривается односторонне, что приводит к гомогенному его пониманию. Гибридная интеллектуальная система автоматизированной диагностики АГ (ГИСАДАГ) будет лишена этих недостатков, соответствовать новой научной картине мира, синтезировать и применять в рассуждениях интегрированную модель, что существенно повысит качество медицинских ИГИС.

5 Идентификация сложной задачи диагностики артериальной гипертензии на модели «гетерогенная задача»

Объект диагностики АГ в Калининградской областной клинической больнице (КОКБ) — медицинский консилиум как естественная гетерогенная система поддержки принятия решений (см. рис. 1).

Выявлены и исследованы объекты, субъекты, ресурсы и средства диагностики (рис. 2) — совокупности организованных операций (действий) субъектов и средств над объектами, методами и ресурсами. Врачи-эксперты — носители теоретических, профессиональных знаний и опыта в диагностике АГ. Помимо бесед с экспертом знания извлекались и из профессиональных текстов, а также рекомендаций комитета экспертов Всероссийской научной организации кардиологов (ВНОК) [16].

Анализ процесса диагностики в КОКБ показал следующие недостатки:

- (1) в большинстве случаев пациент не подвергается полному осмотру;
- (2) отсутствие опыта у молодых врачей в сочетании с большим объемом и разнообразием обрабатываемой информации снижает качество диагностических заключений;
- (3) отображение информации в неудобном для восприятия человека виде;
- (4) задержка в расшифровке ЭКГ пациента, при этом результаты приборов зачастую разнятся.

Для качественного улучшения диагностики предлагается: (1) оснастить врача комплексной мобильной диагностической аппаратурой ЭКГ, ультразвукового

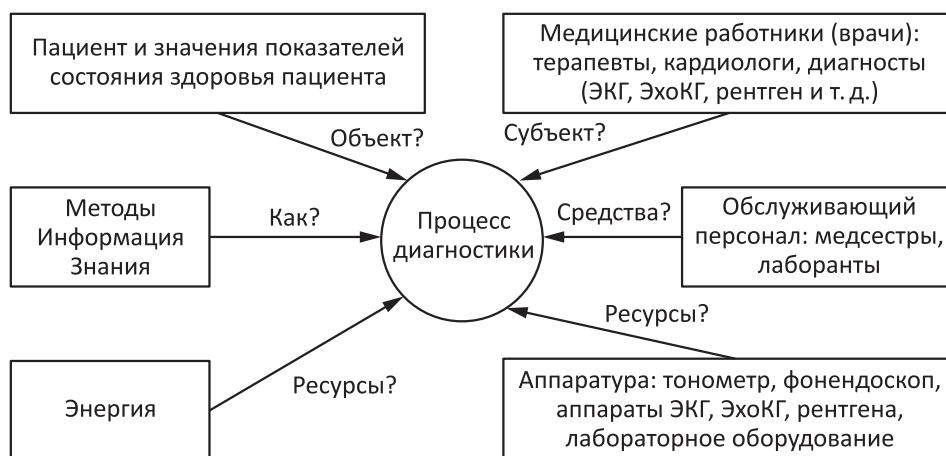


Рис. 2 Объекты, субъекты и ресурсы процесса диагностики АГ

(УЗИ) и эхокардиографического (ЭхоКГ) исследований, измерения давления, суточного мониторирования артериального давления (СМАД), экспресс-анализа крови и мочи; (2) включить в мобильный комплекс ГИСАДАГ.

Используя результаты диагностики, врач снижает неопределенность о состоянии больного, определяет симптомы, классифицирует состояние как патологию или ее отсутствие и указывает одну из трех стадий развития болезни. Возникает задача принятия индивидуального решения в условиях разнообразия перерабатываемой врачом информации об организме человека, а также неполноты, неточности, недоопределенности анатомических, физиологических и патологических характеристик пациента. В ходе решения врач учитывает примерно 800 параметров состояния больного: около 70 параметров количественных, измеряемых; около 500 — с лингвистической неопределенностью и многозначностью; еще около 150–200 симптомов — пропозициональные переменные. Такая задача имеет сложный характер и состоит в анализе сгруппированных в несколько областей параметров состояния пациента. Это требует ее более глубокого изучения и понимания, применения двухуровневой модели «гетерогенной задачи» [1] и упорядоченной по этапам совокупности методов системного анализа ПС-методологии ФГИС [1]: идентификации и редукции, спецификации подзадач, выбора методов и проверки неоднородности.

На этапе идентификации сложной задачи согласно схеме (1.19) из [6] определяются цель, исходные данные, идентификатор, спецификатор и строится схема ролевых концептуальных моделей $\text{prb}_{\text{SZDAG}}^u$:

$$\begin{aligned} \text{prb}_{\text{SZDAG}}^u = & R^{\text{prb st}}(\text{prb}_1 \text{SZDAG}, \text{GL}_{\text{SZDAG}}^u) \circ R^{\text{prb pr}}(\text{prb}_1 \text{SZDAG}, \text{DAT}_{\text{SZDAG}}^u) \circ \\ & \circ R^{\text{prb met}}(\text{prb}_1 \text{SZDAG}, \text{MET}_{\text{SZDAG}}^u) \circ R^{\text{prb pr}}(\text{prb}_1 \text{SZDAG}, \text{SPC}_{\text{SZDAG}}^u) \circ \\ & \circ R^{\text{prb pr}}(\text{prb}_1 \text{SZDAG}, \langle \text{kl31}, \text{kl32}, \text{kl33}, \text{kl11}, \text{kl13}, \text{kl14}, \text{kl23} \cap \text{kl24} \cap \text{kl25} \rangle) \circ \\ & \circ R^{\text{prb act}}(\text{prb}_1 \text{SZDAG}, \text{ACT}) \circ R^{\text{prb est}}(\text{prb}_1 \text{SZDAG}, \text{EV}_{\text{SZDAG}}^u) \circ \\ & \circ R_2^{\text{prb prb}}(\text{prb}_1, \text{PRB}^h) \circ R_3^{\text{prb prb}}(\text{PRB}^h, \text{PRB}^h) \circ R_4^{\text{prb prb}}(\text{prb}_1, \text{PRB}^h). \quad (1) \end{aligned}$$

Пояснение схемы (1): «Концептуальная модель сложной задачи диагностики АГ = задача иметь состояние цель ∘ задача иметь свойство исходные данные ∘ задача иметь метод (метод, модель, алгоритм, программа) ∘ задача иметь свойство спецификатор ∘ задача иметь свойство ⟨фаза задачи, класс переменных, класс задачи⟩ ∘ задача иметь действие операция $\text{ACT}_{\text{SZDAG}}$, исполняющая решение задачи ∘ задача иметь оценку оценка $\text{EV}_{\text{SZDAG}}^u$ результатов $\text{ACT}_{\text{SZDAG}}$ ∘ задача включает множество подзадач ∘ подзадача влияет на множество подзадач ∘ цели и исходные данные задачи быть причиной целей и исходных данных подзадач».

Цель: диагноз — заключение о сущности болезни и состоянии пациента. Исходные данные: показатели состояния здоровья пациента и их значения, а также множества субъектов, объектов и задач диагностики. Спецификатор включает идентификатор $\text{prb}_{\text{SZDAG}}^u$ (ID_{SZDAG} — «Задача диагностики артериальной гипертензии у пациентов врачом»), схему, определяющую свойства неоднородной проблемной среды (см. (5) ниже). Фазы задачи: фаза учета (фиксации текущего состояния здоровья больного операциями опроса, осмотра и обследования в лабораториях), контроля степени отклонения состояния больного от нормы и анализа. Класс переменных — детерминированные, нечеткие лингвистические и четкие лингвистические. Класс задачи — диагностика. $R_4^{\text{prb prb}}$ — причинно-следственные отношения цели и входных данных неоднородной СЗДАГ и целей и входных данных ее однородных подзадач. $\text{EV}_{\text{SZDAG}}^u = \langle \text{RR}^u, \text{PR}^{\text{ga}}, F^{\text{ga}}, \text{ACT}^{\text{LPR}}, \{\text{EV}_i^u\}, \text{RR}_{\text{ac}}^u, \text{ACT}_{\text{SZDAG}} \rangle$, где RR^u — множество результатов решения сложной задачи; PR^{ga} и F^{ga} — параметры настройки и функция приспособленности генетического алгоритма для поиска альтернатив; $\{\text{EV}_i^u\}$ — оценки результатов решения сложной задачи; RR_{ac}^u — принятая альтернатива.

Таким образом, определен объект исследования, цели и исходные данные СЗДАГ, ее идентификатор.

6 Редукция сложной задачи диагностики артериальной гипертензии

На основе рекомендаций комитета экспертов ВНОК [16] и результатов анализа бесед с экспертом КОКБ к СЗДАГ был применен метод смешанной редукции [6] и построена ее декомпозиция (рис. 3).

В смешанной редукции методы ранжированы. Фазовая редукция имеет первый приоритет, второй приоритет отдается стратификации или информационно-управляющей редукции, которые отражают информационный и системный подходы, и, наконец, третий приоритет — методам редукции формализованных или трудноформализуемых задач. Однородные задачи на рис. 3 соединены отношениями «целое–часть» и информационно-управляющими отношениями в структуры инструментальной неоднородности типа «метаобработка» на множестве технологических подзадач. Информационно-управляющие отношения на множестве функциональных подзадач (см. рис. 1):

$$R_3^{\text{prb prb}} \subseteq R_{\text{LPR E}}^S \cup R_{\text{E E}}^S \cup R_{\text{LPR E}}^U.$$

Ограничения: (1) исключены пациенты младше 18 лет и беременные; (2) нет автоматического распознавания, расшифровки рентгенограмм, эхокардиограмм и снимков ультразвуковой диагностики.

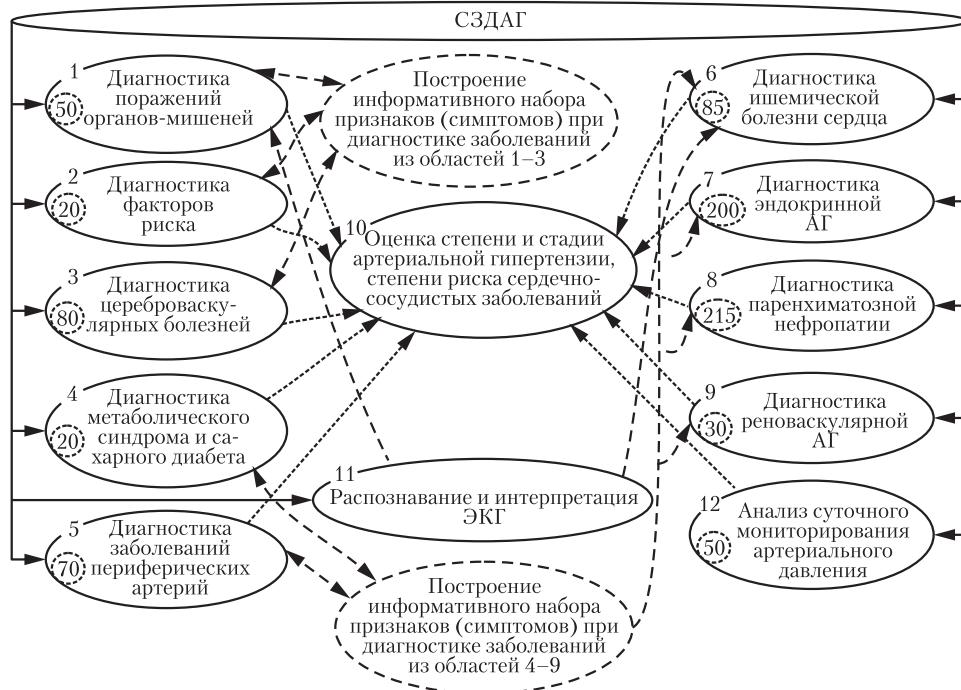


Рис. 3 Декомпозиция СЗДАГ

7 Спецификация подзадач по модели «гомогенная задача»

На третьем этапе ПС-методологии в соответствии с (1.18) из [6] строятся схемы ролевых концептуальных моделей подзадач PRB^h_{SZDAG}:

$$\begin{aligned} \text{prb}_z^h = & R^{\text{prb st}}(\text{prb}_{1z}, \text{GL}_z^h) \circ R^{\text{prb pr}}(\text{prb}_{1z}, \text{DAT}_z^h) \circ R^{\text{prb met}}(\text{prb}_{1z}, \text{MET}_z^h) \circ \\ & \circ R^{\text{prb pr}}(\text{prb}_{1z}, \text{SPC}_z^h) \circ R_2^{\text{prb prb}}(\text{prb}^u, \text{prb}_{1z}) \circ R_1^{\text{prb prb}}(\text{prb}_{1z}, \text{PRB}^h), \\ & \forall z, z \in \{\text{РЭКГ}, \text{СМАД}, \text{ППС}_{1-9}, \text{ДАГ}_{1-9}, \text{CCC}\}, \quad (2) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \text{KL}_z^h = & \\ = & \left\langle \text{kl}_{31}, \text{kl}_{32}, \text{kl}_{33}, \langle \text{kl}_{11}, \text{kl}_{13}, \text{kl}_{14} \rangle^{\text{KL}_3}, \langle \text{kl}_{23} \cap \text{kl}_{24} \cap \text{kl}_{25}, \text{kl}_{22} \cap \text{kl}_{25} \cap \text{kl}_{26} \rangle \right\rangle. \end{aligned}$$

Пояснение схемы (2): «Концептуальная модель однородной подзадачи из декомпозиции неоднородной задачи диагностики АГ = подзадача_z иметь состояние цель_z ∘ подзадача_z иметь свойство исходные данные_z ∘ подзадача_z иметь свой-

ство классификатор KL_z^h о подзадаче z иметь метод (метод, модель, алгоритм, программа) z о неоднородная задача СЗДАГ включает подзадача z о подзадача z иметь влияние на (иметь взаимное влияние) множество однородных подзадач из PRB^h .

Для всех подзадач: SPC_z^h включает свойства однородной проблемной среды (см. (6) ниже) и идентификаторы подзадач PRB_{SZDAG}^h — «Распознавание и интерпретация электрокардиограммы» (РЭКГ, область 11 на рис. 3); «Анализ суточного мониторирования артериального давления» (СМАД, область 12); технологические подзадачи, сгруппированные в подзадачу «Построение информативного набора признаков (симптомов) при диагностике заболеваний из областей 1–9» (ППС_{1–9}); подзадачи диагностики из областей 1–9, сгруппированные в подзадачу «Диагностика критериев оценки сердечно-сосудистого риска и вторичной АГ у пациента» (ДАГ_{1–9}, 1–9); «Оценка степени и стадии артериальной гипертензии, степени риска сердечно-сосудистых заболеваний» (ССС, область 10).

Для подзадачи РЭКГ: $GL_{P\mathcal{E}KG}^h$ — диагностирование патологических состояний на ЭКГ, установление соответствия состояния пациента норме; $DAT_{P\mathcal{E}KG}^h$ — образ электрокардиосигнала пациента; $MET_{P\mathcal{E}KG}^h$ — адаптивный метод (искусственные нейронные сети), модель и программа для решения подзадачи РЭКГ; $KL_{P\mathcal{E}KG}^h = \langle kl_{31}, kl_{32}, kl_{33}, kl_{11}, kl_{23} \cap kl_{24} \cap kl_{25} \rangle$ — три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных — детерминированные, класс задачи — диагностика; $R_{1 P\mathcal{E}KG}^{prb prb} = \left\{ R_1^{prb_{P\mathcal{E}KG} prb_{DAG_6}}, R_1^{prb_{1 DAG_6} prb_{P\mathcal{E}KG}} \right\}$.

Для подзадачи СМАД: GL_{CMAD}^h — диагностирование отклонений показаний СМАД пациента от нормы для последующей оценки степени АГ; DAT_{CMAD}^h — пол, возраст и данные СМАД пациента; MET_{CMAD}^h — искусственные нейронные сети или символьный метод (экспертные системы), модель и программа для решения подзадачи СМАД; $KL_{CMAD}^h = \langle kl_{31}, kl_{32}, kl_{33}, kl_{11}, kl_{23} \cap kl_{24} \cap kl_{25} \rangle$ — три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных — детерминированные, класс задачи — диагностика; $R_{1 CMAD}^{prb prb} = \left\{ R_1^{prb_{CMAD} prb_{CCC}}, R_1^{prb_{CCC} prb_{CMAD}} \right\}$.

Для подзадачи ППС_{1–9}: $GL_{PPS_{1-9}}^h$ — оптимизация набора симптомов для диагностики заболеваний и рисков АГ; $DAT_{PPS_{1-9}}^h$ — множество $S_{simp} = \{S_{simp_i} | i = \overline{1, 9}\}$ — подмножество симптомов заболеваний; $MET_{PPS_{1-9}}^h$ — адаптивный метод (генетические алгоритмы), модель и программа для решения подзадачи ППС_{1–9}; $KL_{PPS_{1-9}}^h = \langle kl_{33}, kl_{11}, kl_{22} \cap kl_{25} \cap kl_{26} \rangle$ — фаза задачи: анализ, класс переменных: детерминированные; класс задачи: оптимизация; $R_{1 PPS_{1-9}}^{prb prb} = \left\{ R_1^{prb_{PPS_1} prb_{DAG_1}}, \dots, R_1^{prb_{PPS_3} prb_{DAG_3}}, R_1^{prb_{PPS_4} prb_{DAG_4}}, \dots, R_1^{prb_{PPS_9} prb_{DAG_9}} \right\}$.

Для подзадачи ДАГ_{1-9} : $GL_{\text{ДАГ}_{1-9}}^h$ — выявление факторов риска АГ, поражения органов-мишеней, ассоциативных клинических состояний, вторичной эндокринной или почечной АГ либо оценка состояния пациента как нормы; $DAT_{\text{ДАГ}_{1-9}}^h$ — множество симптомов из областей 1–9; $R_1^{\text{прb прb}} = \{R_1^{\text{прb CCC прb ДАГ}_1}, \dots, R_1^{\text{прb CCC прb ДАГ}_9}, R_1^{\text{прb ДАГ}_1 \text{ прb CCC}}, \dots, R_1^{\text{прb ДАГ}_9 \text{ прb CCC}}\} \cup \cup R_1^{\text{прb прb}} \cup R_1^{\text{прb прb}}$; $\text{МЕТ}_{\text{ДАГ}_{1-9}}^h$ — символьный метод (нечеткие системы), модель и программа для решения подзадачи ДАГ_{1-9} ; $KL_{\text{ДАГ}_{1-9}}^h = \langle kl_{31}, kl_{32}, kl_{33}, kl_{14}, kl_{23} \cap kl_{24} \cap kl_{25} \rangle$ — три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных — лингвистические нечеткие, класс задачи — диагностика.

Для подзадачи CCC : GL_{CCC}^h — оценка степени и стадии АГ, риска сердечно-сосудистых заболеваний; DAT_{CCC}^h — отклонение от нормы $\Delta \text{СМАД} \in \{0; 100\}$; результатное множество диагноза Rez и множество показателей здоровья S_{simp10} для подзадачи CCC ; МЕТ_{CCC}^h — символьный метод (экспертные системы или нечеткие системы), модель и программа для решения подзадачи CCC ; $KL_{\text{СМАД}}^h = \langle kl_{31}, kl_{32}, kl_{33}, kl_{13}, kl_{23} \cap kl_{24} \cap kl_{25} \rangle$ — три фазы задачи (учет, контроль и анализ), класс переменных — лингвистические четкие, класс задачи — диагностика; $R_1^{\text{прb прb}} = \{R_1^{\text{прb CCC прb ДАГ}_1}, \dots, R_1^{\text{прb CCC прb ДАГ}_9}, R_1^{\text{прb ДАГ}_1 \text{ прb CCC}}, \dots, R_1^{\text{прb ДАГ}_9 \text{ прb CCC}}\} \cup \cup R_1^{\text{прb прb}}$.

Для описания подзадач в (2) используются три класса переменных $\langle kl_{11}, kl_{13}, kl_{14} \rangle$ и четыре класса разнородных отношений — $R_1^{\text{прb прb}}$.

8 Выбор методов и проверка неоднородности сложной задачи диагностики артериальной гипертензии

Методы выбирались на основе материалов приложений П2.1–П2.6 к работе [2]. Результаты представлены в таблице. Каждому знаку однородной задачи сопоставлен один или несколько методов $\{\text{met}_l^a | \text{met}_l^a \in \text{МЕТ}^a, i = \overline{1, N_{\text{met}}}, l — \text{класс метода}\}$ с учетом их плюсов и минусов.

Решение о неоднородности принимается в том случае, если число классов переменных не меньше двух. Из KL^h (2) видно, что эксперты при решении сложной задачи диагностики АГ используют переменные нескольких классов: детерминированные, лингвистические четкие и лингвистические нечеткие, — и рассуждают различным образом. Согласно мере сложности (1.13), введенной в [6], отображение H СЗДАГ на множество классов задач $Z = \{\text{«простые», «сложные»}\}$ запишется как $H = \{(3, 4), \text{«сложная»}\}$, так как число классов переменных равно 3 (больше 2).

Сравнительный анализ и результаты выбора методов моделирования

ИИНС	ГА	ЭС	НС	Характеристика/Методы/Задачи	РЭКГ	СМАД	ППС ₁₋₉	ДАГ ₁₋₉	ССС
				НС	(0)	(0)	(1)	(8)-Да	(4)-Да
				ЭС	(0)	(5)-Да	(1)	(4)	(5)-Да
				ГА	(2)	(2)	(3)-Да	(0)	(0)
				ИИНС	(6)-Да	(6)-Да	(1)	(0)	(0)

Обозначения: + — дополнительный плюс класса методов; ++ — определяющий при выборе признак; признаки и оценки: 2 — структурированные двоичные коды, 3 — правила «условие—действие», 4 — не прозрачны для человека, 5 — плохо, 6 — черный ящик, 7 — прекрасно, 8 — нейровычисления, 9 — поиск из всех точек пространства одновременно, 10 — точные рассуждения, 11 — приближенные рассуждения, 12 — высокая, 13 — низкая, 14 — ниже высокой, 15 — очень высокая, 16 — медленная, 17 — ближе к высоким, 18 — очень низкие, 1 — есть, 0 — нет; (6) — количество характеристик метода, соответствующих дополнительным и определяющим признакам для решения подзадачи, Да — выбор; ЭС — методы экспертных систем, НС — методы нечетких систем, ИИНС — методы искусственных нейронных сетей, ГА — методы генетических алгоритмов.

Задача СЗДАГ попадает в класс сложных неоднородных задач, что говорит об актуальности гибридизации и о необходимости разработки метода, релевантного оценкам сложности моделирования не ниже (3, 4).

9 Стратифицированная модель консилиума врачей

По результатам первых этапов ПС-методологии применительно к задаче СЗДАГ построим стратифицированную (многоуровневую) модель консилиума врачей в соответствии с моделью очных консультаций в СППР «за круглым столом», предложенной А. В. Колесниковым в [1] и отображающей в искусственной гетерогенной системе относительность знаний (решение неоднородной задачи должно основываться на ее многостороннем анализе относительно множеств узкопрофессиональных точек зрения).

Пусть есть система $S : PR^X \rightarrow PR^Y$, где $PR^X = PR_1^X \times PR_3^X$, $PR^Y = PR_1^Y \times PR_3^Y$ — множества свойств «вход» и «выход» соответственно. Каждая пара $(PR_j^X, PR_j^Y) | j = 1, 3$ приписывается страте $S_j | j = 1, 3$, так как активны параметрическая (S_3) и ситуационная (S_1) страты, тесно связанные с методами моделирования ИНС, НС, ГА и ЭС соответственно. Тогда можно ввести модель стратификации системы $S: S_1-S_3-S_4$ [1], в которой

$$\{S_4 : PRT_4^X \times ACT_j^L \rightarrow PR_4^Y\} ; \{S_j : PR_j^X \times ACT_4^U \rightarrow PR_j^Y\} | j = 1, 3, \quad (3)$$

где ACT_j^L — воздействия нижних страт на четвертую: значения показателей состояния из лаборатории и от врачей смежных специальностей; ACT_4^U — воздействие врача-кардиолога на врачей лабораторной диагностики и смежных специальностей. Принятие решения в S идет за «круглым столом», когда врач-кардиолог формирует СППР для решения prb_{SZDAG}^u на четвертом уровне.

В модель стратификации [1] введем ACT_4^4 — воздействие ЛПР на самого себя; ACT_1^3 и ACT_3^1 — воздействия экспертов с третьей страты на первую и с первой на третью соответственно. Тогда модель (3) трансформируется в

$$\begin{aligned} &\{S_4 : PR_4^X \times ACT_j^L \times ACT_4^4 \rightarrow PR_4^Y\} ; \\ &\{S_j : PR_j^X \times ACT_4^U \times ACT_{j1}^{j2} \rightarrow PR_j^Y\} , \end{aligned}$$

где $j, j_1, j_2 = 1, 3$ и $j_1 \neq j_2$, и для каждого $pr^X \in PR^X$ и $pr^Y = S(pr^X)$:

$$\begin{aligned} pr_4^Y &= (pr_4^X, PR_1^Y \rightarrow ACT_4^L, PR_3^Y \rightarrow ACT_4^L, PR_4^Y \rightarrow ACT_4^4) ; \\ pr_j^Y &= \left(S_j \left(pr_j^X, PR_4^Y \rightarrow ACT_j^U, PR_{j1}^Y \rightarrow ACT_j^{j1} \right) \right) | j \neq j_1 . \end{aligned} \quad (4)$$

Модель естественной гетерогенной системы «неоднородная предметная область» имеет следующий вид:

$$E^L = \langle \{S_1, S_3, S_4\}, L^{\text{pm}}, \Psi_1 \rangle ,$$

где L^{pm} — профессиональный язык врачей, $\Psi_1 \subseteq L^{\text{pm}} \times \{S_1, S_3, S_4\}$. Параметрической страте принадлежат 20 подзадач из состава prb_{SZDAG}^u и только

одна — ситуационной. Тогда имеем редуцированное неоднородное представление системы S — неоднородную проблемную среду:

$$E^U = \langle E^L, \text{prb}_{\text{SZDAG}}^u, \text{PRB}^h, \Psi_2, \Psi_3 \rangle, \quad (5)$$

где $\text{PRB}^h = \{\text{prb}_i^h | i = \overline{1, 21}\}$ — множество подзадач из $\text{prb}_{\text{SZDAG}}^u$; $\Psi_2 \subseteq \text{prb}_{\text{SZDAG}}^u \times \{S_1, S_3, S_4\}$ — соответствие, определяющее стратификацию СЗДАГ; $\Psi_3 \subseteq \text{PRB}^h \times \{S_1, S_3, S_4\}$ — соответствие, определяющее распределение подзадач СЗДАГ по стратам. При этом для СЗДАГ на четвертой страте нет априори заданной модели и метода решения, в то время как для подзадач на экспертных стратах известны методы и модели.

По аналогии с (5) для неоднородной проблемной среды свойства однородной проблемной среды запишем как

$$E^h = \left\langle \langle S_k, L^{\text{pm}}, \Psi_1 \rangle^{E^L}, \text{prb}_z^h, \text{PRB}^h \right\rangle, \quad (6)$$

где S_k — параметрическая (для РЭКГ, СМАД, ППС_{1–9}, ДАГ_{1–9}) или ситуационная (для CCC) страта (4), $\Psi_1 \subseteq L^{\text{pm}} \times S_k | k = 1, 3; z \in \{\text{РЭКГ, СМАД, ППС}_{1–9}, \text{ДАГ}_{1–9}, \text{CCC}\}$, E^{Lh} — предметная область.

10 Заключение

Применение модели «плохо структурированная задача» технологии экспертизы систем к решению задач в клинической практике противоречит существующей и новой научной картине мира. Для снятия противоречия актуален переход к созданию гетерогенных искусственных диагностических систем со свойствами дополнительности, сотрудничества и относительности знаний, синтезирующих интегрированные методы и модели, разнообразие которых устранит разнообразие диагностической информации об организме человека.

В работе даны первые результаты работы КФ ИПИ РАН применительно к задаче диагностики АГ и в рамках одного из классов искусственных гетерогенных систем — ФГИС, связанных с системным анализом сложной задачи в рамках ПС-методологии на моделях «гетерогенной» и «гомогенной» задачи обработки информации и управления. Сейчас идет разработка гетерогенного модельного поля, специфицируются области релевантности моделей и разрабатываются алгоритмы синтеза интегрированного метода и модели.

Литература

1. Колесников А. В., Кириков И. А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. — М.: ИПИ РАН, 2007. 387 с.

2. Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / Под ред. А. М. Яшина. — СПб.: СПбГТУ, 2001. 711 с.
3. Малая медицинская энциклопедия. — М.: Сов. энциклопедия, 1991. Т. 2. С. 89, 488.
4. Ригельман Р. Как избежать врачебных ошибок. Книга практикующего врача. — М.: Практика, 1994. 208 с.
5. Плавунов Н. Ф., Степанова В. В., Карапулова Ю. Л. и др. Роль артериальной гипертонии в структуре и исходах госпитализаций многопрофильного скоропомощного стационара // Артериальная гипертензия, 2004. Т. 10. Вып. 3. С. 30–36.
6. Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В. и др. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. — М.: ИПИ РАН, 2010. 295 с.
7. Мирошников Ю. И. Специфика медицинского познания и проблема целостности его предмета // Научный ежегодник Института философии и права Уральского отделения РАН, 2009. Вып. 9. С. 171–184.
8. Залманов А. С. Тайная мудрость человеческого организма (Глубинная медицина) / Пер. с фр. и нем. — М.: Молодая гвардия, 1996. 224 с.
9. Искусственный интеллект: Справочник в 3-х кн. Кн. 3: Программные и аппаратные средства / Под ред. В. А. Захарова, В. Ф. Хорошевского. — М.: Радио и связь, 1990. 368 с.
10. Чеснокова И. В. Оптимизация лечебно-диагностического процесса у больных артериальной гипертензией на догоспитальном этапе: Автореф. дисс. . . докт. мед. наук. — Воронеж: Воронежская гос. мед. акад. им. Н. Н. Бурденко, 2009. 46 с.
11. Шулакова М. А. Информационная поддержка принятия решений при диагностике артериальной гипертонии на основе методов гибридного интеллекта: Автореф. дисс. . . канд. техн. наук. — Воронеж, Воронежский гос. техн. ун-т, 2012. 16 с.
12. Реброва О. Ю. Математические алгоритмы и экспертные системы в дифференциальной диагностике инсультов: Дисс. . . докт. мед. наук. — М.: НИИ неврологии РАМН, 2003. 325 с.
13. Аль Мабрук М. Аппаратно-программные средства и алгоритмы распознавания патологий сердца на основе персепtronных сетей: Дисс. . . канд. техн. наук. — Владимир: Владимирский гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, 2011. 203 с.
14. Automated system for diagnosis of major coronary artery stenosis. <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/04/090423132609.htm> (accessed September 7, 2011).
15. Hayashi N., Masutani Y., Masumoto T., Mori H., Kunitatsu A., Abe O., Aoki S., Ohtomo K., Takano N., Matsumoto K. Feasibility of a curvature-based enhanced display system for detecting cerebral aneurysms in MR angiography // Magnetic Resonance Medical Sci., 2003. Vol. 2. No. 1. P. 29–36.
16. Комитет экспертов ВНОК. Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Российские рекомендации // Системные гипертензии, 2010. Вып. 3. С. 5–26.

STUDY OF THE COMPLEX PROBLEM OF ARTERIAL HYPERTENSION DIAGNOSTICS IN THE METHODOLOGY OF ARTIFICIAL HETEROGENEOUS SYSTEMS

I. A. Kirikov¹, A. V. Kolesnikov², and S. B. Rumovskaya³

¹The Kaliningrad Branch of the Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia, baltbipiran@mail.ru

²The Kaliningrad Branch of the Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences; Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, avkolesnikov@yandex.ru

³The Kaliningrad Branch of the Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia, sophiyabr@gmail.com

Abstract: An approach to modeling the decision-support systems within the methodology of artificial heterogeneous systems is introduced on an example of a complex problem of the arterial hypertension diagnostics. Investigations were conducted on two models: "heterogeneous" and "homogeneous," and are relevant to the new scientific worldview in biomedicine, based on principles of variety, complementarity, cooperation, and relativity. The aim of the research is to develop the consulting hybrid intelligent system for the arterial hypertension diagnostics. The results of system analysis of the complex problem of arterial hypertension diagnostics within the methodology of artificial heterogeneous systems are presented, namely, identification and reduction of the complex problem, subtasks specification, methods selection for solving of homogeneous subtasks, and proof of the problem heterogeneity.

Keywords: decision-support system; functional hybrid intelligent system; heterogeneous problem; arterial hypertension diagnostics

DOI: 10.14357/08696527130208

References

1. Kolesnikov, A. V., and I. A. Kirikov. 2007. *Metodologija i tehnologija reshenija slozhnyh zadach metodami funkcional'nyh gibriddenykh intellektual'nyh sistem* [Methodology and technology for solving complex problems using the methodology of functional hybrid artificial systems]. M.: IPI RAN. 387 p.
2. Kolesnikov, A. V. 2001. *Gibriddenye intellektual'nye sistemy. Teorija i tehnologija razrabotki* [Hybrid artificial systems. Theory and development technology]. Ed. A. M. Yashin. SPb.: SPbGTU. 711 p.
3. Malaja medicinskaja jenciklopedija [Small medical encyclopedia]. 1991. M.: Sov. enciclopedia. 2:89, 488.
4. Rigel'man, R. 1994. *Kak izbezhat' vrachebnyh oshibok. Kniga praktikujushhego vracha*. [How to avoid medical mistakes. The book of medical practitioner]. M.: Praktika. 208 p.

5. Plavunov, N. F., V. V. Stepanova, Yu. V. Karaulova, et al. 2004. Rol' arterial'noj gipertonii v strukture i ishodah gospitalizacij mnogoprofil'nogo skoropomoshchnogo stacionara [Arterial hypertension role in structure and outcomes of hospitalization in general emergency hospital]. *Arterial'naja gipertenzija [Arterial hypertension]* 10(3):30–36.
6. Kolesnikov, A. V., I. A. Kirikov, S. V. Listopad, et al. 2010. *Reshenie slozhnyh zadach kommivojazhera metodami funkcional'nyh gibridnyh intellektual'nyh sistem* [Solving of the complex traveling salesman problems using the methodology of functional hybrid artificial systems]. M.: IPI RAN. 295 p.
7. Miroshnikov, Ju. I. 2009. Specifika medicinskogo poznanija i problema celostnosti ego predmeta [The character of medical learning and the problem of its subject completeness]. *Nauchnyj ezhegodnik Instituta filosofii i prava Ural'skogo otdelenija RAN* [Scientific Anals of the Institute of Philosophy and Law of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]. 9:171–84.
8. Zalmanov, A. S. 1996. *Tajnaja mudrost' chelovecheskogo organizma (Glubinnaja medicina)* [Secret Sophia of the human body (Deep medicine)]. M.: Molodaja gvardija. 224 p.
9. Zakharov, V. A., and V. F. Khoroshevskii, eds. 1990. *Iskusstvennyj intellekt: Spravochnik. Programmnye i apparatnye sredstva* [Artificial intelligence: Handbook. Software and hardware]. M.: Radio i svjaz'. Book 3. 368 p.
10. Chesnokova, I. V. 2009. Optimizacija lechebno-diagnosticheskogo processa u bol'nyh arterial'noj gipertenziej na dogospital'nom jetape [Optimization of diagnostic and treatment process for patients with arterial hypertension during prehospital stage]. M.D. Thesis. Voronezh. 46 p.
11. Shulakova, M. A. 2012. Informacionnaja podderzhka prinjatija reshenij pri diagnostike arterial'noj gipertonii na osnove metodov gibridnogo intellekta [Decision-making data support during diagnostics of arterial hypertension within methodology of hybrid intellegence]. PhD Thesis. Voronezh. 16 p.
12. Rebrova, O. Ju. 2003. Matematicheskie algoritmy i jekspertnye sistemy v differencial'noj diagnostike insul'tov [Mathematical algorithms and expert systems for differential diagnostics of insult]. M.D. Diss. Moscow. 325 p.
13. Al' Mabruk, M. 2011. Apparatno-programmnye sredstva i algoritmy raspoznavaniya patologij serdca na osnove perseptronnyh setej [Hardware, software, and algorithms for recognition of heart pathology based on perceptron-type networks]. D.Sc. Diss. Vladimir. 203 p.
14. Sciencedaily. 2009. Automated system for diagnosis of major coronary artery stenosis. <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/04/090423132609.htm/> (accessed September 7, 2011.)
15. Hayashi N., Masutani Y., Masumoto T., Mori H., Kunimatsu A., Abe O., Aoki S., Ohtomo K., Takano N., Matsumoto K. 2003. Feasibility of a curvature-based enhanced display system for detecting cerebral aneurysms in MR angiography. *Magnetic Resonance Medical Sci.* 2(1):29–36.
16. Komitet jekspertov VNOK [Committee of the Russian Scientific Society of Cardiology]. 2010. Diagnostika i lechenie arterial'noj gipertenzii. Rossijskie rekomendacii [Diagnostics and treatment of arterial hypertension. Russian recommenations]. *Sistemnye gipertenzii [Systemic Hypertension]* 3:5–26.

АГРЕГИРОВАНИЕ ГЕОКОНЦЕПЦИЙ ПРИ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ КАРТЫ С УЧЕТОМ ЛОГИЧЕСКОЙ СОГЛАСОВАННОСТИ И СЕМАНТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ*

С. К. Дулин¹, Н. Г. Дулина², П. В. Ермаков³

Аннотация: В последние годы резко возросло количество стационарных и мобильных устройств, использующих автоматизированные методы генерализации карты. Это порождает проблему обеспечения качества визуализации цифровых моделей карты. Генерализация должна не только гарантировать определенные стандарты для производного масштаба карты, но и поддерживать определенный уровень семантики. Чтобы проводить объективные сравнения различных результатов генерализации, целесообразно ввести семантическую меру точности агрегирования областей и геоконцепций. Представлен подход, показывающий, как эта мера может использоваться, чтобы сравнивать результаты генерализации. Рассмотрены также методы определения взаимосвязей между n геоконцепциями, которые необходимо распределить по N агрегатам так, чтобы в каждом агрегате оказались геоконцепции, наиболее сходные друг с другом по совокупности m выбранных описательных признаков. Введена функция сходства геоконцепций по совокупности k выбранных признаков, нормированная на максимальный диапазон значений признака на множестве из n геоконцепций.

Ключевые слова: генерализация; качество геоданных; агрегирование областей карты; агрегирование геоконцепций

DOI: 10.14357/08696527130209

1 Введение

Под генерализацией принято понимать отбор и обобщение изображаемых на карте объектов соответственно назначению и масштабу карты и особенностям картографируемой территории (ГОСТ 21667-76. Картография. Термины и определения). Соответственно, технология генерализации используется для преобразования карты исходного масштаба в карту более мелкого масштаба (производного масштаба). Процесс преобразования карты состоит из ряда этапов (<http://www.gisinfo.ru/projects/19.htm>):

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 11-07-00225).

¹ Институт проблем информатики Российской академии наук, s.dulin@ccas.ru

² Вычислительный центр им. А. А. Дородницына Российской академии наук, ngdulina@mail.ru

³ Институт проблем информатики Российской академии наук, petcazay@gmail.com

- формирование номенклатурного листа карты производного масштаба;
- перекодировка объектов;
- генерализация опорных пунктов;
- генерализация гидрографии и гидротехнических сооружений;
- генерализация кварталов населенных пунктов;
- генерализация рельефа;
- генерализация объектов малой длины или площади;
- сводка со смежными листами.

Корректность преобразования карты на каждом из этапов во многом зависит от качества геоданных. Существует семь критериев пространственного качества геоданных [1]:

- (1) происхождение;
- (2) позиционная точность;
- (3) атрибутивная точность;
- (4) завершенность;
- (5) логичность;
- (6) семантическая точность;
- (7) временная зависимость.

Большинство из этих критериев связано с генерализацией карты. Например, с применением смещения или алгоритмов упрощения линий позиционная точность уменьшается, а выбор объектов оказывает влияние на завершенность. Оценка этих качественных критериев в процессе генерализации — важное мероприятие, особенно когда применяются эвристические методы генерализации. В данной статье обсуждается логическая согласованность, семантическая точность и согласованность агрегирования областей карты и геоконцепций, необходимых при автоматизированной генерализации карты.

Проблема семантической точности особенно актуальна, когда объекты карты изменяют свою принадлежность к классам. При генерализации карты это происходит в двух случаях:

- (1) агрегирования геоконцепций;
- (2) агрегирования областей карты.

Первый случай приводит к изменениям состава классов, когда геоконцепции различных классов заменяются единственной агрегированной геоконцепцией. Агрегирование геоконцепции при уменьшении масштаба подразумевает, например, замену всех железнодорожных путей и их развязок вместе со зданием станции и вспомогательными строениями инфраструктуры геоконцепцией «стан-

ция». Эта замена может производиться экспертом на концептуальном уровне, но автоматизированное агрегирование геоконцепций при генерализации карты — трудоемкая задача, которая требует разработки специальных методов.

Качество генерализации карты обычно определяется сравнением входных и выходных наборов геоданных [2, 3]. Эти наборы зависят, главным образом, от мер, которые характеризуют формы объектов и их пространственные отношения. Однако при генерализации не всегда сохраняются первоначальные наборы, так как существуют мотивации для изменения набора геоданных, например минимально допустимые размеры для целевого масштаба. Поэтому независимо от изменений наборов геоданных целесообразно сравнивать результаты эвристических методов генерализации с результатами, которые являются оптимальными при данных ограничениях.

2 Логическая согласованность и семантическая точность

Логическая согласованность означает согласованность со спецификациями базы данных, т. е. соответствие структурным характеристикам и ограничениям модели данных. Поэтому принято считать, что пространственный набор данных является логически согласованным, когда он согласуется со структурными характеристиками выбранной модели данных и когда он совместим с ограничениями атрибутов, определенных для этого набора [1]. В картографическом случае обобщенный набор геоданных должен соответствовать стандартам, принятым для представления карты.

Модель данных в работе с картой — планарная структура в виде исчерпывающего (без пропущенных областей) покрытия изображения карты областями, которые не должны накладываться друг на друга. Это представление часто используется для данных покрытия Земли в топографических базах данных. Генерализация таких наборов геоданных — известная проблема [2]. Часто определяются дополнительные требования: например, формы особенностей геометрических очертаний должны быть смежными. Формально это означает, что для каждого двух точек в смежной области существует соединяющий путь, который полностью содержится в этой области. Такие структурные требования не зависят от масштаба, и необходимо гарантировать их сохранение в процессе генерализации. Напротив, требования на атрибуатах и геометриях часто различны для входного и выходного масштаба, в таком случае приходится приводить в соответствие карту выходного масштаба.

В табл. 1 сравниваются определения лесных областей в трех разных странах. В каждом примере минимальный размер определен как критерий для выбора, который естественно увеличивается для меньших масштабов. Канадские спецификации используют термин «Гарантируемый размер». В австралийских спецификациях его называют «Минимальный размер для включения». Термин

Таблица 1 Критерии выбора для лесных областей в трех различных национальных базах данных

Германия, ATKIS [4]		Канада, Национальная топографическая база данных [5]		Австралия, Национальная топографическая база данных [6]	
Леса		Лесистая местность		Лес или кустарник	
Поверхность с лесными растениями (лесные деревья и дикие кустарники)		Площадь, не менее чем на 35% покрытая деревьями или кустарниками высотой не ниже 2 м		Площадь земель с древесной растительностью, более чем на 10% покрытая листвой (деревья и кустарники)	
Масштаб	Критерий отбора	Масштаб	Критерий отбора	Масштаб	Критерий отбора
1:25 км	Площадь $\geq 0,1$ га	1:50 км	Площадь ≥ 1 га, ширина ≥ 50 м	1:25 км	Площадь $\geq 0,25$ га
1:50 км	Площадь ≥ 1 га			1:100 км	Площадь ≥ 4 га
1:250 км	Площадь ≥ 40 га	1:250 км	Площадь ≥ 25 га, ширина ≥ 250 м	1:250 км	Площадь ≥ 25 га
1:1000 км	Площадь ≥ 500 га				

«Гарантируемый размер» предполагает соблюдение требования, что определенные пороги не должны быть нарушены ни при каких обстоятельствах. Это требование описывается, соответственно, и в других спецификациях. Такие сильные требования необходимы, чтобы уменьшить влияние субъективности при генерализации карты и обеспечить стандартизованные картографические продукты.

Так как представление областей ниже порога целевого масштаба не допускается, они должны быть агрегированы с другими областями, чтобы обеспечить исчерпывающее покрытие. Поскольку все другие цели генерализации являются подчиненными, изменения класса должны быть приняты, например, если нет никакого соседа того же самого класса. Большинство исследователей в области генерализации карты указывают, что ограничения часто находятся в противоречии и необходимо находить компромиссы [2, 3, 7]. Поскольку ограничения, которые обеспечивают логическую согласованность, не допускают никакого компромисса, следует различать жесткие и мягкие ограничения.

Если набор входных данных логически согласован, можно определять простые алгоритмы генерализации, которые приводят к логически согласованным результатам, например применить процедуры слияния или коллапса, чтобы разрешить конфликты размера и близости [7]. Спецификации базы геоданных определяют выполнимость решений, но остается большая свобода в выборе различных вариантов. В простейшем случае критерии отбора интерпретируются

только как запреты, чтобы не потерять маленькие области в целевом масштабе. Усложненная задача, можно понимать заданные пороги как указания поддерживать области, имеющие достаточный размер, подразумевая, что их классы не должны быть изменены.

Более подробно проблемы логической согласованности со спецификациями базы геоданных рассмотрены в [1].

Цель введения семантической точности состоит в том, чтобы описать семантическое расстояние между географическими объектами и воспринятой действительностью. Для измерения семантической точности вводится семантическое расстояние между классами соответствующих областей в обобщенном наборе геоданных [2]. Формально семантическое расстояние определяется как функция:

$$d : \Gamma \times \Gamma \rightarrow R^+,$$

где Γ является набором классов. Маленькие значения d соответствуют семантически подобным классам. Тогда в качестве меры семантической точности можно использовать среднее семантическое расстояние \bar{d} (взвешенное по области):

$$\bar{d} = \frac{\sum_{v \in V} w(v) d(\gamma(v), \gamma'(v))}{\sum_{v \in V} w(v)}, \quad (1)$$

где V — вводимый набор областей $v \in V$; $w : V \rightarrow R^+$ — их размеры; $\gamma : V \rightarrow \Gamma$ — их первоначальные классы; $\gamma' : V \rightarrow \Gamma$ — их классы после обобщения.

3 Моделирование агрегирования областей карты

Достаточно удобно и наглядно трактовать процедуру агрегирования в терминологии теории графов, т. е. вершины графа рассматривать вместо областей, веса вершин вместо размеров области и цвета вместо классов геоконцепций покрытия поверхности карты. Используя введенные определения семантического расстояния d и V , w , Γ , γ и γ' , можно сформулировать проблему агрегирования следующим образом [7].

Пусть дано:

- (I) планарный граф $G(V, E)$ с весами вершин $w : V \rightarrow R^+$ и цветами вершин $\gamma : V \rightarrow \Gamma$, где Γ — набор всех цветов;
- (II) функция $\theta : \Gamma \rightarrow R^+$ (минимально допустимый вес для каждого цвета);
- (III) функция $d : \Gamma \times \Gamma \rightarrow R^+$ (семантическое расстояние);

(IV) функция $c : 2^V \times \Gamma \rightarrow R^+$ (некомпактность агрегата в смысле меры Куратовского);

(V) скалярный весовой коэффициент $s \in [0, 1]$.

Тогда требуется определить новую раскраску $\gamma' : V \rightarrow \Gamma$ вершин и найти разбиение $P = \{V_1, V_2, \dots, V_p\}$ из V такое, что

(i) для каждого набора вершин $V_i \in P$:

- все вершины в V_i получают один и тот же новый цвет $\gamma' \in \Gamma$, т. е. $\gamma'(v) = \gamma'_i$ для всех $v \in V_i$;
- V_i имеет общий вес не менее $\theta(\gamma'_i)$;
- граф, индуцированный V_i , — связанный;
- по крайней мере одна вершина $v \in V_i$ имеет свой исходный цвет, так что $\gamma'(v) = \gamma(v)$;

(ii) стоимость $f = sf_{\text{перекраска}} + (1 - s)f_{\text{некомпакт}}$ минимизируется, где

$$f_{\text{перекраска}} = \sum_{v \in V} w(v)d(\gamma(v), \gamma'(v));$$
$$f_{\text{некомпакт}} = \sum_{V \in P} c(V_i, \gamma'_i).$$

Граф $G(V, E)$ в (I) — граф смежности областей входного набора данных. Набор вершин V содержит элемент для каждой области. Набор E содержит ребро между двумя вершинами, если границы соответствующих областей совместно используют по крайней мере один линейный сегмент, который не вырождается в точку.

Выражения в (III)–(V) определяют компоненты функции стоимости, приведенной в пункте (ii) и являющейся основным критерием качества генерализации. Цель зависит от множества жестких ограничений, выполнимых при любом осуществимом решении. Можно привести некоторые обоснования жестким ограничениям, которые перечислены в пункте (i).

Каждый элемент V_i в разбиении P определяет агрегат, т. е. область в целевом масштабе. Его форма — это объединение форм, которые соответствуют вершинам в V_i , а его класс определяется γ'_i . Каждый агрегат должен быть одноцветным, с допустимым весом и непрерывным. Агрегат одноцветен, если все вершины, которые принадлежат ему, получают один и тот же цвет γ'_i . Чтобы обладать допустимым весом, размер агрегата должен быть по крайней мере $\theta(\gamma'_i)$. Требование смежности означает, что запрещены многослойные конфигурации. В этом контексте связность и смежность относятся к одной и той же концепции. Термин связность используется в связи с представлением в виде графа. Дополнительно требуется, чтобы каждый агрегат содержал узел неизменного цвета

во избежание появления новых классов в генерализованной карте. Вершину, которая определяет цвет агрегата, принято называть центром.

Функция стоимости в пункте (*ii*) выражает персональные настройки пользователя применительно к различным допустимым решениям. Здесь можно преследовать две различные цели. Первая цель состоит в том, чтобы изменить первоначальные классы как можно меньше. Вторая цель состоит в том, чтобы сделать формы столь же компактными, насколько возможно. Чтобы моделировать эти две цели, функции d и c , которые введены в (III) и (IV), объединены во взвешенной сумме, определенной фактором s в (*ii*). Функция расстояния между классами d задается квадратной матрицей $|\Gamma| \times |\Gamma|$. Уменьшение $f_{\text{перекраска}}$ подразумевает минимизацию d , поскольку знаменатель в уравнении (1) является постоянным для данного набора данных. Функция c определяет штраф за некомпактность получаемого агрегата, т. е. области в целевом масштабе, определяемой подмножеством вершин и их новым цветом.

Самая известная мера компактности области, исследованная еще в 1985 г. [3]:

$$c_1 = \frac{\text{периметр}}{2\sqrt{\pi} \cdot \text{площадь области}}.$$

Мера $c_1 = 1$ для окружностей, при этом более высокие значения фиксируются для менее компактных форм. Другая важная особенность этой меры — ее инвариантность от размера, т. е. значение c_1 не изменяется, если форма масштабируется.

Пусть $c := c_1$ для проблемы генерализации, т. е. для каждого агрегата вычисляется индивидуальная стоимость, равная c_1 . Предположим, что для одного и того же случая есть два решения, содержащих агрегаты, которые отличаются по размеру, например одно решение содержит четыре квадратных агрегата размером 2×2 м, а другое решение содержит 16 квадратов размером 1×1 м. Если вычислить стоимость для некомпактности каждого агрегата, то первое решение будет предпочтительнее просто потому, что будет начислено меньшее число равных штрафов. Чтобы определять меру, которая приводит к равным затратам для рассматриваемого разбиения, используют индивидуальную стоимость, пропорциональную размеру агрегата, т. е.

$$c_2 = \text{площадь области} \cdot c_1 = \frac{\sqrt{\text{площадь области} \cdot \text{периметр}}}{2\sqrt{\pi}}.$$

Выбор $c := c_2$ представляется предпочтительным, поскольку формы в обоих решениях не отличаются в терминах компактности.

Обсудим другой подход к измерению компактности агрегата.

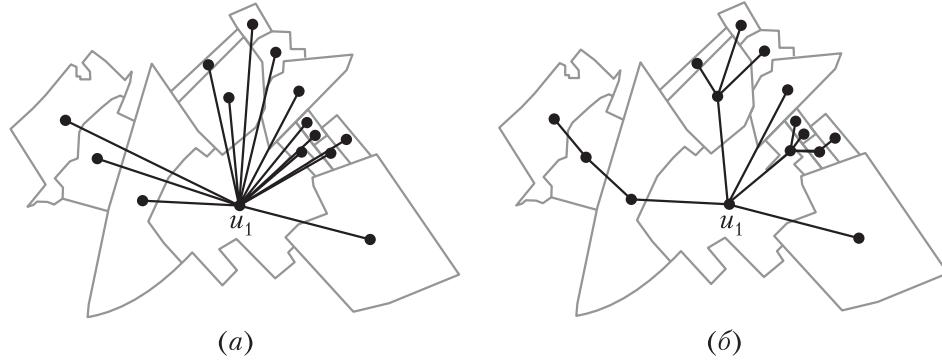


Рис. 1 Измерение компактности с использованием кратчайших расстояний до контрольной точки (а) и с использованием самых коротких путей (б)

Пусть $\delta : V \times V \rightarrow R^+$ — евклидово расстояние между средними точками двух областей. Тогда для $V' \subseteq V$ и $\gamma' \in \Gamma$ определяем

$$c_{\text{расстояние}}(V', \gamma') = \min \left\{ \sum_{v \in V'} w(v) \delta(v, u) \mid u \in V' \cap \gamma(u) = \gamma' \right\}, \quad (2)$$

т. е. выбираем одну вершину $u \in V'$ цвета γ' в качестве контрольной точки и для каждой вершины $v \in V'$ вычисляем стоимость, равную произведению веса v и ее расстояния до u .

Контрольная точка выбирается так, чтобы общая стоимость для агрегата была минимальной. Рисунок 1, а иллюстрирует этот подход. Выбирая в качестве потенциальных контрольных точек вершины определенного цвета, можно считать, что контрольная точка является центром агрегата. Это обычное упрощение, так как желательно, чтобы вершины группировались вокруг центра неизменного цвета.

Важно отметить, что эта мера не является инвариантной относительно размера агрегата, поскольку расстояния к центрам меньше для маленьких областей, а выбор $c := c_{\text{расстояние}}$ будет приводить к решениям со многими маленькими агрегатами. Эта тенденция, однако, не столь опасна, так как величины порогов θ гарантируют, что агрегаты не будут слишком маленькими.

Поскольку формы аппроксимируются средними точками, мера $c_{\text{расстояние}}$ — довольно грубый индикатор для геометрических характеристик агрегата. Поэтому целесообразно скомбинировать меру $c_{\text{расстояние}}$ с мерой $c_{\text{периметр}}$, определяя дополнительный весовой коэффициент $s' \in [0, 1]$, т. е.

$$c := s' c_{\text{расстояние}} + (1 - s') c_{\text{периметр}}. \quad (3)$$

Существует еще одна мера компактности, которая несколько отличается от $c_{\text{расстояние}}$. Пусть $\delta'_{V'}(u, v)$ — длина самого короткого пути от $u \in V'$ к $v \in V'$ на G по ребру δ такого, что этот путь всегда проходит через $V' \subseteq V$. Тогда $c_{\min, \text{расстояние}}$ определяется уравнением (2), в котором δ заменена на $\delta'_{V'}$. Эта мера проиллюстрирована на рис. 1, б. Для определенных задач $c_{\min, \text{расстояние}}$ более адекватна, чем $c_{\text{расстояние}}$, когда, например, запрещено пересекать границы территории.

4 Моделирование агрегирования геоконцепций

Агрегирование частей области индуцирует проблему агрегирования связанных с ними геоконцепций. Если в результате образуется N агрегатов, то весьма желательно, чтобы каждый из них описывался семантически близкими геоконцепциями. В простейшем случае можно приписывать каждому получаемому агрегату частей области те геоконцепции, которые описывают самую большую часть из агрегируемых областей. Однако такой грубый подход далеко не всегда оправдан. Естественно, что при агрегировании концепций нужно учитывать стоимость изменения приписываемой геоконцепции к вновь образуемому агрегату.

Зафиксируем связанную с картой совокупность геоконцепций, представив ее как множество взаимосвязанных элементов, внутренняя структура которых не существенна: важны только связи между парами геоконцепций, которые могут быть положительными, отрицательными или индифферентными. В центре внимания при таком рассмотрении оказываются алгоритмы и методы определения взаимосвязей между n геоконцепциями, которые необходимо распределить по N агрегатам так, чтобы в каждом агрегате оказались геоконцепции, наиболее сходные друг с другом по совокупности m выбранных описательных признаков. Тем самым геоконцепции заданной совокупности представляются формализованной структурой и могут быть описаны некоторым конечным набором параметров. Другими словами, рассматривается совокупность однородных геоконцепций произвольной природы $O = \{o_i\}$, ($i = 1, \dots, n$), где однородность понимается в смысле описания каждой геоконцепции из заданной совокупности в виде упорядоченного набора из m характеристик-признаков: $o_i = (p_1^i, \dots, p_m^i)$ [8].

Сравнение любых двух геоконцепций из этой совокупности позволяет получить оценку их сходства на основе агрегированного сходства соответствующих характеристик этих двух геоконцепций [8]. При этом в зависимости от характера и условий решаемой задачи в сравнении могут участвовать либо все m признаков, либо некоторое их подмножество из $k \leq m$ признаков. Выбранные признаки могут иметь различную природу и типы, главное, чтобы для каждого p_j имелась некоторая функция, позволяющая получить численную оценку сходства для каждой пары характеристик из этой группы. В реальных приложениях

не все геоконцепции из рассматриваемой совокупности могут обладать полным набором признаков: для некоторых из них значения отдельных признаков могут быть неизвестными или неприменимыми. В таких ситуациях однородность всей совокупности геоконцепций может быть восстановлена, если присвоить отсутствующим признакам нулевые значения, увеличив таким образом размерность вектора признаков $\{p_j\}$ до размерности k .

Задача построения функции сходства тесно связана с построением модели предметной области и определяется, вообще говоря, не только фактическим содержанием рассматриваемой предметной области, совокупностью геоконцепций и связей между ними, но и характером решаемой задачи. Можно говорить, что функция сходства является важной составляющей модели предметной области, определяющей единство этой модели при изменении значений геоданных.

Основное назначение функции сходства — определять меру близости геоконцепций рассматриваемой совокупности между собой и тем самым проводить классификацию этой совокупности. Поскольку функция сходства задается на пространстве признаков, описывающих геоконцепции предметной области, то такое преобразование описательных признаков геоданных в оценки близости является промежуточным шагом классификации. Поскольку в данной работе алгоритм агрегирования основан на преобразованиях матрицы связности, которая имеет знаковую структуру, то основной проблемой является построение функции сходства и выбор пороговых значений α и β , определяющих знак связи.

В настоящее время известно множество различных типов таких преобразований, включая вычисление евклидовых расстояний между строками многомерной матрицы, вычисление корреляций или ковариаций между столбцами матрицы, вычисление меры пересечения, а также много других видов коэффициентов.

Один из подходов к количественному определению оценки схожести заключается в попытке найти основу для суждений о сходстве. Это обычно достигается с помощью детального описания свойств, на основе которых можно выразить сходство. Такой подход приводит к детализации и дроблению дескрипторов геоконцепций, которые необходимо классифицировать. Каждой геоконцепции приписываются длинные списки дескрипторов, т. е. векторов значений признаков, а классификация проводится по матрице данных, скомпонованной из набора таких векторов. Сам же набор основных признаков геоконцепций определяется областью применения. Геоконцепции, подлежащие классификации, представлены в пространстве, измерениями которого являются признаки. Это признаковое пространство является формально m -мерным, но в связи с корреляцией между признаками оно обычно может быть преобразовано в пространство меньшей размерности с небольшой потерей информации. Кроме того, для решения специальных задач там, где интерес представляют только некоторые свойства геоконцепций, или там, где классификация должна служить нуждам некоторых специальных практических приложений, могут использоваться только несколько

признаков вместо многих или в общем случае разным признакам приписываются разные весовые коэффициенты [9].

Введем функцию F сходства геоконцепций по совокупности k выбранных признаков, нормированную на максимальный диапазон значений признака на множестве из n геоконцепций [10]. Для двух геоконцепций o_i и o_j , сходство которых устанавливается с точностью до k признаков $\{p_i\}_{mk}$, функция может быть записана как

$$F(o_i, o_j) = 1 - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k w_{ml} \frac{|p_{ml}^i - p_{ml}^j|}{\max |p_{ml}^i - p_{ml}^j|}.$$

Здесь $0 \leq w_{ml} \leq 1$ — вес ml -го признака.

При таком определении функции F она принимает значения на отрезке $[0, 1]$, причем единица означает «полное сходство» элементов o_i и o_j , а ноль — их «полное различие» (отсутствие сходства). Промежуточные значения могут быть интерпретированы как интегральная степень сходства двух геоконцепций по k выбранным признакам, что дает возможность рассматривать это множество в качестве полного неориентированного графа с нагруженными нормированными связями. Если на основе значений $F(o_i, o_j) = f_{ij}$ устанавливать знак связи, то он уже будет интерпретироваться как результат объективной оценки сходства геоконцепций, а не как субъективная оценка эксперта.

Одной из важных задач формирования структуры знаковых связей для последующего распределения n геоконцепций по N классам на основании этой структуры является выбор порогового значения α функции F , до которого (т. е. когда $0 \leq F(o_i, o_j) \leq \alpha$) геоконцепции o_i и o_j считаются несходными по k признакам и после которого ($\alpha < F(o_i, o_j) \leq 1$) — сходными. Если присвоить знак «минус» всем связям с $0 \leq F(o_i, o_j) \leq \alpha$ и знак «плюс» — в противном случае, то получится структура множества со знаковыми связями, описанная в литературе как знаковый граф.

Более общий случай возникает, если задать два пороговых значения α и β и присваивать знак «минус», если $0 \leq F(o_i, o_j) \leq \alpha$, значение 0, если $\alpha \leq F(o_i, o_j) \leq \beta$, и знак «плюс», если $\beta < F(o_i, o_j) \leq 1$. Этим вводится так называемый диапазон индифферентности (α, β) , значение связи внутри которого говорит об индифферентности к сходству по k выбранным признакам. При $\alpha = \beta$ мы возвращаемся к предыдущему случаю.

Изменение значений пороговых величин может приводить к соответствующим изменениям и в определении сходства между парами геоконцепций, а следовательно, и в структуре знаковой матрицы связности.

Нечувствительность структуры по нижнему пороговому значению α и по верхнему пороговому значению β определяется диапазонами значений $\alpha \in (\alpha_H, \alpha_B)$ и $\beta \in (\beta_H, \beta_B)$, при варьировании которых α и β соответственно знаковая структура множества не меняется.

Структура со знаковыми связями является согласованной, если в ней нет ни одной несогласованной структурной компоненты по выбранному структурному признаку. В частности, структура, согласованная по тернарному критерию Хайдера [10], не содержит ни одного диссонансного треугольника (в котором число отрицательных связей нечетно) и представляет собой два подмножества (одно из них может быть пусто), внутри каждого из которых объекты связаны только неотрицательными связями, а между объектами из разных подмножеств — связи только неположительные. Поликонсонанс степени N , в отличие от консонанса Хайдера, допускает существование N таких подмножеств.

Можно заметить, что изменения α и β до некоторых критических значений α_k и β_k , любую несогласованную структуру можно привести в согласованное состояние. Действительно, в предельном варианте, когда $\alpha = 0$ и $\beta = 1$, любая структура индифферентно согласована, так как все геоконцепции попарно сходны.

Устойчивость знаковой структуры по α и β определяется как сохранение согласованного состояния при варьировании α и β в некотором диапазоне $0 \leq \alpha \leq \alpha^*$ и $\beta^* \leq \beta \leq 1$. Если $\alpha = \beta$, то знаковая структура устойчива только в рамках нечувствительности по α и β . Нетрудно заметить, что чем меньше диапазон (α, β) , тем существенней знак связи и менее устойчива знаковая структура.

Полученные значения $F(o_i, o_j)$ являются нечеткой характеристикой взаимосвязи двух соответствующих объектов, что позволяет определить согласованность на такой совокупности другим способом. К сожалению, пока не удалось воспользоваться преимуществами подхода с позиций нечеткой логики для анализа структур со взвешенными связями, так как вместо комбинаторного характера, который имеют задачи на знаковой структуре, здесь приходится сталкиваться с проблемой индивидуального учета значения каждой из $n(n - 1)/2$ связей. Более того, имеющийся в настоящее время конструктивный анализ с позиций нечеткой логики так или иначе использует механизм порогов.

Оценивая предложенное сведение множества геоконцепций, обладающих набором характеристик, к системе геоконцепций со знаковыми связями, нельзя отрицать значительное огрубление семантики взаимоотношений этих геоконцепций. Однако следует заметить, что это в определенном смысле один из способов сведения семантической согласованности к структурной. На проведение такой операции без существенного огрубления, конечно же, рассчитывать не приходится.

Несмотря на то что в задачу данной статьи не входит изучение рассогласованности множеств, которая подробно изучена в работе [10], воспользуемся пока интуитивным представлением о проблеме структурной согласованности и рассмотрим способ вычисления оценки сходства, интерпретируемой как сила связи, и установления знака связи посредством задания пороговых значений.

Безусловно, предлагаемая функция сходства — не единственный способ определения близости геоконцепций по ряду выбранных свойств. В данном случае она важна как пример возможности такого определения. Как уже было сказано выше, выбор порогов сходства α и β весьма существенно влияет на состояние согласованности множества. Поэтому вопрос выбора α и β является достаточно ответственным. Этот вопрос должен решаться с учетом семантики предметной области, которой принадлежат геоконцепции, и характера решаемой задачи. Попробуем, тем не менее, высказать некоторые общие соображения, основываясь исключительно на структурных особенностях согласованных множеств.

После вычисления $F(o_i, o_j) = f_{ij}$ для всех пар геоконцепций имеется $n(n - 1)/2$ чисел f_{ij} . Предположим, необходимо привести заданное множество геоконцепций к консонансу степени N , т. е. к согласованной структуре из N непересекающихся групп [10]. Будем исходить из предположения, что исходная структура достаточно близка к консонансу. Тогда по крайней мере выбор α и β должен примерно соответствовать пропорции положительных и отрицательных связей при консонансе (предположим, что индифферентные связи пока отсутствуют), иначе неудачным выбором α и β может быть «испорчена» почти консонансная структура. Пусть в i -й группе содержится Z_i объектов, тогда общее количество положительных связей в N группах равно

$$S^+ = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^N Z_i^2 - n \right).$$

При условии $\sum_{i=1}^N Z_i = n$ получаем

$$\max S^+ = \frac{n(n-1)}{2} \quad \text{при } N = 1;$$

$$\min S^+ = \frac{n(n-N)}{2N} \quad \text{при } Z_i = \frac{n}{N} \text{ для любого } i.$$

Как видно, $\max S^+$ и $\min S^+$ сильно различаются. Нужно еще какое-то условие. В частности, если дополнительно существует условие равнomoщности N групп, то соотношение отрицательных связей

$$S^- = \frac{n^2}{2} \left(1 - \frac{1}{N} \right)$$

и положительных

$$S^+ = \frac{n(n-N)}{2N}$$

будет $S^-/S^+ \approx N$. Значит, при выборе порогов α и β в этом случае следует задать α так, чтобы количество отрицательных связей было примерно в N раз больше.

Рассмотрим функцию

$$\gamma = \sum_{\substack{f_{ij}=\max \\ f_{ij}=0}} v(f_{ij}),$$

где $v(f_{ij})$ — количество связей со значением f_{ij} . Найдем f_{ij}^* , при котором

$$\gamma(f_{ij}) = \frac{n^2}{2} \left(1 - \frac{1}{N}\right).$$

Зададим некий диапазон устойчивости δ и выберем $\alpha = f_{ij}^* - \delta$, а $\beta = f_{ij}^* + \delta$, давая возможность образоваться индифферентным связям, а вместе с ними и устойчивости структуры.

Для такого приближенного задания α и β на основе значения согласованной структуры недостаточно одного только количества групп. Необходимо знать хотя бы соотношение геоконцепций в группах.

При устранении рассогласованности выявляются связи, знаки которых следует изменить на противоположные (или заменить на 0). Замена знака связи на 0 является изменением соответствующего значения f_{ij} так, чтобы новое значение попало в интервал (α, β) , а изменение знака на противоположный — это «переброс» значения связи f_{ij} через этот интервал. Суммарное отклонение измененных значений связей от первоначальных и есть те суммарные затраты на согласование структуры, которые следует минимизировать.

В заключение приведем инвертированную относительно начальной постановку задачи, которая может оказаться полезной в некоторых приложениях. Среди имеющихся m признаков выбрать k признаков таких, чтобы разбиение n объектов на N классов на основе сходства по этим признакам требовало наименьших затрат в смысле суммарного изменения значений функций сходства. Еще более сложная модификация этой задачи возникает, когда требуется найти максимальное число признаков, за счет сходства по которым удается добиться требуемого уровня согласованности системы геоконцепций.

На рис. 2 показаны примеры геоконцепций областей карты.

Несмотря на то что сельхозугодье и поле принадлежат разным классам областей, они семантически подобны. Разумно определять семантическое расстояние между двумя классами a и b как минимальное число связей от a до общего суперкласса a и b , хотя это расстояние не является симметрическим и, следовательно, не удовлетворяет определению метрики.

Таблица 2 показывает матрицу сходства расстояний между геоконцепциями, приведенными на рис. 2. Поскольку обычно минимизируют среднее расстояние до класса, значения 1 — f_{ij} могут быть интерпретированы как затраты. Например, перевод области, которая была полем, в лесной массив в три раза дороже, чем замена той же самой области на сельхозугодья.



Рис. 2 Одна из возможных классификаций геоконцепций, связанных с областями карты

5 Заключение

Определение семантических мер подобия или расстояния рассматривается как ключ к качественной оценке при генерализации карты. С заданными оценками семантических расстояний между классами можно оптимально решить проблему агрегирования области при генерализации карты. Семантика также может выражаться признаками геообъектов, для чего рассмотрена абстрактная совокупность геоконцепций как множество взаимосвязанных элементов. При этом основное внимание уделено алгоритмам и методам определения взаимосвязей между геоконцепциями, которые необходимо распределить по N агрегатам так, чтобы в каждом агрегате оказались геоконцепции, наиболее сходные друг с другом по совокупности m выбранных описательных признаков. Таким образом, рассмотрен случай, когда геоконцепции заданной совокупности имеют формализованную структуру, т. е. могут быть описаны некоторым конечным набором параметров. Этот подход применим и для других видов обработки карты, подобных генерализации, например типификации — процесса выделения номенклатурного типа [11].

Таблица 2 Значения сходства геоконцепций

	Дороги	Жилые строения	Промышленные строения	Аэро-дромы	Полигоны	Сельхозугодья	Парки, заповедники	Поля	Леса	Горы
Дороги	1,0	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5	0,8	0,2	0,3
Жилые строения	0,5	1,0	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,5	0,3	0,2
Промышленные строения	0,5	0,5	1,0	0,4	0,4	0,2	0,1	0,5	0,3	0,25
Аэро-дромы	0,7	0,3	0,4	1,0	0,6	0,4	0,0	0,7	0,2	0,15
Полигоны	0,6	0,2	0,4	0,6	1,0	0,3	0,0	0,1	0,15	0,5
Сельхозугодья	0,8	0,2	0,2	0,4	0,3	1,0	0,2	0,7	0,25	0,5
Парки, заповедники	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	1,0	0,7	0,7	0,6
Поля	0,8	0,5	0,5	0,7	0,9	0,7	0,7	1,0	0,1	0,7
Леса	0,2	0,3	0,3	0,2	0,15	0,25	0,7	0,1	1,0	0,5
Горы	0,3	0,2	0,25	0,15	0,5	0,5	0,6	0,7	0,5	1,0

Литература

1. Дулин С. К., Розенберг И. Н., Уманский В. И. Аспекты пространственной согласованности географической информационной системы // Системы и средства информатики, 2011. Т. 21. № 2. С. 73–96.
2. Haunert J.-H., Wolff A. Generalization of land cover maps by mixed integer programming // GIS'06: 14th Annual ACM Symposium (International) on Advances in Geographic Information Systems Proceedings. — Arlington, VA, USA, 2006. P. 75–82.
3. Cheng T., Li Z. Toward quantitative measures for the semantic quality of polygon generalization // Cartographica, 2006. Vol. 41. No. 2. P. 487–499.
4. ADV: ATKIS-Objektartenkatalog, 2003. Available at: <http://www.atkis.de> (accessed October 25, 2013).
5. Natural resources Canada: National topographic data base: Data dictionary. Available at: http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/bndt/doc/dictntd3_en.pdf (accessed October 25, 2013).
6. Geoscience Australia: Topographic data and map specifications. Available at: <http://www.ga.gov.au/index.html> (accessed October 25, 2013).
7. Rodriguez M. A., Egenhofer M. J. Comparing geospatial entity classes: An asymmetric and context dependent similarity measure // Int. J. Geogr. Inf. Sci., 2004. Vol. 18. No. 3. P. 229–256.

8. Розенберг И. Н., Дулин С. К. Геоинформационный портал отрасли. Гарантировать достоверность данных // Железнодорожный транспорт, 2010. № 2. С. 12–17.
 9. Дулин С. К., Дулина Н. Г., Ермаков П. В. Организация трансфера геописаний на основе средств функционального программирования // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2012. Т. 10. № 8. С. 28–33.
 10. Дулин С. К. Введение в теорию структурной согласованности. — М.: ВЦ РАН, 2005. 135 с.
 11. Дулин С. К., Дулина Н. Г., Кожунова О. С. Когнитивная интероперабельность экспертной деятельности и ее приложение в геоинформатике // Труды 13-й Национальной конф. по искусственному интеллекту (КИИ-2012) с международным участием. — Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. Т. 1. С. 351–357.
-
-

AGGREGATION GEOCONCEPTS FOR GENERALIZATION MAPS, APPROPRIATE LOGICAL CONSISTENCY AND SEMANTIC ACCURACY

S. K. Dulin¹, N. G. Dulina², and P. V. Ermakov³

¹IPI RAN, Moscow, Russia, s.dulin@ccas.ru

²Dorodnicyn Computing Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ngdulina@mail.ru

³IPI RAN, Moscow, Russia, petcazay@gmail.com

Abstract: In recent years, the number of fixed and mobile devices using automated methods of generalization map dramatically increased. This raises the question of the quality of digital imaging models map. Generalization should not only ensure certain standards for the derived scale of the map, but also maintain a certain level of semantics. To conduct an objective comparison of the different results of generalization, it is necessary to introduce a measure of the accuracy of semantic aggregation areas and geoconcepts. An approach that shows how this could be used to compare the results of generalization is presented. Also, the methods for determining the relationship between n geoconcepts to be distributed over N units so that in each unit, there were geoconcepts most similar to each other on the set of m selected descriptive features. The function F is introduced — a similarity geoconcepts function of jointly k selected features, normalized to the maximum range of the characteristic values on the set of n geoconcepts.

Keywords: generalization; the quality of geodata; aggregation of the map areas; aggregation of geoconcepts

DOI: 10.14357/08696527130209

Acknowledgments

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 11-07-00225).

References

1. Dulin, S. K., I. N. Rozenberg, and V. I. Umanskiy. 2011. Aspekty prostranstvennoj soglasovnosti geograficheskoy informacionnoj sistemy [Spatial consistency aspects of geographical information system]. *Systems and Means of Informatics* 21(2):73–96.
2. Haunert, J.-H., and A. Wolff. 2006. Generalization of land cover maps by mixed integer programming. *14th Annual ACM Symposium (International) on Advances in Geographic Information Systems GIS'06 Proceedings*. Arlington, VA, USA. 75–82.
3. Cheng, T., and Z. Li. 2006. Toward quantitative measures for the semantic quality of polygon generalization. *Cartographica* 41(2):487–99.
4. ADV. 2003. ATKIS-Objektartenkatalog. Available at: <http://www.atkis.de> (accessed October 25, 2013).
5. Natural Resources Canada: National topographic data base: Data dictionary. Available at: <http://ftp2.cits.rncan.gc.ca/pub/bndt/doc/dictntd3.en.pdf> (accessed October 25, 2013).
6. Geoscience Australia: Topographic data and map specifications. Available at: <http://www.ga.gov.au/index.html> (accessed October 25, 2013).
7. Rodriguez, M. A., and M. J. Egenhofer. 2004. Comparing geospatial entity classes: An asymmetric and context dependent similarity measure. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 18(3):229–56.
8. Rozenberg, I. N., and S. K. Dulin. 2010. Geoinformacionnyj portal otrazili. Garantirovat' dostovernost' dannyh. [GIS portal industry. Ensure the accuracy of the information]. *Zheleznodorozhnyj Transport [Rail Transport]* 2:12–17.
9. Dulin, S. K., N. G. Dulina, and P. V. Ermakov. 2012. Organizacija transfera geoopisanij na osnove sredstv funkcion'ogo programmirovaniya [Shuttles geodescription-based means of functional programming]. *Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushchie sistemy [Information-Measuring and Control Systems]* 10(8):28–33.
10. Dulin, S. K. 2005. *Vvedenie v teoriyu strukturnoj soglasovnosti [Introduction to the theory of structural coherence]*. M.: Dorodnicyn Computing Center of the Russian Academy of Sciences. 135 p.
11. Dulin, S. K., N. G. Dulina, and O. S. Kozhunova. 2012. Kognitivnaja interoperabil'nost' ekspertnoj dejatel'nosti i ee prilozhenie v geoinformatike [Cognitive interoperability expert activity and its application in geoinformatics]. *Trudy 13-j nacional'noj konferencii po iskusstvennomu intellektu "KII-2012" [13th National Conference on Artificial Intelligence "CAI-2012" Proceedings]*. Belgorod. 1:351–57.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ РЕКУРРЕНТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ*

Д. В. Хилько¹, Ю. А. Степченков²

Аннотация: Статья посвящена новой рекуррентно-потоковой парадигме вычислений и методологии решения и программирования задач в среде разрабатываемого вычислительного устройства, архитектура которого реализует идеи и принципы описываемой парадигмы. Рассмотрена реализация новой парадигмы в многоядерной потоковой рекуррентной архитектуре (МПРА). Доказана сходимость рекуррентной организации вычислительного процесса с использованием понятий и теорем теории рекурсивных функций. Описана проблема разработки программного обеспечения (ПО), способного функционировать в среде рекуррентной архитектуры. Предложена специализированная рекуррентно-потоковая методология программирования, охватывающая все этапы проектирования ПО. Продемонстрировано применение методологии для решения задачи распознавания изолированных слов (РИС) в среде новой архитектуры. Проведена также поэтапная реализация одного из алгоритмов данной задачи — полосовой фильтрации — в соответствии с временной структурой деятельности методологии.

Ключевые слова: парадигма вычислений; методология программирования; рекурсивность; потоковая архитектура

DOI: 10.14357/08696527130210

1 Введение

Развитие идей параллельных вычислений в 1980-х гг. привело к исследованию нового класса архитектур вычислительных систем (ВС) — потоковых архитектур [1, 2]. В архитектурах этого класса поток данных имеет приоритет над потоком команд и является инициатором вычислений. В ряде стран ведутся исследования и разработка систем потоковой архитектуры, но, несмотря на видимые преимущества, такие как отсутствие «узких мест», характерных для фон-неймановской архитектуры [3], и исключение вероятности обработки неподготовленных данных, ряд проблем как технического, так и алгоритмического характера препятствует массовому применению потоковых архитектур.

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке по программам фундаментальных исследований ОНИТ РАН за 2013 г. (проект 1.5) и Президиума РАН (проект 16).

¹ Институт проблем информатики Российской академии наук, dhilko@yandex.ru

² Институт проблем информатики Российской академии наук, YStepchenkov@ipiran.ru

Разнообразие задач, решаемых в настоящее время при помощи ВС, очень велико, причем многие из них в том или ином виде содержат рекуррентные вычисления и рекурсию. Это неразрывно связано с понятиями алгоритма и функции, вычисляемой с помощью алгоритма, — основными в рамках теории рекурсивных функций [4]. В Институте проблем информатики РАН ведутся работы по созданию нетрадиционной рекуррентной архитектуры, предназначенной для реализации параллельных вычислений ограниченной размерности в области сигнальной обработки.

В рамках данной статьи для именования архитектуры авторы используют название МПРА, принципы работы которой базируются на новой рекуррентно-потоковой вычислительной парадигме [5]. Для экспериментальной апробации предлагаемой архитектуры разрабатывается рекуррентный обработчик сигналов (РОС), исполняемый в гибридном, двухуровневом варианте — рекуррентном операционном устройстве (РОУ) [6] с ведущим фон-неймановским процессором на управляющем (верхнем) уровне (УУ) и рядом потоковых процессоров на операционном (нижнем) уровне (ОУ).

Основная особенность разрабатываемой архитектуры — способ представления потоков данных и команд, объединенных в единый поток, который рекуррентно сворачивается при подготовке и разворачивается в ходе исполнения. Данное представление, по мнению разработчиков, позволяет эффективно реализовать рекуррентные и рекурсивные вычисления, а также решить другие проблемы, свойственные потоковой и параллельной архитектурам.

Для достижения максимальной производительности разрабатываемой архитектуры необходимо разработать соответствующее ПО, оптимизированное для выполнения в ее среде. Специфические особенности архитектуры, не свойственные другим классам, делают невозможным применение в полном объеме известных методов и технологий программирования. В связи с этим возникла необходимость разработки новой методологической базы для эффективного программирования в среде МПРА.

Данная работа посвящена решению такой задачи, а также доказательству сходимости рекуррентного вычислительного процесса.

2 Доказательство сходимости рекуррентной организации вычислительного процесса

В рамках работ по созданию МПРА необходимо доказать, что новая вычислительная парадигма как минимум будет не менее эффективной, чем уже существующие. Первой и наиболее важной задачей является доказательство того, что рекуррентный вычислительный процесс сойдется и приведет к получению ожидаемых результатов (остановится).

В ходе доказательства будут использованы термины и теоремы теории рекурсивных функций [4]: теорема о нумерации, определение примитивно рекурсивной функции, определение частично рекурсивной функции, s-п-m-теорема, тезис Черча. Фактически необходимо показать, что функциональные преобразования над самоопределяющимися данными можно описать частично рекурсивной функцией нескольких переменных. Необходимо также найти метод построения функции такого рода и обосновать тот факт, что в результате построения будет получена функция, которую можно привести к универсальной частично рекурсивной функции одной переменной (из теоремы о нумерации).

Чтобы корректно построить функцию, описывающую рекуррентную организацию вычислительного процесса в МПРА, необходимо более подробно описать механизмы преобразований (модификаций) значений функциональных полей (тегов) обрабатываемых данных. Суть преобразований заключается в следующем: самоопределяющиеся данные несут в себе служебную информацию для их обработки в виде набора функциональных полей, часть из которых (в количестве пяти) подвергается преобразованиям. Очевидно, что принимаемые полями значения принадлежат множеству натуральных чисел N . Преобразованные значения функциональных полей могут (но не обязательно) определять путь формирования графа вычислительного процесса (так называемая графо-динамика [7]). Последовательность новых значений функциональных полей задает рекуррентную цепочку. Таким образом, функциональные преобразования можно представить в виде функции пяти переменных (по числу функциональных полей) $f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$, где x_i соответствует функциональному полю, подвергающемуся преобразованию. Необходимо показать, что можно построить такую функцию и она будет частично рекурсивной.

Воспользуемся теоремой о нумерации, согласно которой достаточно показать, что можно построить функцию одной переменной, удовлетворяющей заданным требованиям. Заметим также, что каждое x_i есть функция от номера шага функциональных преобразований (рекуррентной развертки) t . Указанный номер шага отсчитывается с момента начала построения рекуррентной цепочки и не обязательно совпадает с текущим шагом вычислительного процесса. С учетом данных положений задачу можно переформулировать следующим образом: *доказать, что функциональные преобразования поля x_i есть частично рекурсивная функция от номера шага вычислительного процесса: $t \in [0, n]$, где n — глубина функциональных преобразований; на каждом шаге эта функция принимает значения, заданные рекуррентной цепочкой.*

Доказательство сходимости. В качестве аргумента искомой функции следует выбрать номер текущего шага рекуррентной развертки t . Тогда искомая функция примет вид функции от значения предыдущего шага рекуррентной развертки и номера текущего шага. Обозначим ее

$$f(t) = f'(f(t-1), t).$$

Обозначим также

$$f(0) = f_0; \quad f(1) = f_1; \quad \dots; \quad f(n-1) = f_{n-1}. \quad (1)$$

Искомую рекуррентную цепочку натуральных чисел f в соответствии с формулой (1) можно представить в виде вектора

$$f = \{f_0, f_1, \dots, f_{n-1}\}. \quad (2)$$

Обозначим через $\{F\}$ упорядоченное пронумерованное множество мощностью l (n может быть больше l) всех допустимых значений функционального поля, зафиксированных в рамках конкретной реализации архитектуры. Тогда задачу можно интерпретировать следующим образом: найти последовательность номеров значений функционального поля, которая образует требуемую цепочку f .

На множестве $\{F\}$ можно определить функцию выбора $s(q)$, которая для заданного номера q возвращает соответствующее значение. По определению примитивной рекурсии функция выбора примитивно рекурсивна, следовательно, и частично рекурсивна. В силу предложенной интерпретации будем полагать, что формула (2) задает искомую последовательность номеров.

Другими словами, необходимо построить функцию $s(f(t))$, которая строит цепочку f . Причем эта функция будет частично рекурсивной, в соответствии с предыдущим абзацем, если будет частично рекурсивной функция $f(t)$.

Тогда искомая функция $f(t)$ могла бы иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} f(t) &= f(t-1) + g(k, t); \\ g(k, t) &= \begin{cases} f_t - k, & \text{если } k = f_{t-1}; \\ g(k-1, t), & \text{если } k \neq f_{t-1}; \end{cases} \\ g(0, t) &= 0; \quad f(0) = f_0. \end{aligned}$$

Покажем, что данная функция является частично рекурсивной. Функция $g(k, t)$ — частичная, так как определена только на заданных отрезках $[1, l]$ и $[0, n]$. По определению примитивной рекурсии функции $g(k, t) = f_t - k$ и $g(k, t) = g(k-1, t)$ примитивно рекурсивны; кроме того, функция сравнения также примитивно рекурсивна. Класс общерекурсивных функций включает в себя класс примитивно рекурсивных функций, и, следовательно, по тезису Черча и определению функция $g(k, t)$ является частично рекурсивной. Аналогично $f(t)$, которая является суммой частично рекурсивных функций, по тезису Черча частично рекурсивна.

Таким образом, нашлась такая частично рекурсивная функция от номера шага рекуррентной развертки $s(f(t))$, которая строит корректную цепочку рекуррентных преобразований. По s - n - m -теореме у этой функции существует Геделев

номер (т. е. универсальная частично рекурсивная функция вычисления требуемой цепочки). По построению эта функция сходится к искомому вектору (2).

Итак, получена частично рекурсивная функция одной переменной. Воспользовавшись первоначальными выкладками и теоремой о нумерации, получим частично рекурсивную функцию пяти переменных, которая строит заданную цепочку рекуррентных преобразований. Кроме того, существует метод ее построения. Полученная функция сходится по построению, что и требовалось доказать.

Таким образом, удалось доказать, что рекуррентная организация вычислительного процесса сходится. Следует также отметить, что в рамках работы над МПРА создано специализированное программное средство РЕКУРРЕНТ [8], предназначенное для поиска функций и построения рекуррентных цепочек, а также проверки на достижимость узлов цепочки в этих функциях.

3 Описание рекуррентно-потоковой методологии программирования

Уникальность рекуррентного вычислительного процесса МПРА означает, что ни одна из существующих методологий программирования (структурная, функциональная, объектно-ориентированная и др.) в полной мере не удовлетворяет потребности ее разработчиков. В связи с этим возникла потребность разработки новой методологии, которую авторы МПРА назвали *рекуррентно-потоковой методологией программирования*.

Рассмотрим каждую из составляющих структуры разрабатываемой методологии.

Основаниями данной методологии являются *информатика* и *системный анализ*. В самом деле, информатика включает в себя такой аспект, как разработка языков программирования, что является одной из основных задач в рамках разработки МПРА. В то же время системный анализ используется для определения параметров отдельных компонентов архитектуры, на основе которых разрабатывается специальное ПО, предназначенное для моделирования, проведения экспериментов и отладки.

Принцип рекуррентно-потоковой методологии программирования заключается в представлении исходной задачи в виде совокупности подпрограмм специального типа, называемых *капсулами*. Каждая капсула реализует один или несколько алгоритмов решаемой задачи и представляет собой набор самоопределяющихся данных. Данные такого типа содержат также и всю необходимую управляющую информацию для их обработки. Данное представление программ назовано разработчиками *капсульным стилем программирования*.

Особенности капсульного программирования: представление программы в виде самопорождающейся последовательности динамических графов (этот про-

цесс порождения называется рекуррентной разверткой); программы, написанные в капсульном стиле, являются также и потоковыми.

Условием начала вычислительного процесса, помимо управляющего сигнала «пуск», является событие появления входных данных в символьных капсулах. Другими словами, для капсул переопределено «правило срабатывания», которое свойственно большинству потоковых архитектур и программ.

Субъектом, объектом и предметом деятельности в рамках настоящей методологии являются соответственно *программист* — разработчик ПО для МПРА, *капсула* — программа, функционирующая в среде МПРА, и *процесс разработки ПО*.

Важным разделом методологии является описание *временной структуры деятельности*, которую можно представить в виде обобщенной методики программирования в среде МПРА.

3.1 Этапы рекуррентно-потоковой методологии программирования

Этап I. Провести анализ задачи и определить, имеется ли необходимость производить сложные и ресурсоемкие вычисления и какую долю (приблизительно) в решении задачи они составляют.

Этап II. Если имеют место сложные вычислительные задачи и их доля достаточно велика, то декомпозировать исходную задачу на ряд подзадач по принципу:

- (1) множество подзадач управления вычислительным процессом;
- (2) множество подзадач низкой вычислительной сложности;
- (3) множество подзадач высокой вычислительной сложности.

Классы задач 1 и 2 необходимо решать при помощи верхнего УУ архитектуры, третий класс — при помощи нижнего ОУ.

На текущем этапе разработки в качестве основных критерии оценки сложности задачи (подзадачи) были приняты следующие:

- большой объем входного набора (потока) данных (например, цифровые фильтры, свертки и др.);
- скрытый или явный параллелизм вычислительного графа задачи степени 3 или более;
- большой объем потока промежуточных данных;
- большой объем выходного набора (потока) данных.

Этап III. Осуществить реализацию всех подзадач (как для УУ, так и для ОУ). Результатом этого этапа будет управляющая программа, исполняемая средствами УУ, и набор специализированных программ, называемых капсулами

и решающих подзадачи класса 3. Управляющая программа осуществляет подготовку данных для капсул, обработку результатов их вычисления, а также решает подзадачи классов 1 и 2.

Этап IV. Выполнить комплексную отладку набора капсул и управляющей программы.

Ключевыми этапами данной методологии можно считать этапы II и III: первый определяет результирующую декомпозицию задачи, а второй содержит в себе квинтэссенцию парадигмы капсулного программирования.

Рассмотрим этап III более подробно. Этот этап был назван этапом капсулного программирования.

3.2 Методика капсулного программирования

Подэтап III-1. Определение функциональной нагрузки на капсулу.

1. Назначить капсule функциональность *задача*.
2. Анализировать математическую постановку и модель (если имеется) решаемой при помощи МПРА задачи и определить *глобальную степень параллельности* (ГСП) алгоритма.
3. Блоки алгоритма, которые могут быть выполнены параллельно, обозначить *тело*.
4. Провести анализ математической сложности тел (воспользоваться теорией сложности алгоритмов).
5. Провести анализ тел на потенциальный параллелизм и определить их степени параллельности (СП).
6. Если ГСП $\gg 4$, или сложность тел велика, или СП тел велика (*понятие «велика» необходимо уточнять*), то декомпозировать капсулу на последовательность капсул, каждой из которых назначить функциональность *тела*. Иначе этап I завершен.
7. Перейти к анализу капсул в последовательности:
 - 7.1 обозначить ГСП = СП текущей анализируемой капсулы;
 - 7.2 обозначить *алгоритм* — задача, решаемая текущей капсулой;
 - 7.3 вернуться к шагу 3.
8. Корректировать результаты подэтапа III-1 в соответствии с результатами подэтапов III-2 и III-3.

Результат применения данного этапа методологии:

- упорядоченная последовательность капсул, решаяющая поставленную задачу;
- каждая капсула решает часть общей задачи;
- СП каждой капсулы сравнима с 4.

Подэтап III-2. Разработка капсул.

Инициализация всех капсул статусом *не завершена*.

1. Выбрать очередную незавершенную капсулу; если таковых нет, перейти к подэтапу III-1.
2. Построить потоковый вычислительный граф алгоритма в соответствии с его математическим описанием (или моделью, если имеется).
3. Провести анализ графа с целью выделения повторяющихся и потенциально параллельно исполняемых блоков.
4. Применить существующие методологии распараллеливания алгоритмов и преобразовать граф таким образом, чтобы его СП была не больше 4.
5. Осуществить поиск циклически повторяющегося фрагмента графа и выполнить рекуррентную свертку этого фрагмента в вершины графа. Полученный граф называется *динамическим*.
6. Преобразовать динамический граф в соответствии со спецификацией функциональных возможностей РОУ. Результатом этого преобразования должна стать развернутая (детализированная) граф-капсула.
7. Если полученный граф не эффективен с точки зрения временных затрат на конфигурацию, пересылку промежуточных данных и т. п., вернуться к шагу 5. В случае, когда найти приемлемое эффективное решение не удается, перейти к шагу 9 подэтапа III-1.
8. Преобразовать граф-капсулу в символьную капсулу.
9. Установить статус капсулы — *отлаживается* и перейти к шагу 1.

Результат этапа — одна или более капсул, готовых к тестированию.

Подэтап III-3. Отладка капсул.

1. Отладить очередную капсулу со статусом *отлаживается*; если таковых нет, разработка завершена.
2. Анализировать результаты исполнения капсулы на соответствие требованиям точности и времени исполнения.
3. Если требования не удовлетворены, то статус капсулы — *не завершена*; вернуться к подэтапу III-2.
4. Установить статус капсулы — *готова* и вернуться к шагу 1.

Далее будет представлено применение первых двух этапов данной методологии на примере задачи РИС, а применение третьего этапа — на примере одного из алгоритмов распознавания, полосовой фильтрации.

4 Применение новой методологии для реализации распознавателя изолированных слов в среде рекуррентной архитектуры

Для экспериментальной апробации МПРА в результате этапа I методологии была выбрана предметная область распознавания слов. С этой целью в среде

Совокупность алгоритмов распознавателя слов

Алгоритм	Составной алгоритм	Пояснения	Блок	Капсула ¹
	Формирование фрейма	Чтение 84 отсчетов из буфера кодека в буфер УУ	УУ	—
	Масштабирование памяти	Если необходимо, производится масштабирование памяти фильтра Баттеруорта аналоговой частью коэффициента усиления	УУ	—
Фильтр Баттеруорта	Подготовка данных	Подготовка памяти фильтра и входных данных (для УУ), заполнение капсулы	УУ	~ 100
	1-я секция фильтра	Реализация 1-й секции фильтра, выходные данные становятся входом для 2-й секции	РОУ	
	Подготовка данных	Заполнение капсулы выходными данными 1-й секции	УУ	
	2-я секция фильтра	Реализация 2-й секции фильтра	РОУ	
Автоматический контроль коэффициента усиления (AGC — automatic gain control)	Локальный максимум на фрейме	Поиск по 84 отсчетам локального максимума амплитуды	РОУ	~ 100
	Анализ и обработка локального максимума на фрейме	Нормализация энергий, обновление глобального максимума, сохранение локального максимума в FIFO (First In, First Out), поиск нового максимума в FIFO	РОУ	—
	Масштабный фактор	Вычисление нового масштабного фактора	УУ	—
	Масштабирование	Если необходимо, масштабировать аналоговой частью память фильтра	РОУ	—
	Цифровая часть	Ограничение цифровой части	УУ	—
	Масштабирование	Если необходимо, масштабировать цифровой частью память фильтра	РОУ	—
	Масштабирование буфера	Масштабирование входного буфера	РОУ	100

Окончание таблицы на с. 142

Совоюпность алгоритмов распознавателя слов (*окончание*)

Алгоритм	Составной алгоритм	Пояснения	Блок	Капсула ¹
Полосовая фильтрация	Подготовка данных	Подготовка памяти фильтра и входных данных (для УУ), заполнение капсулы	УУ	—
	1-я и 2-я секции фильтра	Реализация секций фильтра	РОУ	80
Извлечение речевых характеристик	Проверка на окончание слова	Если текущий фрейм является паузой, производится проверка на окончание слова	УУ	—
	Нелинейное преобразование	Переход в нелинейный спектр, вычисление логарифма энергии каждой полосы	РОУ	~ 30
	RASTA	RASTA-фильтрация в нелинейном спектре	РОУ	34
	Обратное преобразование	Переход в линейный спектр, вычисление экспоненты энергии каждой полосы	РОУ	~ 30
	Косинусное инверсное дискретное преобразование Фурье (ИДПФ)	Вычисление автокорреляционной свертки с использованием коэффициентов косинусного ИДПФ	РОУ	~ 30
	Рекурсия Дурбина–Скурра	Выделение кепстральных коэффициентов	РОУ	~ 200
	LPC (linear predictive coding) параметры	Вычисление LPC-параметров	РОУ	~ 100
	Дельта-расширение	Дельта-расширение характеристического вектора	РОУ	—
	Квантование ХВ	Вычисление евклидового расстояния	РОУ	22
	Определение конца слова	Определение конца слова	УУ	—
Алгоритм Витерби		Поиск подходящей модели слова	РОУ	~ 300

¹Размер капсулы в операндах.

МПРА разрабатывается программа РИС. В результате применения этапа II методологии к задаче РИС была получена декомпозиция, представленная в таблице.

В этой таблице приведены также некоторые оценки по затратам на реализацию данных алгоритмов.

В настоящее время в соответствии с этой таблицей осуществляется реализация РИС в среде МПРА по методике, приведенной ниже.

4.1 Методика выделения функций распознавателя в капсулы

1. Выбрать алгоритм из таблицы и найти его в вычислительном графе распознавателя слов.
2. Определить все входные и выходные данные и области их допустимых значений.
3. Провести реализацию алгоритма на РОУ с заданными наборами входных данных и шаблонами выходных данных с учетом всех операций масштабирования, выполняемых внутри заменяемого кода.
4. Заменить часть исходного кода, реализующую выбранный алгоритм, на подпрограмму вызова капсулы.
5. Запустить РОУ для решения задачи распознавания на полном наборе примеров.
6. Если результаты совпали с исходной моделью, приступить к оптимизации капсулы; иначе вернуться к п. 3.
7. Если оптимизации капсулы не требуется, считать задачу решенной.
8. Если в результате оптимизации капсулы возникает необходимость модификации вычислительного графа — изменения входного и выходного наборов данных (ввиду наличия четырех вычислителей в РОУ), внести соответствующие изменения в вычислительный граф и программную модель распознавателя слов. Важно: нельзя изменять основной алгоритм вычислений, только количество данных в наборах (т. е. вычисление нескольких одинаковых тел алгоритма).
9. Если внесенные изменения при запуске обновленной модели приводят к получению тех же результатов, оптимизировать капсулу и вернуться к п. 4.

Для демонстрации этапа III разработанной методологии был выбран один из алгоритмов — полосовая фильтрация. Рассмотрим каждый из пунктов третьего этапа применительно к выбранному алгоритму.

4.2 Подэтап III-1 методики капсульного программирования

1. В качестве *задачи* принимается «реализация полосового фильтра». Предположительно требуется 1 капсула, которой назначается функциональность «полосовой фильтр».
2. Привести математическую постановку.
Предобработанный речевой сигнал $x_{pf}(n)$, состоящий из 84 отсчетов, фильтруется на банке из 17 полосовых фильтров. В качестве полосовых фильтров

используются двухсекционные биквадратные фильтры. Передаточная характеристика каждого фильтра описывается формулой

$$H(z) = \frac{a}{1 + 2b_{11}z^{-1} + b_{12}z^{-2}} \frac{1}{1 + 2b_{21}z^{-1} + b_{22}z^{-2}}, \quad (3)$$

где $a, b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}$ — коэффициенты фильтра, значения которых являются константами и хранятся в отдельной таблице. Таким образом, необходимо рассчитать 17 полосовых фильтров. Отсюда следует, что ГСП = 17.

Раскрыв z -преобразование в формуле (3), получим следующее представление двух последовательных фильтров:

$$\left. \begin{aligned} H_1(z) &\leftrightarrow y_i = ax_i - 2b_{11}y_{i-1} - b_{12}y_{i-2}; \\ H_2(z) &\leftrightarrow y'_i = ay_i - 2b_{21}y'_{i-1} - b_{22}y'_{i-2}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Данные уравнения описывают рекурсивные фильтры второго порядка. Выходные данные первого фильтра являются входными данными для второго, откуда следует, что выделить большее количество ГСП не получится. Кроме того, следует отметить, что фильтруется несмещенный входной вектор.

3. В качестве *тела* обозначить один фильтр, заданный формулой (3).
4. Воспользоваться теорией сложности для оценки вычислительной сложности фильтра.

Для данного алгоритма $n = 84$. Секции фильтра рассчитываются последовательно, значит, их сложности складываются. Скорости выполнения операций сложения и умножения одинаковые, поэтому оценка времени вычисления одной секции фильтра равна $6n$. Тогда время расчета всего фильтра составит $2 \cdot 6n$. Другими словами, при переходе к оценке асимптотической сложности получим время порядка $O(n)$ (вполне ожидаемое время для алгоритма реального времени).

Относительно низкая вычислительная сложность позволяет сделать предположение, что выбранное «тело» обладает невысокой СП.

5. Последовательный характер двухсекционного фильтра, казалось бы, препятствует параллельному вычислению обеих секций одновременно. Однако, как было отмечено ранее, данный фильтр обрабатывает несмещенный вектор. Это означает, что результат вычислений первой секции фильтра может быть сразу использован для вычисления второй секции. Таким образом, минимальная локальная СП = 2.

Рассмотрим одну из секций фильтра более подробно (как следует из формул (4), они идентичны). Нетрудно заметить, что есть три независимых операции умножения; следовательно, СП секции равна 3.

Таким образом, для фильтра, заданного формулой (3), СП = 6.

6. Имеем: ГСП = 17, СП = 6. Глобальная степень параллельности на порядок больше 4; следовательно, задачу необходимо декомпозировать на 17 подзадач (17 капсул), каждая из которых рассчитывает отдельный полосовой фильтр.
7. Завершить итерацию этапа I. Назначить *задачу* — «полосовой фильтр». ГСП = 6.
8. Обе секции фильтра можно рассчитывать параллельно, поэтому можно выделить два *тела*, каждое из которых соответствует секции фильтра.
9. Сложность каждого тела $O(n)$.
10. СП = 3.
11. Имеем: ГСП = 6, СП = 3. Это означает, что декомпозиция завершена. В результате получена последовательность из 17 капсул, каждая капсула рассчитывает обе секции фильтра.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что для расчета каждой секции фильтра требуется два вычислительных устройства. Таким образом, необходимо реализовать алгоритм с СП = 3, используя два вычислителя.

4.3 Подэтап III-2 методики капсульного программирования

1. Для краткости опустим подробное описание пп. 1–4 данного подэтапа и приведем фрагмент преобразованного потокового графа с СП = 4. Указанный фрагмент изображен на рис. 1.
2. Динамический граф может быть получен путем сворачивания в вершины подграфов графа на рис. 1, выделенных пунктирумыми прямоугольниками. Нетрудно заметить, что указанные подграфы циклически повторяются.
3. Результат преобразования фрагмента потокового графа во фрагмент граф-капсул представлен на рис. 2.

4.4 Подэтап III-3 методики капсульного программирования

Выходит за рамки рассмотрения данной статьи.

Символьная капсула полосового фильтра приведена в приложении.

5 Заключение

В ходе работ над новой вычислительной архитектурой для ее экспериментальной апробации был теоретически обоснован факт сходимости рекуррентного вычислительного процесса и создана методологическая база разработки ПО, предназначенного для функционирования в ее среде. Кроме того, была осуществлена апробация предложенной методологии на целостном наборе алгоритмов в

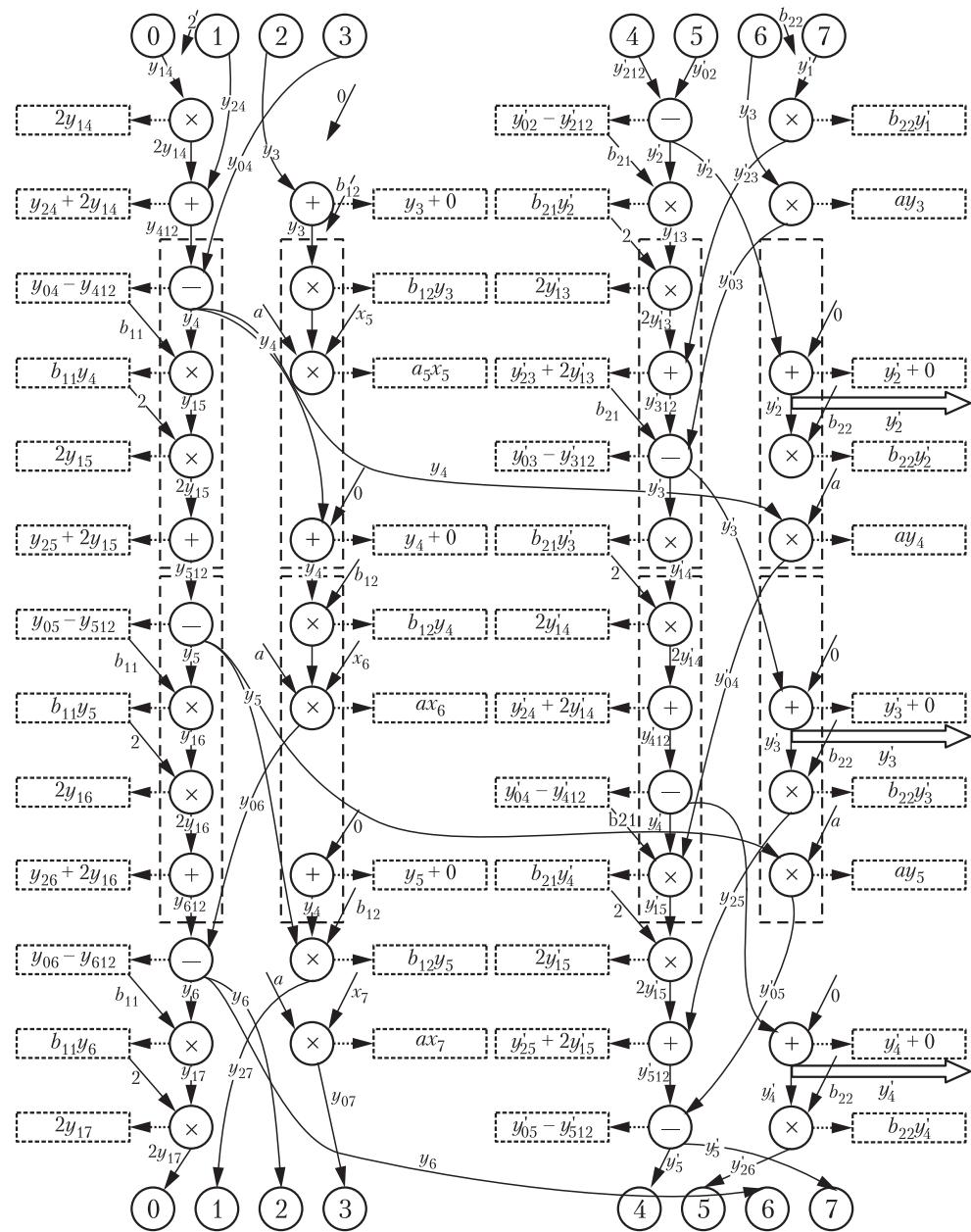


Рис. 1 Фрагмент преобразованного потокового графа полосового фильтра

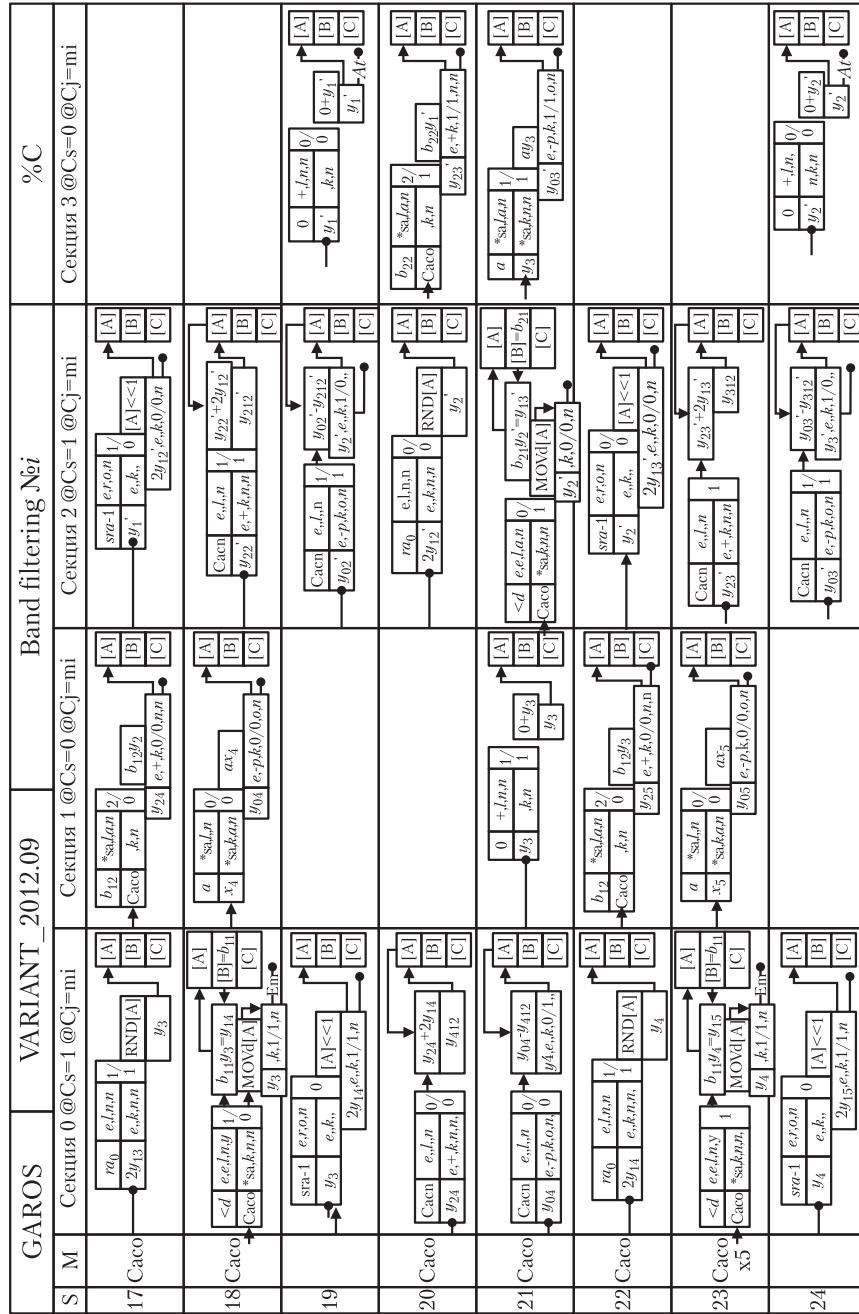


Рис. 2 Фрагмент граф-капсулы полосового фильтра

рамках представительной проблемной области цифровой обработки сигналов — распознавания отдельных слов-команд.

Положительные результаты апробации предложенной методологии могут служить основанием ее использования для создания технологии и программного комплекса проектирования ПО для МПРА. Некоторые компоненты данного комплекса в настоящее время уже разработаны [9–11] или находятся в разработке и отладке [12, 13].

Приложение

Символьная капсула полосового фильтра

```
Acg: Cx=3 Cp=4 Cc= Cr= Ce=ecs Cs=ei;
Ai: IOn=(Y') IOi=s IOs=84;
Am: %Mv=0010 %Mt=e %Mo=0 %Mm=s
At: Tc= Tm= Tu= Tr= Tn=0 To=0 Ts= Te= Ta= [ Sh=0 Sm=0 Dr=1000 ];
Di: @s=s V=b11 [ Oc=>db Ou=1 Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0001 Ds=n De= ];
{@s=s Oc= Ou= Ds= De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Di: @s=s V=b12 [ Oc==sa Ou=1 Ot=t Sh=0 Sm=2 Dr=0010 Ds=a De= ];
{@s=e Oc=+ Ou=k Ds=n De=n Sh=0
Sm=0 } ДФЧ
Di: @s=s V=b21 [ Oc=>db Ou=1 Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0100 Ds=n De= ];
{@s=s Oc= Ou= Ds= De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Di: @s=s V=b22 [ Oc==sa Ou=1 Ot=t Sh=1 Sm=2 Dr=1000 Ds=a De= ];
{@s=e Oc=+ Ou=k Ds=n De=n Sh=1
Sm=1 } ДФЧ
Ccs: [Oc= Ou=k Sh=0 Sm=0 Dr=0001 Ds= De=] Cj=mi Cl=> Cd= Cb= Cs=2 Cm= Cf=;
Ccs: [Oc= Ou=k Sh=0 Sm=2 Dr=0010 Ds= De=] Cj=mi Cl=< Cd= Cb= Cs=0 Cm= Cf=;
Ccs: [Oc= Ou=k Sh=0 Sm=0 Dr=0100 Ds=n De=] Cj=mi Cl=> Cd= Cb= Cs=2 Cm= Cf=;
Ccs: [Oc= Ou=k Sh=1 Sm=2 Dr=1000 Ds=n De=] Cj=mi Cl=< Cd= Cb= Cs=0 Cm= Cf=;
Cacn: @s=e [Oc= Ou=1 Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0001 Ds= De=n ];
{@s=e Oc= Ou=k Ds= De= Sh=1 Sm=0 } ДФЧ
Di: @s=s V=a [Oc= Ou=1 Ot=t Sh=1 Sm=0 Dr=0001 Ds=n De=n ];
{@s=e Oc=-p Ou=k Ds=n De=n Sh=0 Sm=0 }
ДФЧ
Di: @s=s V=a [Oc==sa Ou=1 Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0010 Ds= De=n ];
{@s=e Oc=-p Ou=k Ds=o De=n Sh=0 Sm=0
Sm=1 } ДФЧ
Di: @s=s V=a [Oc=>sa Ou=1 Ot=t Sh=1 Sm=1 Dr=0100 Ds=n De=n ];
{@s=e Oc=-p Ou=k Ds=o De=n Sh=0 Sm=1
} ДФЧ
Di: @s=s V=x0 [Oc==sa Ou=k Ot=t Sh=1 Sm=0 Dr=0001 Ds=n De=n ];
```

```

{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Di: @s=s V=x1 [0c=*sa Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0010 Ds=a De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds=o De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Caco: @s=e @Ad=4 @Au=m [ 0c=*sa Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=1 Dr=0001 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De=
Sh= Sm= }ДФЧ
Di: @s=e V=<d [0c=e Ou=l Ot=t Sh=0 Sm=1 Dr=0001 Ds=n De=y ];
{@s=s 0c= Ou=k Ds=n De=n Sh=1 Sm=1 }
ДФЧ
Di: @s=s V=0 [0c=+ Ou=l Ot=t Sh=1 Sm=1 Dr=0010 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Di: @s=s V=0 [0c=+ Ou=l Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=1000 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Cacn: @s=e [0c=*sa Ou=l Ot=t Sh=0 Sm=1 Dr=0001 Ds=a De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Am: %Mv=0101 %Mt=e %Mo=0 %Mm=s
Di: @s=s V=sra-1 [0c=e Ou=r Ot=t Sh=1 Sm=0 Dr=0001 Ds=o De=n ];
{@s=e 0c= Ou=k Ds=n De= Sh=1 Sm=1 }
ДФЧ
Di: @s=s V=0 [0c= Ou=l Ot=t Sh=0 Sm=1 Dr=0100 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Di: @s=s V=x0 [0c=*sa Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0010 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds=n De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Di: @s=s V=ra0 [0c=e Ou=l Ot=t Sh=1 Sm=1 Dr=0001 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Di: @s=s V=0 [0c= Ou=k Ot=t Sh=1 Sm=1 Dr=0001 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Cacn: @s=e [0c= Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=2 Dr=0010 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Caco: @s=e @Ad=4 @Au=m [ 0c= Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=2 Dr=0010 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De=
Sm=}ДФЧ
Cacn: @s=e [0c= Ou=l Ot=t Sh=1 Sm=1 Dr=0100 Ds= De=n ];
{@s=e 0c= Ou=k Ds= De= Sh=1 Sm=0 } ДФЧ
Di: @s=s V=x2 [0c=*sa Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0010 Ds=a De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds=o De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Di: @s=e V=<d [0c=e Ou=l Ot=t Sh=1 Sm=0 Dr=0100 Ds=a De=n ];
{@s=e 0c= Ou=k Ds=n De=n Sh=0 Sm=0 }
ДФЧ
Cacn: @s=e [0c=*sa Ou=k Sh=1 Sm=0 Dr=0100 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Caco: @s=e @Ad=4 @Au=m [ 0c=*sa Ou=k Ot=t Sh=1 Sm=0 Dr=0100 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De=
Sh= Sm=}ДФЧ
Di: @s=s V=x3 [0c=*sa Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0010 Ds=a De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds=o De= Sh= Sm= }
ДФЧ

```

```
Di: @s=s V=sra-1 [0c=e Ou=r Ot=t Sh=0 Sm=1 Dr=0100 Ds=o De=n ];
{@s=e 0c= Ou=k Ds=n De=n Sh=0 Sm=0
} ДФЧ
Di: @s=s V=ra0 [0c=e Ou=l Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0100 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Di: @s=s V=0 [0c= Ou=k Ot=t Sh=1 Sm=1 Dr=0100 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Cacn: @s=e [0c= Ou=k Sh=1 Sm=2 Dr=1000 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Caco: @s=e @Ad=4 @Au=m [ 0c= Ou=k Ot=t Sh=1 Sm=2 Dr=1000 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Asi: %St=1 @s=s [0c=*sa Ou=k Ot=t Sm=0 Dr=0001 Ds=a De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds=o De= Sh= Sm= } ДФЧ
Apdi: V0=x4 [Sh=0] V1=x5 [Sh=0] V2=x6 [Sh=0];
Apdi: V0=x7 [Sh=0] V1=x8 [Sh=0] V2=x9 [Sh=0];
Apdi: V0=x10 [Sh=0] V1=x11 [Sh=0] V2=x12 [Sh=0];
.
Apdi: V0=x79 [Sh=0] V1=x80 [Sh=0] V2=x81 [Sh=0];
Apdi: V0=x82 [Sh=0];
Afi:
Di: @s=s V=x83 [0c=*sa Ou=k Ot=t Sh=0 Sm=0 Dr=0010 Ds=a De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds=n De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Di: @s=s V=0 [0c=n Ou=l Ot=t Sh=0 Sm=2 Dr=0010 Ds=n De=n ];
{@s=s 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Di: @s=s V=a [0c=*sa Ou=l Ot=t Sh=1 Sm=1 Dr=1000 Ds=a De=n ];
{@s=e 0c=-p Ou=k Ds=n De=n Sh=0 Sm=1
} ДФЧ
Caco: @s= @Ad= @Au=r[ 0c=n Ou= Ot=t Sh= Sm= Dr=1111 Ds=n De=n ];
{@s= 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= }
ДФЧ
Cacn: @s=e [0c=*sa Ou=k Sh=1 Sm=0 Dr=0100 Ds=n De=n ];
{@s=e 0c= Ou= Ds= De= Sh= Sm= } ДФЧ
Az:
```

Литература

1. Agerwala T., Arvind. Data flow systems // IEEE Computer, 1982. Vol. 15. No. 2. P. 10–13.
2. Arvind, Culler D. E. Data flow architectures // Ann. Rev. Comput. Sci., 1986. Vol. 1. P. 225–253.
3. Arvind, Iannucci R. A. A critique of multiprocessing von Neumann style // 10th ISCA Proceedings, 1983. P. 426–436.
4. Роджерс X. Теория рекурсивных функций и эффективная вычислимость / Пер. с англ. — М.: Мир, 1972. С. 17–52. (Rogers, H., Jr. Theory of recursive functions and effective computability. — McGraw Book Co., 1967.)
5. Филин А. В. Особенности обработки сигналов на процессоре с рекуррентно-динамической парадигмой вычислений // Системы и средства информатики, 2001. Вып. 11. С. 262–282.

6. Степченков Ю. А., Петрухин В. С. Особенности гибридного варианта реализации на ПЛИС рекуррентного обработчика сигналов // Системы и средства информатики, 2008. Доп. вып. С. 118–129.
 7. Филин А. В. Динамический подход к выбору архитектуры вычислительных устройств обработки сигналов // Системы и средства информатики, 2001. Вып. 11. С. 247–261.
 8. Степченков Д. Ю. Программа РЕКУРРЕНТ — инструмент анализа и синтеза целочисленных преобразователей // Системы и средства информатики, 2005. Вып. 15. С. 397–407.
 9. Зеленов Р. А., Степченков Ю. А., Волчек В. Н., Петрухин В. С., Прокофьев А. А., Хилько Д. В. Система капсулного программирования и отладки (СКАТ). Версия 2. Свид. № 2013610198, 2013.
 10. Хилько Д. В., Степченков Ю. А. Средства имитационного моделирования потоковой рекуррентной архитектуры (СИМПРА). Свид. № 2013610199, 2013.
 11. Хилько Д. В., Степченков Ю. А., Шнейдер А. Ю. Программа обработки результатов моделирования потоковой рекуррентной архитектуры (ПРАПОР). Свид. № 2013610199, 2013.
 12. Зеленов Р. А., Степченков Ю. А., Волчек В. Н., Хилько Д. В., Шнейдер Ю. А., Прокофьев А. А. Система капсулного программирования и отладки // Системы и средства информатики, 2010. Вып. 20. № 1. С. 24–30.
 13. Хилько Д. В., Степченков Ю. А. Модель потоковой архитектуры на примере распознавания слов // Системы и средства информатики, 2012. Т. 22. № 2. С. 48–57.
-
-

THEORETICAL ASPECTS OF PROGRAMMING METHODOLOGY DEVELOPMENT FOR RECURRENT ARCHITECTURE

D. Khilko¹ and Yu. Stepchenkov²

¹IPI RAN, Moscow, Russia, dhilko@yandex.ru

²IPI RAN, Moscow, Russia, YStepchenkov@ipiran.ru

Abstract: The paper is dedicated to a new recurrent dataflow computational paradigm and the methodology intended for solving and programming of corresponding problems. These problems are meant to be solved with the computational device that is being developed, which architecture is based on ideas and principles of proposed paradigm. Also, its realization in multicore dataflow recurrent architecture is suggested. Recurrent organization of computational process is theoretically proven to converge by using terms and theorems of the recursive functions theory. The software engineering problem for this architecture is described and its solution — recurrent dataflow programming methodology — is suggested. This methodology is demonstrated on a problem of isolated words recognition with device based on a new architecture. Also, one of the basic algorithms of the mentioned problem — band-pass filtering — is realized by using the proposed methodology step by step.

Keywords: computational paradigm; programming methodology recursiveness; dataflow architecture

DOI: 10.14357/08696527130210

Acknowledgments

The work was partially supported by the Program for Basic Research of the Department of Information Technologies and Computing Systems of the Russian Academy of Sciences in 2013 (Project 1.5) and the Presidium of the Russian Academy of Sciences (Project 16).

References

1. Agerwala, T., and Arvind. 1982. Data flow systems. *IEEE Computer* 15:10–13.
2. Arvind, and D. E. Culler. 1986. Data flow architectures. *Ann. Rev. Comput. Sci.* 1:225–53.
3. Arvind, and R. A. Iannucci. 1983. A critique of multiprocessing von Neumann style. *10th ISCA Proceedings*. 426–36.
4. Rogers, H., Jr. 1967. *Theory of recursive functions and effective computability*. McGraw Book Co. 17–52.
5. Filin, A. V. 2001. Osobennosti obrabotki signalov na processore s rekurrentno-dinamicheskoy paradigmoj vychislenij [Signal processing features using processor based on dynamic recurrent computational paradigm]. *Systems and Means of Informatics* 11:262–82.
6. Stepchenkov, Yu. A., and V. S. Petruhin. 2008. Osobennosti gibrnidnogo varianta realizacii na PLIS rekurrentnogo obrabotchika signalov [The hybrid variant FPGA realization features of recurrent signal processor]. *Systems and Means of Informatics* Add.:118–29.
7. Filin, A. V. 2001. Dinamicheskij podhod k vyboru arhitektury vychislitel'nyh ustrojstv obrabotki signalov [A dynamic approach to computing architecture selection of signal processing devices]. *Systems and Means of Informatics* 11:247–61.
8. Stepchenkov, D. Yu. 2005. Programma REKURRENT — instrument analiza i sinteza celochislennyh preobrazovatelej [REKURRENT program as a tool for analysis and synthesis of integer converters]. *Systems and Means of Informatics* 15:397–407.
9. Zelenov, R. A., Yu. A. Stepchenkov, V. N. Volchek, V. S. Petruhin, A. A. Prokof'ev, and D. V. Khilko. 2013. Sistema kapsul'nogo programmirovaniya i otladki (SKAT). Versija 2 [The system of capsule programming and debugging (SKAT). Ver. 2]. Certificate on official registration of the computer program No. 2013610198.
10. Khilko, D. V., and Yu. A. Stepchenkov. 2013. Sredstva imitacionnogo modelirovaniya potokovoj rekurrentnoj arhitektury (SIMPRA) [Imitational modeling tools for recurrent dataflow architecture (SIMPRA)]. Certificate on official registration of the computer program No. 2013610199.

11. *Khilko, D. V., Yu. A. Stepchenkov, and A. Ju. Shneyder.* 2013. Programma obrabotki rezul'tatov modelirovaniya potokovoj rekurrentnoj arhitektury (PRAPOR) [The program processing the simulation results of recurrent dataflow architecture (PRAPOR)]. Certificate on official registration of the computer program No. 2013610199.
12. *Zelenov, R. A., Yu. A. Stepchenkov, V. N. Volchek, D. V. Hilko, A. Ju. Shneyder, and A. A. Prokofyev.* 2010. Sistema kapsul'nogo programmirovaniya i otladki [System of capsule programming and debugging]. *Systems and Means of Informatics* 20(1):24–30.
13. *Khilko, D. V., and Yu. A. Stepchenkov.* 2012. Model' potokovoj arhitektury na primere raspoznavatelja slov [Dataflow architecture model and its usage with a word recognizer program as an example]. *Systems and Means of Informatics* 22(2):48–57.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

А. А. Зацаринный¹, Н. Г. Буromенский², А. И. Гаранин³

Аннотация: Приведены основные понятия применительно к объекту исследования. Показано, что формирование системы технического обеспечения (СТО) информационно-телекоммуникационных сетей (ИТС) является комплексной системотехнической проблемой, охватывающей весьма широкий круг взаимосвязанных процессов на всех этапах жизненного цикла ИТС. Сформулированы основные из них примерно в той последовательности, в которой они должны решаться в ходе создания СТО. Последовательно излагаются этапы проведения исследований по созданию СТО, задачи и получаемые при этом результаты. Данна аналитическая модель функционирования СТО и общая схема метода формирования СТО. Показано, что математическое описание процессов функционирования сложных иерархических систем, подобных системе СТО ИТС, — чрезвычайно сложная и серьезная проблема. Решать ее предлагается в два этапа. На первом этапе описаниедается в форме абстрактной математической формализации процесса функционирования с использованием теории множеств (отношений на множестве или между множествами и функциональных отображений). На втором этапе выделяются отдельные наиболее важные процессы системы, такие как ремонт, техническое обслуживание, снабжение новыми техническими средствами (ТС), ЗИП (запасные части, инструменты, принадлежности), и осуществляется переход от интуитивных понятий к детализированному математическому описанию с использованием аналитико-вероятностных моделей. Предложена примерная структурная схема СТО. Обоснован базовый состав нормативного обеспечения СТО ИТС.

Ключевые слова: система; информационно-телекоммуникационная система; система технического обеспечения; исследование; проектирование; разработка; эксплуатация; эффективность; моделирование; структура

DOI: 10.14357/08696527130211

1 Введение

В настоящее время идет процесс широкомасштабного насыщения ИТС современными сложными ТС, к которым относятся прежде всего средства передачи,

¹Институт проблем информатики Российской академии наук, azatsarinny@ipiran.ru

²Филиал ФГКУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, г. Мытищи, buromenskii@mail.ru

³Институт проблем информатики Российской академии наук, algaranin@mail.ru

приема, обработки и отображения информации. Вместе с тем известно, что чем сложнее ТС, тем оно менее надежно и, как следствие, подвержено частым отказам. Однако причиной низкой надежности ИТС и ее элементов часто является не только их сложность, но и неполное обеспечение условий эксплуатации (УЭ) ИТС, низкая автоматизация процессов управления системой технического обеспечения ИТС, слабая подготовка обслуживающего персонала.

В связи с этим одним из направлений поддержания ИТС в постоянной готовности является создание эффективной СТО. Под СТО ИТС будем понимать комплекс мероприятий по укомплектованию элементов ИТС техническими средствами, поддержание их в постоянной готовности к применению по назначению и своевременному восстановлению отказавших элементов.

Необходимо отметить, что работы по проблеме разработки СТО практически отсутствуют. Причиной этого положения являются такие особенности СТО, как ее малосерийность и уникальность. И в то же время значительное число работ посвящено методам оценки надежности сетей связи [1–4] и управлению эффективностью процесса технической эксплуатации отдельных видов техники [5, 6].

Данная работа посвящена разработке методологических основ формирования СТО ИТС и является дальнейшим развитием идей и результатов, изложенных в [7]. Данна общая последовательность работ при проведении исследований, проектировании, разработке и эксплуатации. Данна аналитическая и общая модель формирования СТО ИТС. При разработке методологических основ формирования СТО ИТС использованы основные положения, термины и определения, приведенные в нормативных документах [8–11].

2 Основное содержание исследований при разработке системы технического обеспечения информационно-телекоммуникационных сетей

Согласно [8], весь период существования образца техники именуется процессом его жизненного цикла. Первым процессом жизненного цикла являются исследования. Исследования по созданию СТО с целью большей конкретизации целевых задач разделим на три этапа.

В ходе **первого этапа** исследования должны быть решены следующие вопросы:

- анализ проблем создания СТО;
- описание объекта исследования;
- определение структуры СТО;
- разработка требований к системе;
- формулировка критерия эффективности функционирования системы.

Целью **второго этапа** является анализ условий применения СТО.

Содержание задач, решаемых на этом этапе, состоит в том, что вся совокупность элементов и процессов, имеющих отношение к поставленной цели, разбивается на следующие группы:

- собственно СТО;
- надсистема — информационно-телекоммуникационная система;
- внешняя среда.

Результатом этого этапа является определение состава и уровней факторов, воздействующих на элементы ИТС, элементы системы СТО и оценка последствий такого воздействия.

Формально УЭ СТО можно определить как «все, что не СТО», но прямо или косвенно оказывает прямое воздействие на выполнение ею своих задач.

Из числа параметров СТО, получаемых в ходе выполнения этого этапа исследований, можно выделить сравнительно небольшую, но очень важную группу параметров, таких как прогнозируемые потоки отказов элементов ИТС, распределение элементов ИТС по видам отказов, требования к среднему времени восстановления элементов ИТС. Эти характеристики будем называть внешними характеристиками, а этап их выбора и обоснования в литературе называется внешним проектированием [12].

Последовательность работ при внешнем проектировании, как правило, такая:

- (1) разработка моделей УЭ СТО;
- (2) выбор критерия эффективности СТО;
- (3) анализ зависимости критерия эффективности от УЭ;
- (4) оценка потоков отказов элементов СТО;
- (5) разработка методов ремонта;
- (6) разработка требований к ТС восстановления элементов ИТС;
- (7) выбор рациональных вариантов организации СТО.

Следует отметить, что эффективность СТО ИТС во многом зависит от применяемых видов ремонта и ТС восстановления отказавших элементов. При этом в ходе их разработки целесообразно использовать опыт создания СТО военной связи и автоматизированных средств управления [13], а также ремонта радиоэлектронного вооружения США [14].

Информационную основу внешнего проектирования СТО применительно к УЭ составляют данные, включающие:

- прогнозируемые УЭ;
- организационно-штатную структуру элементов ИТС;

- требования к укомплектованности элементов ИТС;
- классификацию ТС по видам отказов [15].

На **третьем этапе** производится разработка методов моделирования СТО.

Отметим, что математическое описание процессов функционирования иерархических систем, подобных системе СТО ИТС, — чрезвычайно сложная и серьезная проблема. В настоящее время пока еще не существует единого математического аппарата, который бы позволил решить проблему описания функционирования сложных систем в полной мере, с достаточной строгостью и обоснованностью.

Поэтому решение задачи моделирования СТО ИТС выполним в следующей последовательности.

Сначала дадим описание процесса функционирования СТО ИТС в виде абстрактной математической модели с использованием теории множеств (отношений на множестве или между множествами, функциональных отображений и т. д.).

Далее выделим отдельные процессы системы (например, ремонт, техническое обслуживание, снабжение ЗИП и т. д.) и осуществим переход от интуитивных понятий к детализированному математическому описанию с использованием общих аналитических [16], вероятностных и физических моделей. Последние применяют для выявления конкретных технических причин, вызывающих отказы ТС. Методические основы разработки физической модели при радиационном воздействии на радиоэлектронные системы изложены в работе [17], а особенности восстановления техники связи при ее радиационном заражении показаны на примере ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС [18].

3 Основное содержание работ при проектировании и разработке системы технического обеспечения

Общим результатом исследований должно стать тактико-техническое задание на проектирование и разработку СТО ИТС, а также отдельных ее элементов. Учитывая сложность создания СТО при ее проектировании и разработке в рамках опытно-конструкторских работ (ОКР), как правило, определяется головная организация и исполнители составных частей. При этом головная организация и исполнители составных частей должны планировать и управлять проектированием и разработкой системы в соответствии с требованиями нормативных документов [19, 20].

Анализ задач проектирования и разработки таких сложных изделий, как СТО, необходимо проводить с использованием методов системного анализа. В соответствии с общей методологией исследований по разработке сложных систем можно выделить три основные группы факторов, определяющих выбор проектных решений:

- (1) условия эксплуатации (взаимодействие с внешней средой);
- (2) внутреннее строение (структура);
- (3) общесистемные, интегральные свойства.

Важнейшими этапами проектирования и разработки являются верификация и валидация проекта системы. Верификация предполагает разработку и осуществление контроля или другой деятельности, необходимой для подтверждения соответствия разработанной системы СТО и (или) ее элементов требованиям заказчика. При этом деятельность по подтверждению требований, заданных в техническом задании (ТЗ) на ОКР, может подразумевать:

- осуществление альтернативных расчетов;
- сравнение спецификации на новый проект с аналогичной документацией на апробированный проект;
- проведение испытаний и демонстраций;
- анализ документов до их выпуска.

Валидация определяет подтверждение посредством объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретных УЭ СТО, выполнены.

С учетом сложности разрабатываемой системы и элементов УЭ при валидации могут быть реальными или смоделированными. При этом по мере увеличения сложности растет доля смоделированных как элементов, так и УЭ. Моделируются прежде всего отказы элементов ИТС, восстановление работоспособности, измерение характеристик ТС, снабжение ЗИП.

Важно отметить и следующие методические аспекты создания СТО ИТС:

1. При проектировании, изготовлении ТС, ремонте и комплектовании ЗИП должны быть установлены правила применения изделий электронной техники и электротехники иностранного производства в ТС ИТС и ТС СТО, а также закупки и оценки пригодности ТС. В качестве исходных при разработке таких правил можно рекомендовать работы [21–23].
2. Система технического обеспечения является частью ИТС. Поэтому в ТЗ на создание ИТС заказчиком одновременно задаются требования и по техническому обеспечению. Система технического обеспечения должна разрабатываться как составная часть ИТС и на всех этапах разработки (эскизное, техническое, рабочее проектирование) подвергаться всем видам испытаний совместно с элементами ИТС как на стенде главного конструктора, так и на объектах заказчика.

4 Методические рекомендации по построению системы технического обеспечения информационно-телекоммуникационных сетей

Система СТО, как и любая сложная система, должна быть наделена вполне определенной структурой, под которой будем понимать совокупность элементов (подсистем) и множество устойчивых связей между ними. Особенностью формирования структуры СТО является учет территориальной распределенности ИТС. С этой точки зрения структуру СТО целесообразно разделить на относительно самостоятельные в функциональном отношении части (подсистемы). Подсистемы могут иметь региональный характер, однако строиться на единых для СТО принципах функционирования и управления. Рекомендуемая типовая структура СТО приведена на рис. 1.

Дадим небольшие пояснения структуры СТО. Выделение в ее структуре системы O_0 высшего уровня обусловлено тем, что используемые силы и средства являются лишь частью сил и средств, участвующих в организации функционирования ИТС. При этом система O_0 выполняет часть задач по техническому обеспечению в интересах нижнего звена управления.

Подсистема O_1 обеспечивает управление системой, производит сбор информации о состоянии элементов ИТС, формирует план распределения средств технического обеспечения и доводит вытекающие из него задачи до подсистем O_2 и O_3 .

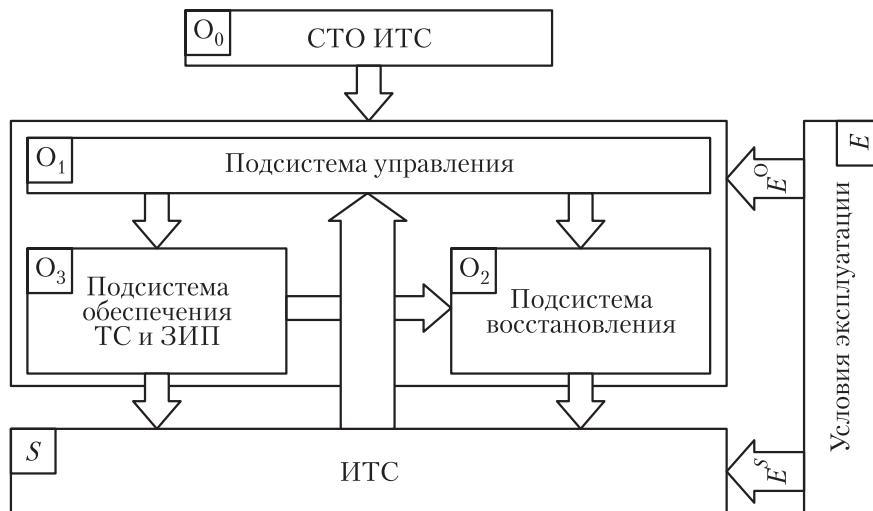


Рис. 1 Типовая структура СТО ИТС

Подсистема O_2 включает группировку сил и средств, привлекаемых к восстановлению работоспособности телекоммуникационной системы (ТКС).

Подсистема O_3 выполняет функции эвакуации ТС, требующих сложных видов ремонта, обеспечение ЗИП и исправными ТС.

Система E создает ограничения на эффективность функционирования СТО.

Приведенная на рис. 1 структурная схема СТО является в общем случае типовой для любого элемента подсистемы СТО, а поэтому правомерно многоуровневое представление модели ее функционирования.

На рис. 2 приведена схема функционирования СТО ИТС, построенная по принципу иерархии, т. е. отражающая соподчиненность или согласованный по подчиненности порядок подсистем.

Рассмотрим вопрос о моделировании функционирования СТО ИТС. При этом будем исходить из того положения, что функционирование СТО в первую очередь связано с распределением ресурсов на техническое обеспечение ее элементов.

В общем виде выработка решения о распределении ресурсов СТО может быть представлена отображением

$$Q_1 : R \times P \times S \times T \times Z \rightarrow V, \quad (1)$$

где $r \in R$ — множество ресурсов СТО; $p \in P$ — множество объектов обеспечения; $s \in S$ — множество характеристик УЭ СТО ИТС; $t \in T$ — множество моментов времени; $z \in Z$ — множество целей, которые должны быть достигнуты в ходе технического обеспечения; $v \in V$ — множество решений о распределении ресурсов СТО по элементам ИТС.

Отображение (1) представляет собой алгоритм, который каждому набору условий принятия решений ($r \in R$, $p \in P$, $s \in S$, $z \in Z$, $t \in T$) ставит в соответствие некоторое решение $v \in V$ из множества допустимых. Реализация этого решения приводит к некоторому результату, прогнозирование которого на этапе выработки решения может быть представлено отображением

$$Q_2 : R \times P \times S \times T \times V \rightarrow F, \quad (2)$$

где F — множество возможных результатов технического обеспечения ИТС.

Отображение (2) представляет собой модель прогнозирования результатов использования ресурсов СТО $r \in R$ для технического обеспечения элементов ИТС $p \in P$ в моменты времени $t \in T$ в соответствии с решением $v \in V$ в УЭ $s \in S$.

Качество решения определяется его конечным результатом при использовании имеющихся возможностей СТО.

Оценка качества технического обеспечения может быть представлена отображением

$$Q_3 : R \times P \times S \times T \times F \rightarrow E,$$

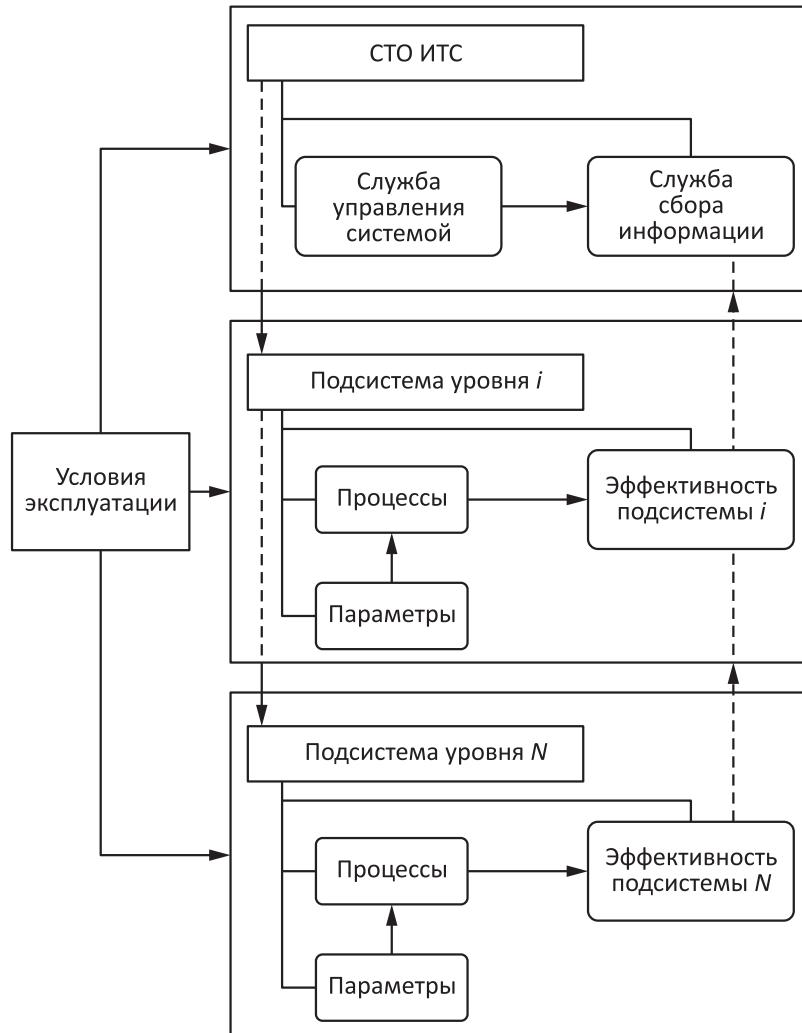


Рис. 2 Многоуровневое представление модели функционирования СТО ИТС

где E — упорядоченное по степени предпочтения множество оценок достижения поставленных целей $z \in Z$.

Решение ищется при условии, что цели, включенные в отображение (1), являются измеримыми.

В общем случае СТО ИТС является управляемой системой, а поэтому дополним приведенную выше модель (1) моделью процесса управления. Воспользуемся для этого результатами работы [24].

Примем для описания в качестве базовой иерархическую структуру с двумя уровнями управления. Особенностью такой структуры является сочетание централизованного управления системой с локальным управлением подсистемами с разделением функций и алгоритма управления, что полностью соответствует рассматриваемому случаю.

Введем следующие обозначения:

$m \in M$ — множество управляющих сигналов;

$\omega \in \Omega$ — множество внешних воздействий;

$l \in L$ — множество информационных сигналов 1-го уровня;

$k \in K$ — множество информационных сигналов 2-го уровня;

$u \in U$ — множество координирующих сигналов;

$y \in Y$ — множество выходных сигналов.

Тогда управляемый процесс G на языке теории множеств можно задать отображением

$$G : M \times \Omega \rightarrow Y,$$

где $M = M_1 \times M_2 \times \dots \times M_i \times \dots \times M_n$, а M_i — множество управляющих сигналов для i -го управляющего органа [$m_i \in M_i$, $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$].

Модель функционирования i -й подсистемы управления ($i = 1, 2, \dots, n$) реализуется в виде отображения

$$C_i : U \times L_i \rightarrow M_i; \quad L = L_1 \times L_2 \times \dots \times L_i \times \dots \times L_n.$$

Модель службы управления системой реализуется в виде отображения

$$C_0 : K \rightarrow U.$$

Соответственно, информационные обратные связи 1-го и 2-го уровней управления реализуются отображениями

$$f_i : M_i \times \Omega \times Y \rightarrow L_i, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$f_0 : U \times L \times M \rightarrow K.$$

Дадим формализованное описание УЭ СТО ИТС.

Отметим, что эксплуатация СТО происходит под влиянием случайных факторов, включающих воздействие пониженных и повышенных температур, вибрационные и ударные воздействия, пыль, а также возможно наличие неблагоприятных внешних воздействий (НВ): импульсного электромагнитного излучения, сейсмического удара, стихийных сил природы и других.

Введем следующие обозначения:

- $s_{\text{ВФ}} \in S_{\text{ВФ}}$ — множество внешних воздействующих факторов на элементы ИТС;
- $s_{\text{НВ}} \in S_{\text{НВ}}$ — множество неблагоприятных воздействий.

Тогда $S = S_{\text{ВФ}} \cup S_{\text{НВ}}$ — условия эксплуатации СТО ИТС.

Произведение $S = s_{\text{ВФ}}^1 \times s_{\text{ВФ}}^2 \times \dots \times s_{\text{ВФ}}^n \times s_{\text{НВ}}^1 \times s_{\text{НВ}}^2 \times \dots \times s_{\text{НВ}}^m$ будем называть общим пространством воздействий на элементы ИТС, на устойчивость к которым должна разрабатываться аппаратура, приборы и оборудование ИТС.

На рис. 3 представлен общий методический подход к формированию СТО ИТС, который может рассматриваться как дополнение к работам, изложенным выше.

Для обеспечения функционирования СТО ИТС должна быть разработана система нормативных документов, регламентирующих:

- цели, задачи и содержание работ, выполняемых в рамках СТО ИТС (подсистемы);
- требования к времени восстановления, сроку службы, сроку хранения и условиям эксплуатации ТС ИТС и СТО;
- состав и оснащенность СТО ремонтными мастерскими;
- структуру и состав типовых комплектов ЗИП.

При этом статус документов, включающих изложенные выше вопросы, может быть различный, например:

- «Положение о техническом обеспечении эксплуатации информационно-телекоммуникационных сетей»;
- «Регламент проведения ремонта и обслуживания технических средств»;
- «Положение об авторском надзоре над эффективностью функционирования системы технического обеспечения»;
- «Программа оснащения системы технического обеспечения ремонтными мастерскими» и т. д.

5 Заключение

В работе излагается последовательность работ по созданию СТО ИТС с учетом этапов жизненного цикла продукции. Рассмотрены основные вопросы, которые должны быть проработаны в ходе исследований, проектирования и эксплуатации. Выполнено моделирование функционирования СТО, дан вариант структуры СТО, приведено многоуровневое представление и общий методический подход к формированию СТО ИТС. Даны рекомендации по составу нормативного обеспечения функционирования СТО.

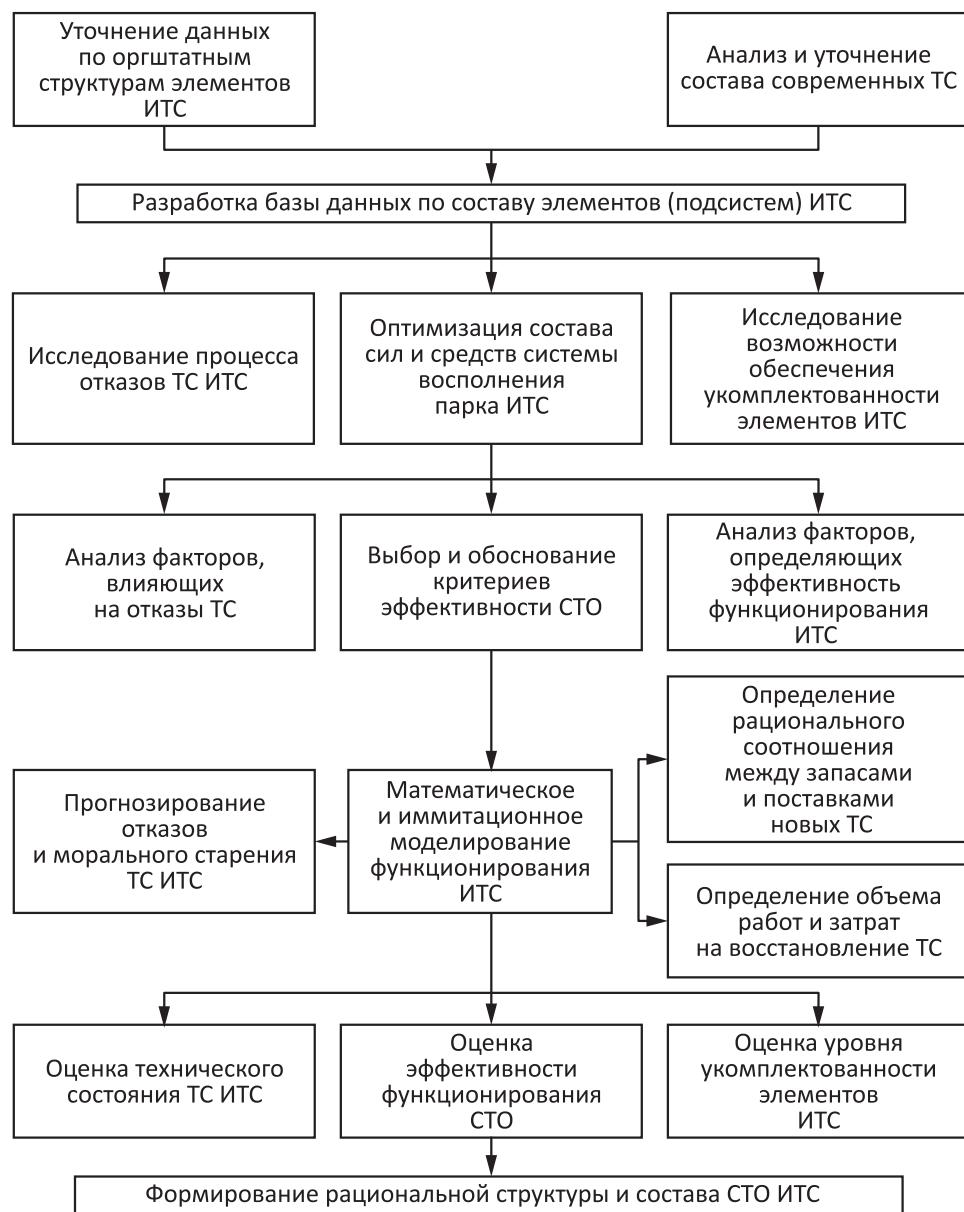


Рис. 3 Общий методический подход к формированию СТО ИТС

Литература

1. Дудник Б. Я., Овчаренко В. Ф., Орлов В. К. и др. Надежность и живучесть систем связи. — М.: Радио и связь, 1984. 216 с.
2. Дружинин Г. В. Об оценке надежности сетей связи // Надежность и контроль качества / Под ред. Б. В. Гнеденко. — М.: Изд-во стандартов, 1984. Вып. 9. С. 10–16.
3. Филин Б. П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. — М.: Радио и связь, 1988. 204 с.
4. Надежность и живучесть радиоэлектронных систем. — Л.: ЦНИИ «Румб», 1990. 123 с.
5. Ицкович А. А. Построение системы управления эффективностью процесса технической эксплуатации самолетов // Вопросы обеспечения эффективности технической эксплуатации летательных аппаратов. — М.: МИИГА, 1984. С. 9–19.
6. Ицкович А. А. Управление эффективностью процесса технической эксплуатации машин. — М.: Знание, 1986. 106 с.
7. Буроменский Н. Г., Минцкер В. М. Методологические вопросы эффективности мероприятий технического обеспечения войск // Военная мысль, 1993. № 8. С. 49–55.
8. ГОСТ РВ 15.004-2004. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Стадии жизненного цикла изделий и материалов. — М.: Госстандарт России, 2004. 23 с.
9. Буроменский Н. Г. РД В 319.015-2006. Система добровольной сертификации РЭА, ЭРИ и материалов военного назначения «Военэлектронсерт». Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические военного назначения. Требования к системе менеджмента качества. — Мытищи: 22 ЦНИИ МО РФ, 2006.
10. ГОСТ ISO 9000-2011. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. — М.: Стандартинформ, 2012. 32 с.
11. ГОСТ РВ 0015-002-2012. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Системы менеджмента качества. Общие требования. — М.: Стандартинформ, 2012. 42 с.
12. Строгалев В. П., Толкачева И. О., Чуев В. Ю. Внешнее проектирование технических систем. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1995. 72 с.
13. Руководство по техническому обеспечению связи и автоматизированных средств управления. — Мытищи: 16 ЦНИИ МО РФ, 1987. 11 с.
14. Буроменский Н. Г., Минцкер В. М. Ремонт радиоэлектронного вооружения в армии США // Техника и вооружение, 1991. № 6. С. 38–39.
15. Буроменский Н. Г., Кудашев Г. Н. Критерии предельного состояния при определении долговечности военной техники связи. — Мытищи: 16 ЦНИИ МО РФ, НТС № 3, 1982.
16. Зацаринный А. А., Гаранин А. И., Козлов С. В., Кондрашев В. А. Особенности расчета комплектов ЗИП в автоматизированных информационных системах в защищенном исполнении // Системы и средства информатики, 2013. Т. 23. № 1. С. 113–131.

17. *Буроменский Н. Г.* Методические основы построения модели «поражающее действие – стойкость» // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру, 2012. Вып. 4. С. 53–57.
 18. *Буроменский Н. Г.* Войска связи свою задачу выполнили // Москва — Чернобылю. Кн. 1. — М.: Воениздат, 1998. С. 290–304.
 19. ГОСТ РВ 15.203-2001. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Порядок выполнения опытно-конструкторских работ по созданию изделий и их составных частей. Основные положения. — М.: Госстандарт России, 2001. 117 с.
 20. ГОСТ РВ 15.208-2005. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Единый сквозной план создания образца (системы, комплекса) и его (их) составных частей. Общие положения. — М.: Стандартинформ, 2005. 21 с.
 21. *Зацаринный А. А., Буроменский Н. Г.* Сертификация систем и средств связи военного назначения // Информационно-технический бюллетень НС ВС РФ, 1995. № 14. С. 8–12.
 22. РД В 319.35.04.00-2001. Положение о порядке применения электронных модулей, комплектующих изделий, электрорадиоизделий и конструктивных материалов иностранного производства в системах, комплексах и образцах вооружения и военной техники и их составных частях. — Мытищи: 22 ЦНИИ МО РФ, 2001.
 23. *Зацаринный А. А., Гаранин А. И., Ионенков Ю. С.* Методический подход к обоснованию требований к надежности информационно-телекоммуникационных сетей // Системы и средства информатики. — М.: ИПИ РАН, 2010. Вып. 20. № 3. С. 157–173.
 24. *Денисов А. А., Колесников Д. Н.* Теория больших систем управления. — Л.: Энергоиздат, 1982. 288 с.
-

METHODOLOGICAL QUESTIONS OF FORMATION OF THE SYSTEM TECHNICAL SUPPORT OF INFORMATION-TELECOMMUNICATION NETWORKS

A. A. Zatsarinny¹, N. G. Buromenskit², and A. I. Garanin³

¹IPI RAN, Moscow, Russia, azatsarinny@ipiran.ru

²Branch of the Federal State Government Institution “46 Central Reserach Institute of Defence Ministry of Russia,” Mytishchi, Russia, buromenskii@mail.ru

³IPI RAN, Moscow, Russia, algaranin@mail.ru

Abstract: The basic concepts in relation to the object of research are described. It is shown that the formation of the system of technical support (STS) of information and telecommunication network (ITN) is an integrated system problem, acquiring

preconceptual covering of a very wide range of interrelated processes at all stages of the life cycle of ITN. Basic of them are formulated almost in the same sequence as they should be resolved in the course of creation of the STS. Consistently, the stages of research to create an STS, the tasks, and obtained results are described. The analytical model of the functioning of the STS and general scheme of the method of forming the STS are given. It is shown that the mathematical description of the processes of functioning of complex hierarchical systems, such as STS of ITN, is extremely complex and serious problem. Its solution is suggested in two stages: at the first stage, the description is given in the form of abstract mathematical formalization of the process of functioning with the use of set theory (relations on the set between sets and functional maps), and at the second stage, the most important processes in the system, such as repair, maintenance, supply of new technical means, spare parts tools and accessories are distinguished and transition from intuitive concepts to detailed mathematical description of using analytical and probabilistic models is realized. An approximate structural scheme of the STS is suggested. Basic content of the regulatory support of the STS of ITN is justified.

Keywords: system; information and telecommunications system; the system of technical support; research; design; development; operation; effectiveness; modeling; structure

DOI: 10.14357/08696527130211

References

1. Dudnik, B. Ya., V. F. Ovcharenko, V. K. Orlov, et al. 1984. *Nadezhnost' i zhivuchest' sistem svyazi* [Reliability and survivability of communication systems]. M.: Radio and Communications. 216 p.
2. Druzhinin, G. V. 1984. Ob ocenke nadezhnosti setej svyazi [On the assessment of reliability of communication networks]. *Nadezhnost' i kontrol' kachestva* [Reliability and quality control]. Ed. B. V. Gnedenko. M.: Publishing House of Standards. 9:10–16.
3. Filin, B. P. 1988. *Metody analiza strukturnoj nadezhnosti setej svyazi* [Methods of analysis of structural reliability of communication networks]. M.: Radio and Communications. 204 p.
4. *Nadezhnost' i zhivuchest' radioelektronnyh sistem*. [Reliability and survivability of electronic systems]. 1990. Leningrad: Central Research Institute "RUMB." 123 p.
5. Ickovich, A. A. 1984. Postroenie sistemy upravleniya jeffektivnost'yu processa texnicheskoy jekspluatacii samoletov [Building efficiency management system of technical exploitation of aircrafts]. *Voprosy obespecheniya jeffektivnosti texnicheskoy jekspluatacii letatel'nyx apparatov* [The issues of ensuring the effectiveness of the technical exploitation of aircrafts]. M.: MIIGA [MIECA]. 9–19.
6. Ickovich, A. A. 1986. *Upravlenie jeffektivnost'yu processa texnicheskoy jekspluatacii mashin* [Performance management process of technical operation of vehicles]. M.: Znanie. 106 p.

7. Buromenskii, N. G., and V. M. Mincker. 1993. Metodologicheskie voprosy ocenki jeffektivnosti meropriyatij texnicheskogo obespecheniya vojsk [Methodological issues of assessing the effectiveness of activities of the technical support for the troops] *Voennaya Mysl' [Military Thought]* 8:49–55.
8. GOST RV 15.004-2004. 2004. Sistema razrabotki i postanovki produkci na proizvodstvo. Voennaya texnika. Stadii zhiznennogo cikla izdelij i materialov. [Systems of development and launch of new products. Military equipment. Stages of the life cycle of products and materials]. M.: Russian State Standards Publs. 23 p.
9. Buromenskii, N. G. 2006. RD V 319.015-2006. Sistema dobrovol'noj sertifikacii RJEJA, JERI i materialov voennogo naznacheniya “Voenjelektronsert.” Izdeliya jelektrotronnoj texniki, kvantovojoj elektroniki i elektrotexnicheskie voennogo naznacheniya. Trebovaniya k sisteme menedzhmenta kachestva. [System of voluntary certification of REE, ERC, and materials for military purposes “Voelectroncert”]. Mytishchi: 22 Central Research Institute of Defence Ministry of Russia.
10. GOST ISO 9000-2011. 2012. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovny'e polozheniya i slovar'. [Quality management systems. Fundamentals and vocabulary]. M.: Standardinform Publs. 32 p.
11. GOST RV 0015-002-2012. 2012. Sistema razrabotki i postanovki produkci na proizvodstvo. Voennaya texnika. Sistemy menedzhmenta kachestva. Obshchie trebovaniya. [Systems of development and launch of new products. Military equipment. Quality management systems. General requirements]. M.: Standardinform Publs. 42 p.
12. Strogalev, V. P., I. O. Tolkacheva, and V. Yu. Chuev. 1995. *Vneshnee proektirovanie texnicheskix system* [The external design of technical systems]. M.: Publishing House of the Moscow State University named N. E. Bauman. 72 p.
13. 16 CNIII MO RF [16 Central Research Institute of Defense Ministry of Russia]. 1987. Rukovodstvo po texnicheskemu obespecheniju svyazi i avtomatizirovannyx sredstv upravleniya [Guide to technical communication and automated management tools]. Mytishchi. 11 p.
14. Buromenskii, N. G., and V. M. Mincker. 1991. Remont radioelektronnogo vooruzheniya v armii SShA [Repair of electronic weapons in the U.S. army]. *Texnika i Vooruzhenie [Equipment and Arms]* 6:38–39.
15. Buromenskii, N. G., and G. N. Kudashev. 1982. Kriterii predel'nogo sostoyaniya pri opredelenii dolgovechnosti voennoj texniki svyazi [Limiting state criteria in determining the durability of military communications]. Scientific and technical collection ser. Mytishchi: 16 Central Research Institute of Defense Ministry of Russia. 3.
16. Zatsarinny, A. A., A. I. Garanin, S. V. Kozlov, and V. A. Kondrashev. 2013. Osnobnosti rassheta komplektov ZIP v avtomatizirovannyx informacionnyx sistemax v zashhishennom ispolnenii [About some particularities of spare parts sets calculation for secured information systems]. *Systems and Means of Informatics* 23(1):113–31.
17. Buromenskii, N. G. 2012. Metodicheskie osnovy postroeniya modeli “porazhayushhee dejstvie – stojkost’” [Methodological bases of construction of model “striking action – resistance”]. *Voprosy atomnoj nauki i texniki. Fizika radiacionnogo vozdeistviya na radioelectronnuyu apparaturu* ser. [Issues of atomic science and technology. Phisics of radiation exposure to radioelectronic equipment ser.] 4:53–57.

18. Buromenskii, N. G. 1998. Vojska svyazi svoyu zadachu vypolnili [Signal corps completed their task]. *Moskva — Chernobilyu. [Moscow to Chernobyl]*. M.: Voenizdat. I:290–304.
19. GOST RV 15.203-2001. 2001. Sistema razrabotki i postanovki produkci na proizvodstvo. Voennaya texnika. Poryadok vypolneniya opytno-konstruktorskix rabot po sozdaniyu izdelij i ix sostavnnyx chastej. Osnovnye polozheniya [State Military Standard of Russian Federation. How to perform development work to create products and their components. Fundamentals]. M.: Russian State Standards Publs. 117 p.
20. GOST RV 15.208-2005. 2005. Sistema razrabotki i postanovki produkci na proizvodstvo. Voennaya texnika. Edinyj skvoznoj plan sozdaniya obrazca (sistemy, kompleksa) i ego (ix) sostavnnyx chastej. Obshchie polozheniya [System of development and launch of new products. Military equipment. Through and single plan to create a sample (system, complex) and their components. General provisions]. M.: Standardinform Publs. 21 p.
21. Zatsarinnyy, A. A., and N. G. Buromenskii. 1995. Sertifikaciya sistem i sredstv svyazi voennogo naznacheniya [Certification of communication means and systems for military use]. *Informacionno-tekhnicheskij byulleten' NS VS RF [Information and Technical Bulletin of the Russian Federation]* 14:8–12.
22. RD V 319.35.04.00-2001. 2001. Polozhenie o poryadke primeneniya elektronnyx modulej, komplektuyushhix izdelij, elektroradioizdelij i konstruktivnyx materialovиностранныго производствав sistemax, kompleksax i obrazcax vooruzheniya i voennoj texniki i ix sostavnnyx chastyax [Thesis on the application of electronic modules, components, electrical and radio devices and structural materials of foreign production systems in systems and models of weapons and military equipment and their components.] Mytishchi: 22 Central Research Institute of Defense Ministry of Russia.
23. Zatsarinnyy, A. A., A. I. Garanin, and Yu. S. Ionenkov. 2010. Metodicheskij podxod k obosnovaniyu trebovaniy po nadyozhnosti k sostavnym chastyam informacionno-telekommunikacionnyx setej [Methodical approach to substantiation of requirements to reliability to the parts of information-telecommunication networks]. *Systems and Means of Informatics* 20(3):157–73.
24. Denisov, A. A., and D. N. Kolesnikov. 1982. *Teoriya bol'shix sistem upravleniya* [Theory of large systems management]. Leningrad: Energoizdat, Leningrad Department. 288 p.

К ВОПРОСУ О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ

А. А. Зацаринный¹, Ю. С. Ионенков², А. П. Шабанов³

Аннотация: На основе структурно-функционального представления ситуационного центра (СЦ) и учета влияния организационного компонента, включая человеческий фактор, рассматриваются вопросы оценки эффективности СЦ, решаяющих однотипные задачи. При этом используется принцип комплексности оценки, заключающийся в том, что эффективность функционирования СЦ определяется показателями эффективности его компонентов: функционального, технологического, технического, эксплуатационного и организационного. Предложена система показателей эффективности каждого из компонентов. Представлена методика сравнительного анализа эффективности СЦ и приведены примеры расчета. Показано, что разработка и внедрение высокоеффективных системотехнических решений, обеспечивающих выполнение полного перечня требуемых функциональных задач, даже при создании достаточной технической инфраструктуры не позволит обеспечить высокую эффективность СЦ при низком уровне эксплуатационного и организационного компонентов.

Ключевые слова: ситуационный центр; эффективность; показатели

DOI: 10.14357/08696527130212

1 Введение

В настоящее время широкое применение получили СЦ, создаваемые в организационных системах (в министерствах, ведомствах, на предприятиях). Ситуационный центр позволяет реализовать новый формат управления путем создания особого информационно-технологического пространства для эффективного мониторинга, прогнозирования, принятия решений и контроля их исполнения. С учетом того, что СЦ представляет собой сложную систему, которая функционирует в течение длительного периода времени и требует больших организационных и материальных затрат, возникает задача оценки его эффективности. Такая оценка наряду с анализом системных аспектов на всех этапах жизненного цикла СЦ предполагает проведение их сравнительного анализа и определение наиболее эффективного СЦ. Целью данной статьи является рассмотрение методических

¹ Институт проблем информатики Российской академии наук, azatsarinny@ipiran.ru

² Институт проблем информатики Российской академии наук, uionenkov@ipiran.ru

³ Институт проблем информатики Российской академии наук, apshabanov@mail.ru

подходов к оценке эффективности СЦ в части проведения их сравнительно-го анализа при заданных условиях. Предложена методика проведения такого анализа.

2 Системные аспекты сравнительной оценки эффективности

Под эффективностью системы понимается степень достижения целей, поставленных при ее создании [1]. Критерий эффективности системы (изделия) определяют на множестве показателей. Под показателем понимается характеристика, описываемая количественно и позволяющая оценить свойство этой системы с какой-либо одной стороны. При оценке эффективности СЦ, на взгляд авторов, необходимо учитывать следующие требования:

- комплексность оценки эффективности на основе структурно-функционального представления СЦ;
- оценка эффективности на всех этапах жизненного цикла;
- учет влияния организационного компонента при оценке эффективности, включая человеческий фактор.

В структурном плане СЦ представляется как взаимосвязанная совокупность трех компонентов: информационно-аналитического, информационно-технологического и технического [2–5]. Кроме того, эффективная работа СЦ в значительной степени зависит от подсистем (компонентов) обеспечения эксплуатации (электроснабжение, кондиционирование, эргономические показатели) и от персонала, обеспечивающего его функционирование (организационный компонент) [6, 7]. Поэтому удовлетворение требованию комплексности оценки предполагает учет эффективности СЦ ЭСЦ по показателям эффективности его компонентов: функционального, технологического, технического, эксплуатационного и организационного (\mathcal{E}_Φ , $\mathcal{E}_{\text{технол}}$, $\mathcal{E}_{\text{техн}}$, $\mathcal{E}_{\text{экспл}}$ и $\mathcal{E}_{\text{орг}}$ соответственно).

Показатели эффективности компонентов под воздействием внешних и внутренних факторов изменяются определенным образом во времени. Изменения происходят на всех этапах жизненного цикла СЦ и обусловливают необходимость выполнения второго требования — непрерывности контроля за эффективностью СЦ.

Третье требование, в наибольшей степени отражающее отличительную особенность СЦ по сравнению с другими автоматизированными информационными системами, заключается в существенности влияния на его эффективность человеческого фактора. Действительно, эффективность применения СЦ во многом зависит, в первую очередь, от способности и готовности к применению технологий СЦ первого руководителя организационной системы, от уровня профессиональной подготовки команды экспертов-аналитиков, профессионализма персонала,

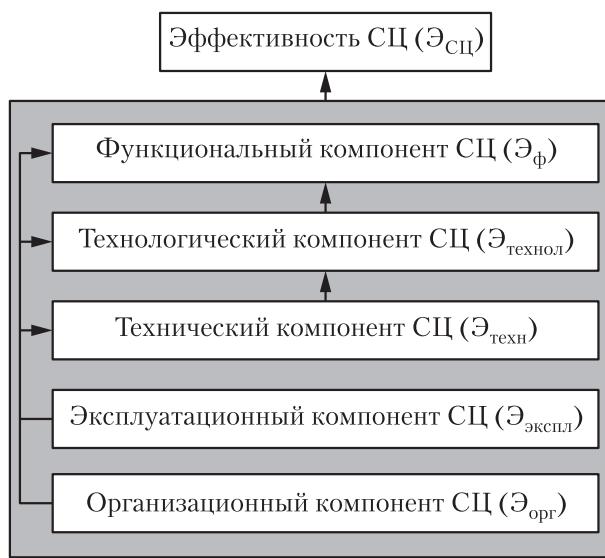


Рис. 1 Взаимосвязь компонентов эффективности СЦ

менения в составе оборудования (технический компонент) эффективность данных компонентов зависит от подсистемы обеспечения эксплуатации (эксплуатационный компонент), от уровня профессиональной подготовки команды экспертов, аналитиков, от квалификации эксплуатирующего и оперативного персонала (организационный компонент).

Системные аспекты оценки эффективности ситуационных центров достаточно подробно рассмотрены в работах [8–10]. Предложен ряд технических решений [11–13] и вариантов использования СЦ [14, 15], разработанных на основе результатов проведенной оценки.

3 Модели показателей эффективности

Для расчета обобщенного показателя эффективности СЦ Э_{СЦ} используется математическое выражение в виде средневзвешенной суммы показателей эффективности отдельных компонентов СЦ:

$$\mathcal{E}_{\text{СЦ}} = \alpha_1 \mathcal{E}_\Phi + \alpha_2 \mathcal{E}_{\text{технол}} + \alpha_3 \mathcal{E}_{\text{техн}} + \alpha_4 \mathcal{E}_{\text{экспл}} + \alpha_5 \mathcal{E}_{\text{орг}}, \quad (1)$$

где α_i и \mathcal{E}_i — весовые коэффициенты и показатели эффективности функционального (α_1 и \mathcal{E}_Φ), технологического (α_2 и $\mathcal{E}_{\text{технол}}$), технического (α_3 и $\mathcal{E}_{\text{техн}}$),

эксплуатирующего оборудования и осуществляющего оперативную работу с информацией.

Взаимосвязь компонентов эффективности СЦ представлена на рис. 1 и носит вложенный характер.

Так, при возникновении дополнительных или уточнении реализованных ранее функциональных задач (функциональный компонент) требуется применить новые или модернизировать существующие технологии обработки информации (технологический компонент), что может потребовать из-

**Рис. 2** Показатели эффективности компонентов СЦ

эксплуатационного (α_4 и Э_{экспл}) и организационного (α_5 и Э_{опр}) компонентов; показатели эффективности представлены на рис. 2.

Определение показателей эффективности отдельных компонентов СЦ Э_i производится на основе аддитивной свертки частных показателей K_{ji} , выбранных для каждого компонента [16–18]:

$$\Theta_i = \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ji} K_{ji}, \quad (2)$$

где n_i — число показателей i -го компонента, $i = 1, 2, \dots, 5$; α_{ji} — весовые коэффициенты соответствующих показателей, $0 \leq \alpha_{ji} \leq 1$, $\sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{ij} = 1$; K_{ji} — частные показатели эффективности.

В случаях, когда требуется более точно отразить влияние частных показателей, может использоваться мультипликативная свертка:

$$\Theta_i = \prod_{j=1}^{n_i} K_{ji}^{\alpha_{ji}}. \quad (3)$$

Весовые коэффициенты определяются экспертным путем, в том числе с использованием математических методов (балльный метод, метод попарных сравнений и т. п.). Необходимо отметить, что ряд представленных выше показателей (своевременность, пропускная способность и т. п.) являются реальными параметрами, имеющими размерность и поддающимися измерению. Другие показатели носят безразмерный характер, отражают степень выполнения конкретных требований и определяются либо как отношение достигнутого показателя к требуемому, либо экспертным путем.

Эффективность функционального компонента определяется степенью реализации функциональных задач, например как отношение перечня реализованных в СЦ функциональных задач к требуемому перечню задач:

$$\Theta_{\Phi} = \frac{N_p}{N_t}, \quad (4)$$

где N_p и N_t — число соответственно реализованных и требуемых функциональных задач.

Эффективность $\Theta_{\text{технол}}$ технологического компонента зависит от показателей, характеризующих качество сбора, обработки, хранения и передачи информации, таких как:

- своевременность;
- достоверность;
- полнота применения реализованных технологий;
- полнота контроля.

В качестве показателей своевременности могут использоваться:

$t_{\text{дов}}$ — время доведения информации;

t_p — время решения задачи либо комплекса задач.

В качестве показателя достоверности может использоваться коэффициент q , характеризующий относительное число правильно решаемых задач применительно к общему числу решений:

$$q = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{пр}}$ и $N_{\text{общ}}$ — соответственно число правильно решенных задач и общее число решенных задач. Следует отметить, что ошибки при решении задач могут возникать как вследствие сбоев в программном обеспечении, так и вследствие ошибок обслуживающего персонала.

Полнота применения технологий $K_{\text{пр}}$ может быть охарактеризована коэффициентом полноты применения, показывающим отношение числа используемых в

СЦ технологий к числу технологий, поддерживаемых программным обеспечением СЦ:

$$K_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{пр}}}{M_{\text{общ}}} , \quad (6)$$

где $M_{\text{пр}}$ и $M_{\text{общ}}$ — соответственно число применяемых технологий и число технологий, поддерживаемых программным обеспечением СЦ.

Полнота контроля может быть описана коэффициентом K_k полноты контроля, характеризующим отношение числа контролируемых объектов (серверов, автоматизированных рабочих мест (АРМ), телекоммуникационного оборудования и т. д.) к требуемому числу объектов, подлежащих контролю:

$$K_k = \frac{M_k}{M_{k, \text{треб}}} , \quad (7)$$

где M_k и $M_{k, \text{треб}}$ — соответственно число контролируемых объектов и число объектов, подлежащих контролю.

Эффективность технического компонента $\mathcal{E}_{\text{техн}}$ зависит от показателей, отражающих технические характеристики оборудования СЦ. В качестве таких показателей могут быть использованы:

- надежность;
- пропускная способность;
- степень использования АРМ и серверов;
- объем памяти.

В качестве основных показателей надежности используются коэффициент готовности (K_g) и среднее время восстановления работоспособности изделия (T_b). В качестве дополнительного показателя используется среднее время наработки изделия на отказ (T_o). Высокие показатели надежности функционирования аппаратно-программных комплексов достигаются комплексом организационно-технических мер. Технические меры обеспечения надежности должны предусматривать:

- использование технических средств с высокими показателями надежности;
- резервирование критически важных компонентов;
- оптимальное с точки зрения надежности конфигурирование используемых технических средств и специального программного обеспечения.

Организационные меры по обеспечению надежности должны быть направлены на минимизацию ошибок пользователей и обслуживающего персонала при эксплуатации и проведении работ по обслуживанию комплекса технических средств системы, минимизацию времени ремонта или замены вышедших из строя компонентов за счет:

- высокой квалификации пользователей и обслуживающего персонала;
- регламентации проведения работ и процедур по обслуживанию и восстановлению системы;
- своевременной диагностики неисправностей;
- наличия и оперативного использования ЗИП (запасные части, инструменты, принадлежности);
- наличия договоров на сервисное обслуживание и поддержку компонентов комплекса технических средств.

Коэффициент готовности СЦ определяется по формуле

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_b}. \quad (8)$$

На этапе проектирования коэффициент готовности определяется расчетным путем на основе данных, приведенных в формулярах конкретных технических средств, а в ходе эксплуатации — по результатам сбора и обработки статистических данных об отказах и времени восстановления.

Пропускная способность характеризуется скоростью передачи информации в локальных сетях и магистральных каналах связи.

Степень использования АРМ и серверов характеризуется отношением числа используемых в работе СЦ АРМ и серверов к их общему числу, развернутому на СЦ в соответствии с проектом. Причинами неполного использования оборудования могут стать:

- техническая неисправность оборудования;
- неподготовленность персонала для работы на конкретном АРМ;
- неподготовленность помещений для работы персонала.

Объем памяти определяется характеристиками применяемой вычислительной техники и требованиями со стороны технологического компонента.

Эффективность эксплуатационного компонента зависит от показателей, характеризующих развитие подсистемы обеспечения эксплуатации. Эти показатели должны учитывать уровень $K_{\text{эн}}$ развития подсистемы энергообеспечения, степень $K_{\text{эрп}}$ реализации эргономических требований, уровень $K_{\text{пом}}$ подготовки помещений для эксплуатации: их освещение, вентиляцию и кондиционирование. Указанные выше показатели определяются экспертным путем, оцениваются по десятибалльной шкале и приводятся к значениям от 0 до 1.

Эффективность организационного компонента зависит от показателей, характеризующих деятельность обслуживающего персонала СЦ. Эти показатели должны учитывать наличие штатных подразделений для эксплуатации СЦ, их достаточность и укомплектованность $K_{\text{шп}}$, степень $K_{\text{п}}$ подготовки персонала как

при реализации функциональных задач, так и при технической эксплуатации аппаратно-программных комплексов СЦ, а также субъективный (морально-психологический) фактор K_c , отражающий способность и желание персонала осваивать и эффективно обслуживать аппаратно-программные комплексы СЦ. Эти показатели определяются эксперты путем аналогично показанному выше для эксплуатационного компонента.

Так как ряд показателей, приведенных выше, имеет размерный характер (своевременность, пропускная способность и т. п.), то необходимо провести их нормирование, определив диапазон их изменения от 0 до 1.

Для нормирования конкретного показателя используется следующая формула:

$$K_n = \frac{X_p - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}, \quad (9)$$

где K_n — оценка n -го показателя, используемого для оценки эффективности; X_p — фактическое значение используемого показателя; X_{\min} и X_{\max} — значение показателя, соответствующее нижнему и верхнему допустимому значению.

4 Методический подход к сравнительной оценке эффективности

Как показано выше, показатели СЦ группируются в компоненты, достаточно полно характеризующие их функциональную, технологическую, техническую, эксплуатационную и организационную сторону деятельности. Для каждого из компонентов на основе частных показателей с помощью формул (2)–(9) вычисляются обобщенные показатели эффективности, а затем эти показатели суммируются с весовыми коэффициентами, характеризующими относительную значимость соответствующих компонентов. В рамках данного подхода для проведения сравнительного анализа СЦ разработана следующая методика.

Шаг 1. Осуществляется сбор исходных данных. Этот шаг включает сбор данных, характеризующих информационные, технические, эксплуатационные и другие показатели СЦ. На этапе проектирования предполагаемые характеристики СЦ берутся из проектной и рабочей документации, на этапе эксплуатации — реальные характеристики СЦ, получаемые разработчиком в рамках авторского надзора и службой эксплуатации. Ряд показателей определяется эксперты путем.

Шаг 2. Производится выбор математической модели для оценки эффективности компонентов СЦ и эффективности СЦ в целом. При этом может использоваться как аддитивная, так и мультипликативная свертка показателей.

Шаг 3. Производится расчет по формулам (4)–(9) частных показателей эффективности компонентов СЦ.

Шаг 4. Определяются экспертным способом весовые коэффициенты частных показателей эффективности.

Шаг 5. Производится расчет обобщенных показателей эффективности компонентов СЦ в соответствии с выбранной математической моделью по формуле (2) или (3).

Шаг 6. Определяются экспертным способом весовые коэффициенты компонентов СЦ, производится расчет по формуле (1) показателей эффективности СЦ в целом.

Шаг 7. Осуществляется на основе анализа результатов проведенных расчетов выбор наиболее эффективного СЦ в следующих номинациях: в целом, по отдельным компонентам. Вырабатываются рекомендации в отношении направлений и способов улучшения характеристик СЦ.

5 Пример применения методического подхода

С применением представленной выше методики проведен сравнительный анализ трех условных (обезличенных) СЦ. При этом принято:

- по степени реализации функциональных задач все СЦ примерно равнозначны ($\mathcal{E}_\Phi = 0,98$);
- СЦ1 характеризуется наличием укомплектованного и подготовленного подразделения эксплуатации (показатели, характеризующие деятельность обслуживающего персонала, на уровне 0,9–1,0) и подготовленной объектовой инфраструктуры (уровень развития подсистемы обеспечения эксплуатации 0,8–1,0) при недостаточно развитых технологическом (своевременность, достоверность, полнота применения технологий) и техническом (пропускная способность, степень использования АРМ, объем памяти) компонентах;
- для СЦ2 при более высоком уровне технологического (более высокие показатели своевременности, достоверности, полноты применения технологий чем у СЦ1) и технического оснащения (пропускная способность, объем памяти выше, чем у СЦ1) недостаточно развиты эксплуатационный (уровень развития подсистемы обеспечения эксплуатации 0,4–0,7) и организационный (показатели, характеризующие деятельность обслуживающего персонала, на уровне 0,5–0,6) компоненты;
- для СЦ3 при одинаковом с СЦ2 уровне развития технологического и технического оснащения на более высоком уровне решены вопросы обеспечения эксплуатации и подготовки персонала (уровень развития подсистемы обеспечения эксплуатации и показатели, характеризующие деятельность обслуживающего персонала на уровне 0,8–0,9);

Таблица 1 Характеристики условных СЦ (пример)

Общие показатели эффективности	Частные показатели	СЦ1	СЦ2	СЦ3	Весовой коэффициент α_i
\mathcal{E}_Φ	Степень реализации функциональных задач	0,98	0,98	0,98	—
$\mathcal{E}_{\text{технол}}$	Своевременность $K_{\text{св}}$	0,62	0,77	0,77	0,3
	Достоверность q	0,975	0,995	0,995	0,3
	Полнота применения технологий $K_{\text{пр}}$	0,67	0,83	0,83	0,3
	Полнота контроля K_k	0,92	0,92	0,92	0,1
	Надежность K_r	0,995	0,995	0,995	0,4
$\mathcal{E}_{\text{техн}}$	Пропускная способность $K_{\text{пр}}$	0,13	0,38	0,38	0,2
	Степень использования АРМ и серверов K_i	0,8	0,8	0,95	0,2
	Объем памяти $K_{\text{оп}}$	0,25	0,75	0,75	0,2
	Развитие подсистемы энергообеспечения $K_{\text{эн}}$	1,0	0,7	0,9	0,4
$\mathcal{E}_{\text{экспл}}$	Эргономические требования $K_{\text{эр}}$	0,8	0,6	0,8	0,2
	Подготовка помещений $K_{\text{пом}}$	0,9	0,4	0,8	0,4
	Наличие и укомплектованность обслуживающих подразделений $K_{\text{шп}}$	1,0	0,6	0,9	0,4
$\mathcal{E}_{\text{орг}}$	Подготовка персонала K_p	0,9	0,5	0,8	0,4
	Субъективный фактор K_c	0,9	0,5	0,8	0,2

– весовые коэффициенты показателей эффективности каждого из пяти компонентов (\mathcal{E}_Φ , $\mathcal{E}_{\text{технол}}$, $\mathcal{E}_{\text{техн}}$, $\mathcal{E}_{\text{экспл}}$ и $\mathcal{E}_{\text{орг}}$) принимаются одинаковыми, эффективность $\mathcal{E}_{\text{СЦ}}$ ситуационного центра в целом определяется как

$$\mathcal{E}_{\text{СЦ}} = \frac{\mathcal{E}_\Phi + \mathcal{E}_{\text{технол}} + \mathcal{E}_{\text{техн}} + \mathcal{E}_{\text{орг}} + \mathcal{E}_{\text{экспл}}}{5}. \quad (10)$$

Ряд приведенных ниже исходных данных (в первую очередь технические характеристики) выбраны из проектных материалов и реальных характеристик СЦ, другие исходные данные получены путем экспертного опроса разработчиков и персонала, обеспечивающего функционирование СЦ.

Характеристики ситуационных центров представлены в табл. 1.

На основе приведенной выше методики (см. разд. 2 и 3), подставляя исходные данные (см. табл. 1) в формулы (1)–(8), проведем оценку показателей

Таблица 2 Показатели эффективности компонентов
(пример)

Показатели	СЦ1	СЦ2	СЦ3
\mathcal{E}_Φ	0,98	0,98	0,98
$\mathcal{E}_{\text{технол}}$	0,77	0,86	0,86
$\mathcal{E}_{\text{техн}}$	0,64	0,79	0,82
$\mathcal{E}_{\text{экспл}}$	0,92	0,56	0,84
$\mathcal{E}_{\text{орг}}$	0,94	0,54	0,84

эффективности отдельных компонентов. Результаты оценки представлены в табл. 2.

Подставляя в формулу (10) значения из табл. 2, получим значения показателей эффективности СЦ в целом:

$$\mathcal{E}_{\text{СЦ1}} = \frac{0,98 + 0,77 + 0,64 + 0,92 + 0,94}{5} = 0,85;$$

$$\mathcal{E}_{\text{СЦ2}} = \frac{0,98 + 0,86 + 0,79 + 0,56 + 0,54}{5} = 0,75;$$

$$\mathcal{E}_{\text{СЦ3}} = \frac{0,98 + 0,86 + 0,82 + 0,84 + 0,84}{5} = 0,87.$$

Таким образом, расчеты по представленной методике показывают наиболее высокий обобщенный показатель эффективности у СЦ3. Результаты расчетов показателей эффективности компонентов и эффективности СЦ в целом представлены на рис. 3.

На рис. 4 представлены примеры влияния на эффективность СЦ соответственно организационного и технического компонентов при различных значениях соответственно технологического и организационного компонентов.

Таким образом, как видно из рис. 3 и 4, эффективность СЦ существенным образом зависит как от эффективности отдельных его компонентов, так и от соотношений между ними.

Представленные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Достижение высоких показателей эффективности функционального, технологического, технического компонентов обеспечивается, с одной стороны, обоснованными требованиями заказчика, адекватно отражающими обеспечение условий решения с помощью СЦ всего спектра функциональных задач, с другой — системотехническими и проектными решениями главного конструктора, реализуемыми на этапах разработки и ввода в действие СЦ.

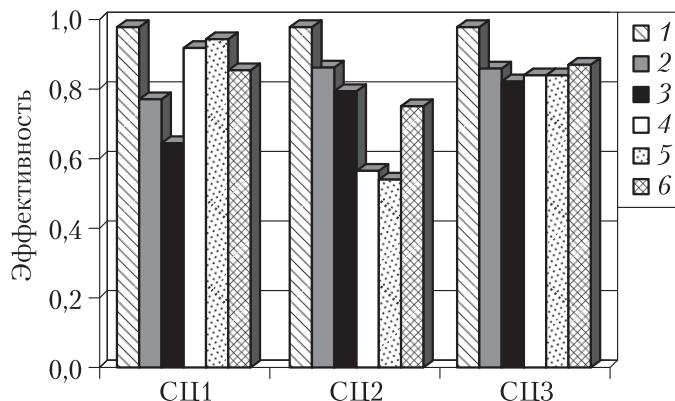


Рис. 3 Результаты расчетов эффективности СЦ (пример): 1 — \mathcal{E}_{Φ} ; 2 — $\mathcal{E}_{\text{технол}}$; 3 — $\mathcal{E}_{\text{техн}}$; 4 — $\mathcal{E}_{\text{экспл}}$; 5 — $\mathcal{E}_{\text{опрг}}$; 6 — $\mathcal{E}_{\text{СЦ}}$

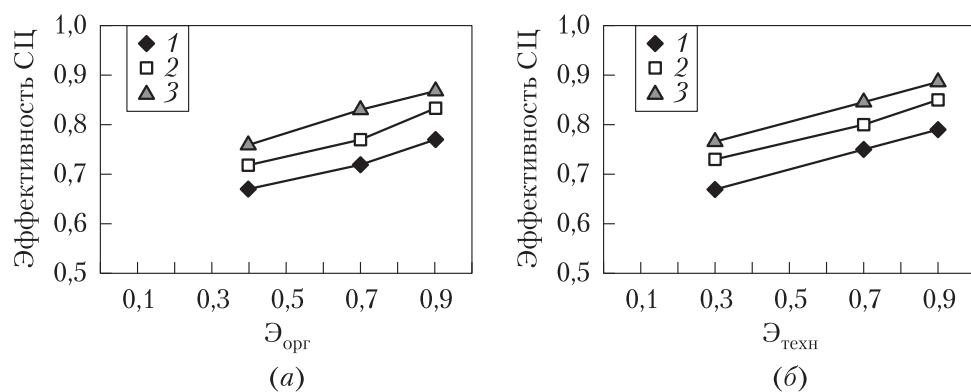


Рис. 4 Влияние на эффективность СЦ организационного (1 — $\mathcal{E}_{\text{технол}} = 0,4$; 2 — 0,7; 3 — $\mathcal{E}_{\text{технол}} = 0,9$) (а) и технического (1 — $\mathcal{E}_{\text{орг}} = 0,4$; 2 — 0,7; 3 — $\mathcal{E}_{\text{орг}} = 0,9$) (б) компонентов (примеры):

2. Достижение высоких показателей эффективности эксплуатационного и организационного компонентов обеспечивается реализуемыми системотехническими и проектными решениями, а также решениями заказчика и эксплуатирующего подразделения по инженерной подготовке объекта информатизации, определению штатного подразделения, его укомплектованию профессионально подготовленными специалистами и проведению целевого обучения вопросам эффективного применения и эксплуатации СЦ.

3. Разработка и внедрение высокоэффективных системотехнических решений, обеспечивающих выполнение полного перечня требуемых функциональных задач, даже при создании достаточной технической инфраструктуры не позволит обеспечить высокую эффективность СЦ при низком уровне эксплуатационного и организационного компонентов.
4. Более высокий уровень развития технологической составляющей позволяет обеспечить заданную эффективность СЦ при меньшем уровне развития организационной составляющей (т. е. при меньших затратах на обслуживающий персонал).
5. Более высокий уровень развития организационной составляющей позволяет обеспечить заданную эффективность функционирования СЦ даже при более низких технических характеристиках аппаратно-программных комплексов центра.

6 Заключение

В статье рассматриваются вопросы, относящиеся к проведению сравнительного анализа эффективности СЦ.

К числу факторов, определяющих важность этой задачи, относятся:

- возрастание роли СЦ в повышении эффективности деятельности министерств, ведомств, предприятий;
- огромные возможности для выбора архитектурных и системотехнических решений, аппаратно-программной платформы для построения СЦ;
- необходимость модернизации и развития на основе новых функциональных требований, а также с учетом развития информационных технологий и технических средств;
- необходимость стандартизации системы показателей эффективности и методик их оценки в рамках разработки нормативного обеспечения создания и эксплуатации СЦ.

При этом показано, что эффективность функционирования СЦ определяется показателями эффективности его компонентов: функционального, технологического, технического, эксплуатационного и организационного. разработка и внедрение высокоэффективных системотехнических решений, обеспечивающих выполнение полного перечня требуемых функциональных задач, даже при создании достаточной технической инфраструктуры не позволит обеспечить высокую эффективность СЦ при низком уровне эксплуатационного и организационного компонентов.

Предложена методика проведения сравнительного анализа эффективности СЦ и на примере трех условных СЦ показано применение данной методики.

Литература

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения /!-/ Сб. ГОСТов. — М.: Стандартинформ, 2005. 14 с.
2. Зацаринный А. А., Сучков А. П., Босов А. В. Ситуационные центры в современных информационно-телекоммуникационных системах специального назначения // ВКСС CONNECT! (Ведомственные и корпоративные сети и системы), 2007. № 5(44). С. 64–75.
3. Зацаринный А. А., Босов А. В., Сучков А. П. Некоторые общие подходы к формированию функциональных требований к ситуационным центрам и их реализации // Системы и средства информатики, 2010. Вып. 20. № 3. С. 98–125.
4. Зацаринный А. А. Организационные и системотехнические подходы к построению современных ситуационных центров // Методы построения и технологии функционирования ситуационных центров. — М.: ИПИ РАН, 2011. С. 11–26.
5. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Ситуационные центры: информация–процессы–организация // Электросвязь, 2011. № 6. С. 42–46.
6. Будзко В. И. Организационное обеспечение АИС — фактор риска // Системы высокой доступности, 2008. Т. 4. № 3–4. С. 4–11.
7. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Сучков А. П. Особенности проектирования и функционирования ситуационных центров // Системы высокой доступности, 2012. Т. 8. № 1. С. 12–21.
8. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С., Шабанов А. П. Методический подход к оценке эффективности ситуационных центров // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: Сб. статей 15-й Междунар. научно-практич. конф. / Под ред. А. П. Кудинова. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. Т. 2. С. 37–39.
9. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Системные аспекты эффективности ситуационных центров // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Сер. 1: Экономика и управление, 2013. № 2. С. 110–123.
10. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. Эффективность ситуационных центров и человеческий фактор // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Сер. 1: Экономика и управление, 2013. № 3. С. 43–53.
11. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Сучков А. П., Шабанов А. П. Центр управления организационной системы: Патент РФ на полезную модель RU127493 U1, G05B19/00 (2006.01), опубл. 27.04.2013.
12. Зацаринный А. А., Козлов С. В., Сучков А. П., Шабанов А. П. Система ситуационно-аналитических центров организационной системы: Заявка на изобретение. Рег. № 2012134127 от 29.11.2012.
13. Зацаринный А. А., Сучков А. П., Шабанов А. П. Технология поддержки деятельности организационной системы: Заявка на изобретение. Рег. № 2012151182 от 29.11.2012.
14. Зацаринный А. А., Шабанов А. П. О технологии поддержки деятельности в авиационной промышленности // X Научные чтения, посвященные памяти Н. Е. Жуковского: Сб. докл. Всеросс. научно-технич. конф. — М.: Академия им. Н. Е. Жуковского, 2013. С. 399–404.

15. Zatsarinnyy A. A., Shabanov A. P. On improving the effectiveness of international transport corridors // 4th Scientific Conference (International) on European Science and Technology. — Munich, 2013. P. 387–395.
 16. Саркисян С. А., Голованов Л. В. Прогнозирование развития больших систем. — М.: Статистика, 1975. 192 с.
 17. Окунев Ю. Б., Плотников В. Г. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи. — М.: Связь, 1976. 183 с.
 18. Волков П. И., Иванов Е. В., Иванов А. Ю. Построение критерия эффективности систем автоматизации управления. — Л.: ВАС, 1989. 74 с.
-
-

ON A COMPARATIVE EVALUATION OF SITUATIONAL CENTERS EFFICIENCY

A. A. Zatsarinnyy¹, Y. S. Ionenkov², and A. P. Shabanov³

¹IPI RAN, azatsarinny@ipiran.ru

²IPI RAN, uionenkov@ipiran.ru

³IPI RAN, apshabanov@mail.ru

Abstract: The issues of performance evaluation of situational centers that solve similar problems are considered. The consideration is based on structural and functional representation of a situational center taking into account institutional components and human factors. Principle of comprehensive evaluation is used. This principle consists in the fact that operational efficiency of situational centers is defined by efficiency indexes of its components — functional, technological, technical, exploitative and organizational ones. The system of efficiency indexes of each component is suggested. A technique of comparative analysis of situational centers efficiency and examples of its calculation are presented. It is shown that development and integration of high-performance systems which provide execution of full list of required tasks even with creation of necessary technical infrastructure will not allow to achieve high level efficiency of situational center if exploitative and organizational components are at low level.

Keywords: situational centers; efficiency; indicators

DOI: 10.14357/08696527130212

References

1. GOST 34.003-90. 2005. Informacionnaya tehnologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Terminy i opredeleniya. [Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and definitions]. *Collection of State Standards*. M.: Standardinform Publs. 14 p.

2. Zatsarinnyy, A. A., A. P. Suchkov, and A. V. Bosov. 2007. Situacionnye centry v sovremennoy informacionno-telekommunikacionnyh sistemah special'nogo naznacheniya [Situational centers in modern information and telecommunication systems of special purposes]. *VKSS CONNECT! [Departmental Corporate Networks Systems]* 5:64–75.
3. Zatsarinnyy, A. A., A. P. Suchkov, and A. V. Bosov. 2010. Nekotorye obshchie podhody k formirovaniyu funkcional'nyh trebovaniy k situacionnym centram i ikh realizacii [Some common approaches to formation of functional requirements to situational centres and their realization]. *Systems and Means of Informatics* 20(3):98–125.
4. Zatsarinnyy, A. A. 2011. Organizacionnye i sistemotekhnicheskie podhody k postroeniju sovremennoy situacionnyh centrov [Organizational and system and technical approaches to building of modern situational centers]. *Metody postroenija i tehnologii funkcionirovaniya situacionnyh centrov [Methods for building and technology of situational centers]*. M.: IPI RAN. 11–26.
5. Zatsarinnyy, A. A., and A. P. Shabanov. 2011. Situacionnye centry: Informaciya–processy–organizacija [Situational centers: Information–processes–organization]. *Jelektronika i radiosvjaz' [Telecommunications]* 6:42–46.
6. Budzko, V. I. 2008. Organizacionnoe obespechenie AIS-factora riska [Organizational support of AIS-factor of risk]. *Sistemy Vysokoj Dostupnosti [High Availability Systems]* 4(3-4):4–11.
7. Zatsarinnyy, A. A., S. V. Kozlov., and A. P. Suchkov. 2012. Osobennosti proektirovaniya i funkcionirovaniya situacionnyh centrov [Design and operation features of situational centers]. *Sistemy Vysokoj Dostupnosti [High Availability Systems]* 8(1):12–21.
8. Zatsarinnyy, A. A., Y. S. Ionenkov, and A. P. Shabanov. 2013. Metodicheskij podhod k ocenke effektivnosti situacionnyh centrov [Methodical approach to assessing the effectiveness of situational centers]. *Sbornik statej 15-j mezhunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii “Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, razrabotka i primenenie vysokih tehnologij v promyshlennosti i jekonomike” [Collection of papers for the 15th Scientific-Practical Conference (International) “Fundamental and Applied Research, Development and Application of High Technologies in Industry and Economy”]*. St. Petersburg: Publ. House of Polytechnic Univ. 2(1):368–37.
9. Zatsarinnyy, A. A., and A. P. Shabanov. 2013. Sistemnye aspekty effektivnosti situacionnyh centrov [System aspects of effectiveness of situational centers]. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S. Ju. Vitte. Ser. 1: Jekonomika i upravlenie [Vestnik of S. Witte Moscow University. Ser. 1: Economy and management]* 2:110–23.
10. Zatsarinnyy, A. A., and A. P. Shabanov. 2013. Jeffektivnost' situacionnyh centrov i chelovecheskij faktor [Effectiveness of situational centers and the human factor]. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S. Ju. Vitte. Ser. 1: Jekonomika i upravlenie [Vestnik of S. Witte Moscow University. Ser. 1: Economy and management]* 3:43–53.
11. Zatsarinnyy, A. A., S. V. Kozlov, A. P. Suchkov, and A. P. Shabanov. 2013. Centr upravleniya organizacionnoj sistemy [Control center of enterprise]. Patent RF na poleznuju model' [Patent RF for Utility Model] RU127493U1, G05B19/00 (2006.01) 2013.04.27.
12. Zatsarinnyy, A. A., S. V. Kozlov, A. P. Suchkov, and A. P. Shabanov. 2012. Sistema situacionno-analiticheskikh centrov organizacionnoj sistemy [System of situational

- and analytical centers of enterprise]. Zajavka na izobretenie, Rospatent RF [Application for Invention, Rospatent, Russian Federation] RU 2012151182, G05B19/002, 2012.11.29.
13. Zatsarinnyy, A. A., A. P. Suchkov, and A. P. Shabanov. 2012. Tehnologija podderzhki dejatel'nosti organizacionnoj sistemy [Technology support of enterprise]. Zajavka na izobretenie, Rospatent RF [Application for Invention, Rospatent, Russian Federation] RU 2012148411, G05B19/00, 2012.11.14.
 14. Zatsarinnyy, A. A., and A. P. Shabanov. 2013. O tehnologii podderzhki dejatel'nosti v aviacionnoj promyshlennosti [Issues of technology support for activities in aviation industry]. *Materialy Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "X Nauchnye chtenija, posvjashchonnye pamjati N. E. Zhukovskogo." Sbornik dokladov [All-Russian Scientific and Technical Conference "Scientific Readings in Memory of N. E. Zhukovsky" Proceedings. Collection of reports]*. M.: Publ. House of Academy named after N. E. Zhukovsky. 399–404.
 15. Zatsarinnyy, A. A., and A. P. Shabanov. 2013. On improving the effectiveness of international transport corridors. *4th Scientific Conference (International) on European Science and Technology*. Munich. 387–395.
 16. Sarkisjan, S. A., and L. V. Golovanov. *Prognozirovaniye razvitiya bol'shih system [Forecasting the development of large systems]*. M.: Statistics Publs. 192 p.
 17. Okunev, Ju. B., and V. G. Plotnikov. 1976. *Principy sistemnogo podkhoda k proektirovaniyu v tehnike svjazi [Principles of system design approaches in communication technology]*. M.: Communications Publ. 183 p.
 18. Volkov, P. I., E. V. Ivanov, and A. Yu. Ivanov. 1989. *Postroenie kriterijja jeffektivnosti sistem avtomatizacii upravlenija [Building of automation management systems criteria]*. Leningrad: Publishing House of Military Academy of Communications. 74 p.

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЦЕЛЕЙ ДЛЯ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

А. П. Сучков¹

Аннотация: Обсуждаются основные принципы формирования структуры, содержания и реализации системы целей в системах управления реального времени, связанных с ситуационным анализом. Используются известные критерии SMART для проверки эффективности целеполагания в системах управления и способ формализации цикла управления ООДА. В соответствии с выбранными способами формализации сформирован типовой перечень основных целей управления по разделам наблюдение, ориентирование, решение и действие. Обсуждаются вопросы конкретизации целей, количественной оценки степени их достижения, обобщенные критерии эффективности управления на основе ситуационного анализа. Показано, что формирование количественных показателей степени реализации целей необходимо основывать на сочетании объективных показателей деятельности органа управления и методов экспертной и статистической оценки параметров внешней среды.

Ключевые слова: система управления; ситуационный анализ; система целей

DOI: 10.14357/08696527130213

1 Введение

Цель статьи — формулировка основных принципов формирования системы целей в ситуационных центрах и связанных с ними критериях реализации. Данная проблематика имеет сугубо практическое значение при создании систем ситуационных центров, так как правильная формулировка совокупности целей, задания способов количественной оценки их реализации и каждодневная визуализация состояния целей для первых лиц системы управления обеспечивает успех в деле внедрения ситуационных центров.

Ситуационный анализ, реализующий процессы поддержки принятия решений (ППР) в системах управления, опирается на такие понятия, как событие, обстановка, ситуация, угроза, управление, цели управления (рис. 1). *Ситуация* определяется состоянием взаимосвязанных элементов *обстановки* в контролируемом пространстве; изменения обстановки определяются *событиями*, образующими некоторые разворачивающиеся во времени, наблюдаемые и регистрируемые потоки. Под *угрозой* в процессах управления понимается ситуация

¹Институт проблем информатики Российской академии наук, asuchkov@ipiran.ru

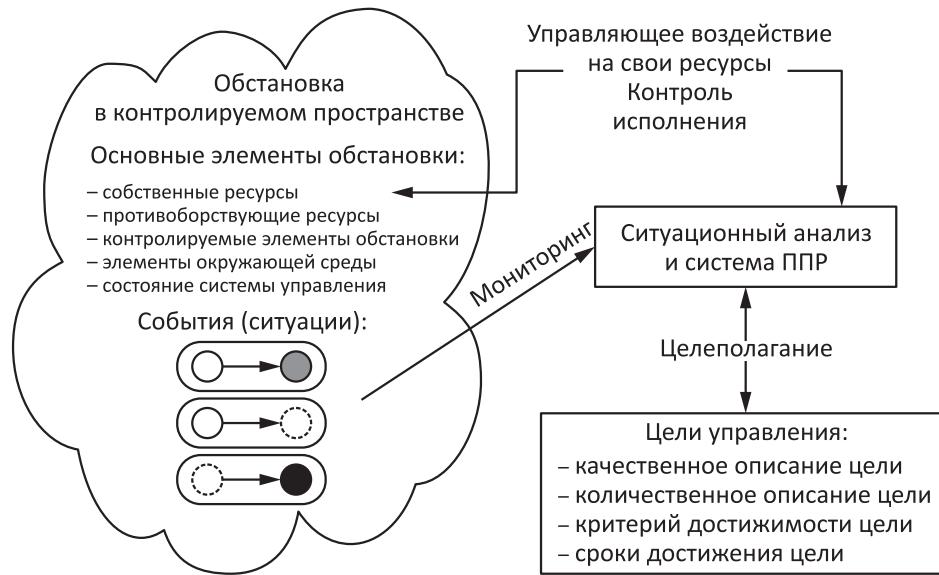


Рис. 1 Роль целеполагания в системе ситуационного управления

или совокупность ситуаций, развитие которых противоречит целям управления и отдаляет текущее состояние от целевого. При этом под *управлением* понимается целенаправленное воздействие органа управления на подчиненные ему или взаимодействующие с ним элементы обстановки (ресурсы).

Понятие ситуационного анализа используется в процессах управления, когда возникает необходимость выработки управленческих решений в **режиме реального времени в условиях сложной обстановки**, складывающейся в отношении контролируемых объектов. Ситуационный анализ обеспечивает на основе событийного мониторинга обстановки идентификацию ситуаций (угроз), слежение за состоянием ситуаций, прогноз сценариев их развития, а также поддержку процесса выработки управляющих воздействий для достижения целевой ситуации (нормализация ситуации) и реализации целей управления.

Совокупность ситуаций в системе управления распадается на текущие, прогнозируемые и целевые ситуации. При этом текущие ситуации являются результатом наблюдения и регистрации событий, прогнозируемые — определяются методами ситуационного анализа, а целевые — отражают краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные цели управления. Последнее немаловажно, так как зачастую ситуационный анализ понимается как обеспечение реакций системы управления на чрезвычайные ситуации после того, как они сложились. Однако теория ситуационного подхода предполагает учет «планируемой и прогнозиру-

емой обстановки», отражающей стратегические, тактические и оперативные цели управления, а также учет факторов самоорганизации управляющего сегмента системы, определяющих стимулы для достижения этих целей [1–5].

2 Структура системы целей

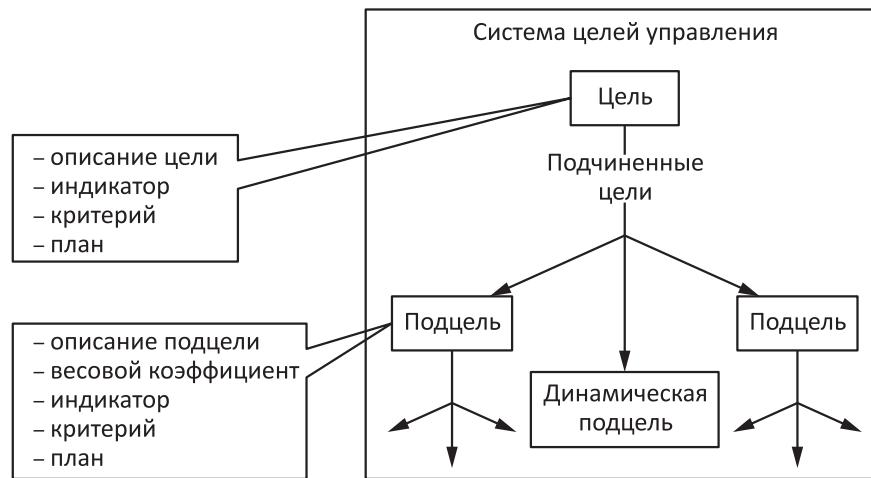
В отношении структуры системы целей можно высказать следующие соображения.

1. Цели управления сложной управляющей системой определяются нормативно-правовыми документами, регламентирующими ее функционирование, и, как правило, образуют **иерархическую структуру** в соответствии со структурой направлений деятельности.
2. Ситуационный подход к управлению предполагает реагирование на складывающуюся обстановку в режиме реального времени. В силу этого, помимо фиксированных целей в системе управления, необходим механизм формирования **динамических целей**, отражающих процесс нормализации складывающихся чрезвычайных ситуаций и присущих в системе целеполагания на период существования ситуации.
3. В концепции «управления по целям» эффективность целеполагания проверяется по критериям акронима SMART [6]:
 - **S**pecific — конкретная, определенная;
 - **M**easurable — измеримая (подразумевает количественную измеримость результата);
 - **A**chievable — достижимая (должна быть выполнимой);
 - **R**ealistic — реалистичная (достижение цели должно быть обеспечено ресурсами);
 - **T**imed / Time-bounded — привязанная к точке / интервалу времени.

Данный подход накладывает **требования на атрибуты целей** в части формирования количественных характеристик их достижения, плановых характеристик, критериев достижения (рис. 2).

Основные атрибуты цели:

- описание — дает определение и конкретизацию цели;
- весовой коэффициент — определяет вклад подцели в вышестоящую цель;
- индикатор — задает количественный показатель достижения результата;
- критерий — задает способ определения достижения результата с помощью индикатора;

**Рис. 2** Обобщенная структура системы целей

- план — определяет количественные значения критерия достижения цели и требуемые временные параметры.

Таким образом, система целей формируется как многоуровневое дерево, содержащее взаимосвязанную совокупность фиксированных и динамических целей, обладающих атрибутами, обеспечивающими реализацию принципа SMART.

3 Содержательные аспекты формирования системы целей

Один из основоположников ситуационного анализа С. Бир [1] предложил рассматривать предприятие, организацию или любую другую управляемую систему как высокоорганизованный живой организм. Применив такой подход, можно утверждать следующее: основными целями существования организаций является жизнеспособность, характеризующаяся в способности системы «выживать» при самых сложных изменениях внешней среды.

Рассмотрим системы управления в государственных структурах (федеральные органы исполнительной власти, государственные корпорации, крупные корпорации с государственным участием и др.). Такие системы управления функционируют на основе законодательных и других нормативно-правовых документов, определяющих их цели и задачи, а также с использованием выделяемых государством ресурсов.

С точки зрения государства обобщенная цель системы управления — максимальная эффективность (максимальная реализация заданных функций) системы управления при минимизации использования ресурсов (рис. 3, а).

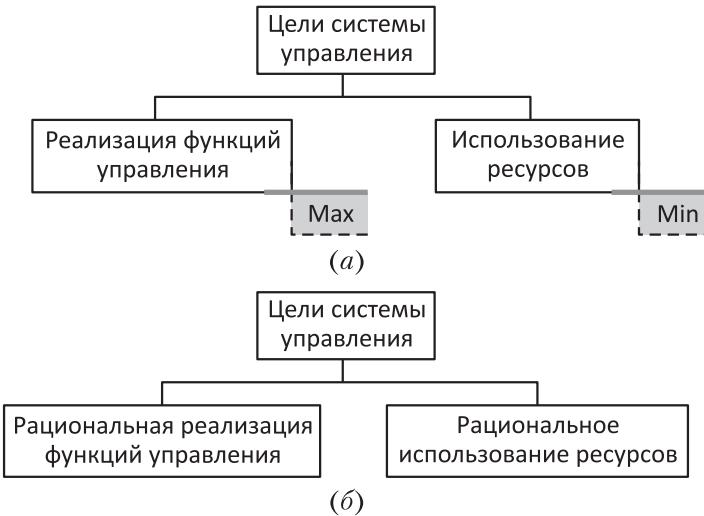


Рис. 3 Цели системы управления: (а) с точки зрения государства; (б) с точки зрения органа управления

Обычно в многоуровневых системах управления подчиненные уровни обладают некоторыми возможностями самоорганизации, поэтому внутренние их цели могут отличаться от целей вышестоящего уровня. В самых крайних случаях обеспечение жизнеспособности выражается в минимизации реализации функций управления для обеспечения возможности нецелевого использования ресурсов. Рассмотрим средний вариант: рациональное обеспечение реализации функций управления на основе рационально используемых ресурсов в условиях их недостатка (рис. 3, б).

Очевидно, что данная формулировка целей системы не удовлетворяет основным критериям SMART (конкретность, измеримость, временная привязка). Чтобы конкретизировать целевые установки по реализации функций управления, необходимо, с точки зрения автора, привлечь одну из адекватных моделей управленческого цикла для принятия решений в режиме реального времени — модель OODA (НОРД).

В конце 1970-х гг. полковник ВВС США Джон Бойд создал модель «наблюдение—ориентирование—решение—действие» (НОРД) для принятия решений при ведении боевых действий. В настоящее время эта модель активно используется во многих системах управления разных отраслей [7].

Наблюдение (стадия Н) — это процесс сбора информации об окружающей среде путем взаимодействия с ней с использованием технических средств или сообщений. Стадия Н также принимает внутренние инструкции от процесса ориентирования, так же как и поддержку от процессов Р и Д.

Ориентирование (стадия О) — оценка ситуации (типовая, нетиповая), анализ существующего опыта, пополнение опыта, обеспечивает внутреннюю поддержку Н (корректировка фильтров).

Решение (стадия Р) — это процесс осуществления выбора среди гипотез о состоянии окружающей среды и возможной реакции на него. Процесс Р руководствуется прямой внутренней связью с процессом О и обеспечивает внутреннюю поддержку процесса Н.

Действие (стадия Д) — это процесс выполнения выбранной реакции путем взаимодействия с окружающей средой. Действие принимает внутренние руководства от процесса О, также оно напрямую связано с Р. Оно обеспечивает внутреннюю поддержку Н.

В приложении к ситуационным центрам данная модель управления НОРД имеет следующую трактовку:

- Н — состояние от поступления сигнала (сенсорного, видео, факсимильного, голосового) до идентификации объекта контроля (факт, событие, ситуация);
- О — оценка ситуации (типовая, нетиповая), анализ существующего опыта, декомпозиция и формирование динамических целей, самообучение, обратная связь с наблюдением;
- Р — выработка вариантов решения по плановым и динамическим целям (по нетиповой ситуации) и выделяемым ресурсам, выбор решения;
- Д — управляющее воздействие на ресурсы, реализация решения, контроль исполнения, переход к стадии наблюдения.

Данная модель позволяет структурировать процесс управления по стадиям и осуществить структурирование подцелей (рис. 4):

- цели по реализации функциональных задач:
 - Цель «Н» — полнота и своевременность выявления объектов контроля;
 - Цель «О» — правильность идентификации ситуации;
 - Цель «Р» — выработка ресурсообеспеченных решений по всем ситуациям;
 - Цель «Д» — полнота и своевременность реализованных решений;
- цели по распределению ресурсов:

Цель «Н, О, Р, Д» — минимизация затрат на одну решенную задачу;

Цель «Дифференциация» — оптимальное распределение ресурсов между стадиями в условиях их недостатка (ниже будет показано, что это интегральная цель системы управления);

Цель «Интеграция» — неотрицательный баланс ресурсов всех стадий.

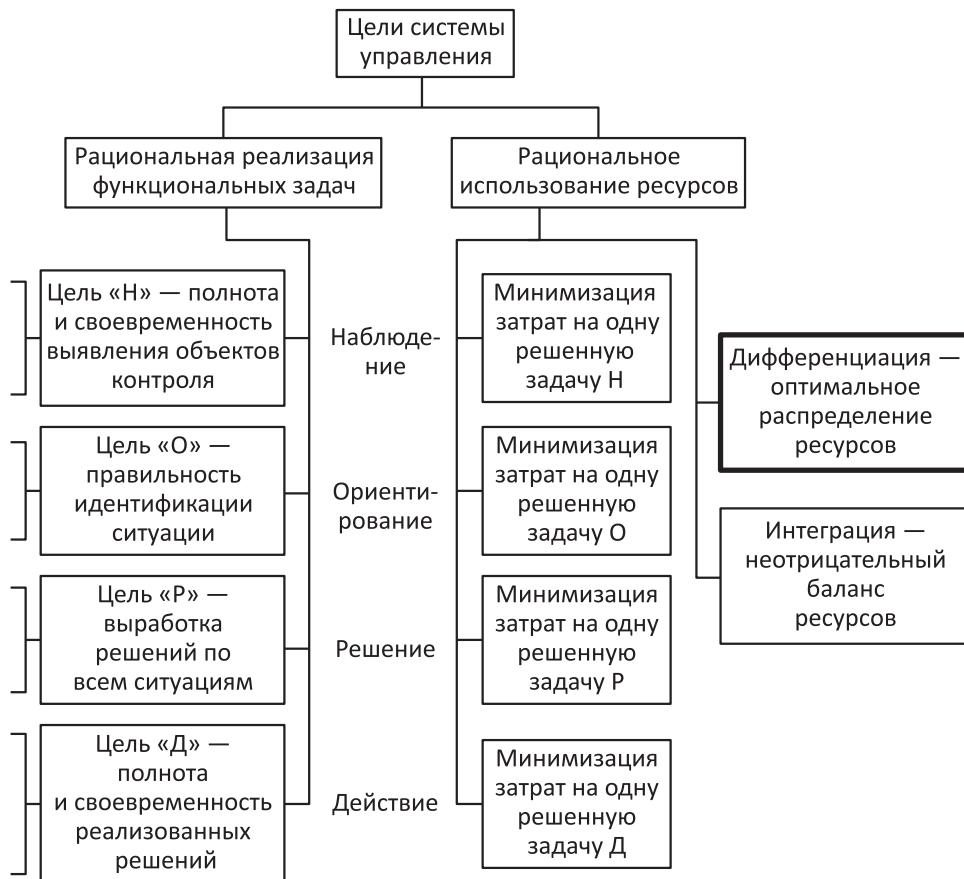


Рис. 4 Цели системы управления

Для **конкретизации** указанных основных подцелей необходима их **детализация** по составляющим подцелям, определяющим задачи по разным направлениям деятельности органа управления. Например, для формирования подцелей стадии Н необходимо дифференцировать технические средства наблюдения, процессы мониторинга документальных данных (структурированных и неструктурированных), субъективные способы мониторинга и т. п.

После конкретизации основных целей и подцелей необходимо указать способы **количественной оценки** степени их реализации. Рассмотрим это на примерах целей «Н» и «Дифференциация».

Количественная характеристика эффективности реализации стадии Н процесса управления в общем виде определяется двумя параметрами:

- (1) A — количество правильно идентифицированных в системе объектов наблюдения;
- (2) B — количество реально реализованных во внешней среде объектов наблюдения.

Разница между этими величинами представляет собой количество не идентифицированных, а следовательно, и не зарегистрированных в системе объектов наблюдения. Соответственно, величина $K_{\text{Н}} = 100\% \cdot A/B$ и определяет степень реализации цели «Н».

Величина A известна в системе и определяется по результатам ее деятельности, а величина B не известна и подлежит оценке. Есть несколько путей такой оценки: экспертная, по прошлому опыту, статистическая. Например, в ходе управления рациональным использованием морских биоресурсов осуществляется наблюдение за нелегальным вывозом за рубеж добытого краба. Средствами контроля зафиксирован вывоз A тонн краба в Японию. Согласно публикуемым данным международной статистики известно, что в Японии добыто в прошлом году B_1 тонн, а произведено крабовой продукции больше — B_2 тонн. С помощью несложных вычислений и экспертных оценок можно оценить величину B — количество ввезенного извне краба:

$$B = A + B_2 - B_1.$$

Другой способ оценки — метод выборочного контроля, который основан на вполне определенных статистических методах и позволяет на основе ряда проверок случайно выбранных объектов из всего потока событий получить статистически достоверную оценку реально произошедших событий. Специально организованные процедуры *случайного* выборочного контроля могут позволить *объективно* оценить качество стадии Н — одной из важнейших в системе управления.

Вопрос **оптимального распределения ресурсов** — задача сложная в реально действующих системах управления в условиях меняющейся обстановки и нехватки ресурсов. Оптимизация должна осуществляться, во-первых, путем минимизации затрат на каждую выполненную функциональную задачу; во-вторых, путем оптимизации перераспределения ресурсов между стадиями цикла управления.

Если $K_{\text{Н}}$, $K_{\text{О}}$, $K_{\text{Р}}$, $K_{\text{Д}}$ — показатели эффективности реализации целей на основных стадиях управления, а $R_{\text{Н}}$, $R_{\text{О}}$, $R_{\text{Р}}$, $R_{\text{Д}}$ — ресурсы, используемые для реализации целей, то задачу оптимизации ресурсов можно выразить так:

$$\lambda_{\text{Н}}K(R_{\text{Н}}) + \lambda_{\text{О}}K(R_{\text{О}}) + \lambda_{\text{Р}}K(R_{\text{Р}}) + \lambda_{\text{Д}}K(R_{\text{Д}}) \rightarrow \max_{R_{\text{Н}}, R_{\text{О}}, R_{\text{Р}}, R_{\text{Д}}}$$

при условиях:

- (1) $R_H + R_O + R_P + R_D = R$ (уравнение баланса);
- (2) $\lambda_H + \lambda_O + \lambda_P + \lambda_D = 1$ (весовые коэффициенты вкладов основных показателей эффективности в общую целевую функцию).

Данный показатель является главным интегральным показателем реализации всех основных целей системы управления, так как отражает вклад всех подцелей с учетом оптимизации ресурсов.

Обычно нет возможности непосредственно выявить статистические зависимости качества управления от различных вариантов распределения ресурсов. Для исследования зависимостей $K(R)$ могут быть использованы различные подходы:

- (1) в крупных системах управления возможно образование пилотных зон для отработки новых информационных, технических, организационно-кадровых решений, позволяющих оценить повышение эффективности системы и осуществить технико-экономическое обоснование;
- (2) другой путь — создание имитационных моделей системы управления, позволяющих исследовать изменения показателей эффективности в зависимости от изменения обстановки и расходования ресурсов;
- (3) прогнозирование базовых тенденций развития обстановки и выявление аномалий в развитии обстановки с целью корректировки распределения ресурсов на перспективу.

Временная привязка целей осуществляется на стадии планирования, при этом важно учесть следующие обстоятельства:

- планирование осуществляется путем формирования целевых значений, которых должны достигать количественные показатели целей в заданные моменты времени;
- планирование преимущественно осуществляется на основе анализа прошедшего периода времени путем прогнозирования возможных плановых показателей;
- необходимо также учитывать возможные пути развития обстановки во времени на основе построения статистических моделей обстановки.

4 Выводы

Основными принципами целеполагания в системах управления, связанных с ситуационным анализом, на взгляд автора, являются следующие:

- (1) система целей должна отражать функциональную структуру органа управления и учитывать ресурсные затраты на ее функционирование;
- (2) каждая формулируемая цель должна быть конкретной, измеримой, выполнимой, ресурсообеспеченной и обладать временной привязкой;

- (3) при целеполагании необходимо учитывать все стадии управления: наблюдение, ориентирование, решение и действие;
- (4) формирование количественных показателей степени реализации целей необходимо основывать на сочетании объективных показателей деятельности органа управления и методов экспертной и статистической оценки параметров внешней среды.

Литература

1. *Beer S. Мозг фирмы / Пер. с англ.— М.: Радио и связь, 1993. 416 с. (Beer S. Brain of the firm. — 2nd ed. — L.-N.Y.: John Wiley & Sons, 1981.)*
2. *Сучков А. П. Ситуационный подход и информационная модель предметной области в правоохранительной сфере // Методы построения и технологии функционирования ситуационных центров. — М.: ИПИ РАН, 2011. С. 76–88.*
3. *Зацаринный А. А., Сучков А. П. Некоторые подходы к ситуационному анализу потоков событий // Открытое образование, 2012. № 1. С. 39–45.*
4. *Зацаринный А. А., Сучков А. П., Козлов С. В. Особенности проектирования и функционирования системы ситуационных центров // Системы высокой доступности, 2012. Т. 8. № 1. С. 12–21.*
5. *Сучков А. П. Два подхода к ситуационному анализу потоков событий // Ситуационные центры: фокус кросс-отраслевых интересов: Мат-лы 2-й конф. Москва: РАНХиГС, 2012. С. 18. <http://www.ситцентр.рф/archive/2012/obzor.html>.*
6. *Doran G. T. There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives // Management Rev., 1981. Vol. 70. Iss. 11. P. 35–36.*
7. *Grant T., Kooter B. Comparing OODA & other models as operational view C2 architecture // The Future of C2: 10th Command and Control Research and Technology Symposium (International) Proceedings. — McLean, VA, USA, 2005. http://www.dodccrp.org/events/10th_JCCRTS/CD/papers/196.pdf.*

FORMATION OF THE GOALS SYSTEM FOR SITUATIONAL CONTROL

A. P. Suchkov

IPI RAN, Moscow, Russia, asuchkov@ipiran.ru

Abstract: The basic principles of structure, content, and implementation of the system of goals in the management real-time systems, connected with a situational analysis, are discussed. Well-known criteria SMART is used to check the effectiveness of goal-setting in control systems and formalization of the OODA

cycle management. In accordance with the chosen ways of formalization, the model list of essential management purposes is formed by sections of observation, orientation, decision, and action. The issues of specifying the goals, quantitative evaluation of their achievements, and the generalized criteria of efficiency of management on the basis of situational analysis are discussed. It is shown that the quantitative indicators of the degree of implementation of goals must be based on a combination of objective indicators of management and methods of expert and statistical estimation of parameters of the external environment.

Keywords: management system; situational analysis; system of goals

DOI: 10.14357/08696527130213

References

1. Beer, S. 1981. *Brain of the firm*. 2nd ed. L.–N.Y.: John Wiley & Sons.
2. Suchkov, A. P. 2011. Situacionnyj podhod i informacionnaja model' predmetnoj oblasti v pravoohranitel'noj sfere [Situational approach and information model of a subject domain in the law enforcement sphere]. *Metody postroenija i tehnologii funkcionirovaniya situacionnyh centrov* [Methods of construction and technology of operation of situational centers]. M.: IPI RAN. 76–88.
3. Zatsarinnyy, A. A., and A. P. Suchkov. 2012. Nekotorye podhody k situacionnomu analizu potokov sobytij [Some approaches to the situational analysis of the flows of events]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education] 1:39–45.
4. Zatsarinnyy, A. A., A. P. Suchkov, and S. V. Kozlov. 2012. Osobennosti proektirovaniya i funkcionirovaniya sistemy situacionnyh centrov [Features of the design and operation of the situational centers]. *Sistemy vysokoj dostupnosti* [High Availability Systems]. 8(1):12–21.
5. Suchkov, A. P. 2012. Dva podhoda k situacionnomu analizu potokov sobytij [Two approaches to the situational analysis of the flows of events]. *Materialy 2-j konferencii "Situacionnye centry: Fokus kross-otraslevyh interesov"* [2nd Conference “The Situational Centers: The Focus of Cross-Sectoral Interests” Proceedings]. Moscow. 18. Available at: <http://www.ситцентр.рф/archive/2012/obzor.html>.
6. Doran, G. T. 1981. There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Rev.* 70(11):35–36.
7. Grant, T., and B. Kooter. 2005. Comparing OODA & other models as operational view C2 architecture. *10th Command and Control Research and Technology Symposium (International) “The Future of C2” Proceedings*. McLean, VA, USA. Available at: http://www.dodccrp.org/events/10th_CCRTS/CD/papers/196.pdf.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПАТТЕРН ОРГАНИЗАЦИИ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ

A. B. Колесников¹, A. A. Меркулов²

Аннотация: Предложена междисциплинарная технология организации систем управления, опирающаяся на подходы технетики, организационной кибернетики и аутопойезиса. Разработан инвариантный паттерн моделирования — VSM (Viable System Model, модель жизнеспособности системы) Cenose, представленный в виде абстрактной модели и платформы проектирования ситуационных центров (СЦ) — компьютерных систем поддержки принятия решений (КСППР), реализованный на ее основе. Платформа «Ситуационный центр VSM Cenose» может использоваться для предприятий и организаций различного рода деятельности, формы собственности, способа учета, разме-ра, сложности и других параметров. Разработан механизм проецирования паттерна от метамодели, через абстрактную и конкретную модель на ландшафт предприятий и организаций. Показаны преимущества проектирования и управления на основе единой контекстной информационной среды, позволяющей свободно перемещаться по всем уровням иерархических структур и сохранять общий контроль над ситуацией без потери детальности.

Ключевые слова: паттерн проектирования; технетика; организационная кибернетика; аутопойезис; системы поддержки принятия решений; ситуационный центр

DOI: 10.14357/08696527130214

1 Введение

Одно из эффективных средств повышения качества принятия коллективных решений — СЦ [1–6] — КСППР, построенная на целостном подходе, отображающем все аспекты деятельности системы управления. Разработка (проектирование) СЦ — сложный, наукоемкий и трудоемкий процесс, включающий взаимообусловленный комплекс математических, информационных, программных, технических, организационных, правовых и других обеспечений. Отсюда и высокая стоимость проектирования, по экспертным оценкам составляющая на федеральном уровне миллиарды, а на региональном — сотни миллионов рублей.

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининградский филиал Института проблем информатики Российской академии наук, avkolesnikov@yandex.ru

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, alex.merkulov@mail.ru

Развитие обеспечения КСППР следует эволюции структур систем управления, на которую впервые обратил внимание Д. А. Поспелов [7]: от простых систем без и с обратной связью к системам управления с адаптацией и, наконец, к системам управления с моделью. Для подобных систем успешно решались хорошо формализуемые на языке математики задачи. Для систем управления с моделью уже была возможна разработка эвристических, логико-лингвистических описаний [7] трудноформализуемых задач. Последующая эволюция структур систем управления пошла по пути многомодельных, гибридных и гибридных адаптивных систем управления [4]. Это позволило использовать для математического, информационного и программного обеспечения автоматизации сложных задач [4] широкий спектр наработанных в XX в. методов и моделей поддержки принятия решений в исследовании операций, теории принятий решений, системном анализе, теории управления, в области информатики и искусственного интеллекта [4]. Также начался процесс интеграции существующих решений для все более и более усложняющихся задач управления и обработки информации [4].

Сегодня для обеспечения автоматизированного управления на предприятиях и в отраслях применяются десятки и сотни тысяч программно-технических комплексов, отображающих те или иные аспекты деятельности: системы управления технологическими процессами и предприятием в целом (MRP (Material Requirements Planning), CRM (Customer Relationship Management), ERP (Enterprise Resources Planning), CSRP (Customer Synchronized Resources Planning)) [8–10]; специализированные технологии управления (PM (Project Management), BSC (Balance ScoreCard), KPI (Key Performance Indicators), TOC (Theory Of Constraints), TPS (Toyota Production System)) [11, 12]; технологии анализа данных (BI (Business Intelligence), ETL (Extraction, Transformation, Loading), OLAP (OnLine Analytical Processing)) [12]; архитектурные решения (SOA (Service-Oriented Architecture), ESB (Enterprise Service Bus), EDA (Event-Driven Architecture), RTE (Real Time Enterprise)) [13, 14]; специализированный инструментарий описания организационных структур (BPEL (Business Process Execution Language), BPwin (Windows Business Process), UML (Unified Modeling Language)) [13]; глобальные средства мониторинга (BAM (Business Activity Monitoring), CEP (Complex Event Processing)) [14, 15] и др. Аналогичная ситуация и с моделями организаций систем управления, где только классификация подходов к анализу и синтезу организационных структур [16] насчитывает 8192 класса моделей структур, каждый из которых содержит огромное число сложных задач.

Такое разнообразие наряду с очевидным достигнутым в проектировании положительным эффектом имеет и негативные стороны:

- (1) возникают принципиальные и существенные трудности, связанные с использованием наработанных моделей поддержки принятия решений в рамках интегрированных баз данных, баз знаний, из-за отсутствия соответствую-

ющих средств математического, информационного, программного и прочего обеспечения автоматизированного решения задач. Вследствие этого стало актуальным согласование различных моделей организаций, программных систем и технических средств, учет профессиональных знаний и опыта экспертов. Справиться с такой калейдоскопической картиной без целостных моделей организации невозможно;

- (2) лицо, принимающее решения (ЛПР) как в вертикальных, так и в горизонтальных организационных структурах систем управления, оказалось наименее всего обеспеченным информационной поддержкой вследствие того, что инструментальные средства традиционно создавались для нижних иерархических уровней управления и экспертов горизонтальных структур. Согласно С. Биру [1], сегодня актуально не то, какую новейшую технологию применить, а как представить предприятие (организацию) целостным образом релевантно уровню развития этих технологий;
- (3) разнообразие типов и уровней представления данных и знаний (количественных, качественных, неопределенных, нечетких) привело к разрыву информационных связей систем, поддерживающих индивидуальные решения экспертов и решения ЛПР;
- (4) отсутствие платформы для автоматизированного проектирования видов обеспечения СЦ на основе целостной модели организации;
- (5) экспоненциальный рост трудозатрат, себестоимости и времени на проектирование СЦ, а также высокие эксплуатационные расходы. Анализ показывает, что создание и внедрение СЦ на региональном уровне занимает от 3 до 5 лет.

Таким образом, задача заключается в том, чтобы синтезировать образец (шаблон), который бы давал целостную картину предприятия, организации и снимал противоречие между возрастающей сложностью управленческих задач, с одной стороны, и ограниченными возможностями существующих частных (односпектральных) моделей, с другой. Такой шаблон, относящийся к классу концептуальных моделей [4], будучи положенным в основу соответствующего программного продукта и взаимодействуя с разработчиком, копируется, тиражируется, самовоспроизводится, трансформируется в результирующие модели (математическое обеспечение), базы данных и знаний (информационное обеспечение), программный продукт (программное обеспечение) в условиях конкретного проекта СЦ.

Один из ранних подходов к решению этой задачи — проектирование автоматизированных систем управления (АСУ) с использованием типовых проектных решений [17, 18]. В этом случае одному из отраслевых конструкторских бюро (научно-исследовательских институтов) поручалось создать проект не конкретного автоматизированного управления, например АСУ Калининградским рыбным портом, а типовую АСУ МОРРЫБПОРТ, которая передавалась в другие отраслевые организации для разработки на ее базе АСУ других рыбных портов.

При этом трудозатраты и сроки разработки конкретных систем значительно сокращались.

В рамках концептуального проектирования используются конструкты [19] — идеальные, как правило, формальные объекты, отделенные от предметной интерпретации.

Для автоматизации проектных работ в архитектуре, строительстве, судостроении, машиностроении, информатике (программном обеспечении) и других отраслях продолжает широко применяться прошлый опыт типового проектирования с использованием паттернов (*англ. pattern* — образец, шаблон, система), обозначающих закономерную регулярность, встречающуюся в природе, технике и обществе, а также повторяющийся шаблон, образец решения задачи проектирования в рамках часто встречающихся проблемных сред. Известны паттерны проектирования [20], паттерны программирования [21] и др.

Паттерн организации СЦ должен проецироваться на проект конкретного СЦ независимо от формы собственности, рода деятельности, размера и других параметров предприятия или организации.

После разработки такого паттерна (концептуальной модели) организации и программной платформы на ее основе станет возможным повышение качества и эффективности работы ЛПР (сокращение времени на принятие решений) и снижение трудозатрат разработчиков СЦ в 5–10 раз, а демонстрационный прототип СЦ может быть создан уже за два месяца.

2 Аналитический обзор методов организации ситуационных центров

Многозначный термин «организация» из теории управления, теории систем и системного анализа [22, 23] в настоящей работе применяется в трех смыслах: (1) как свойство материальных и абстрактных систем обнаруживать взаимозависимое поведение частей системы в рамках целого; (2) как система, объединение людей, совместно реализующих программу (цель) и действующих по определенным процедурам или правилам; (3) как процесс, действия по образованию и совершенствованию отношений частей и целого. Во втором смысле термин используется для обозначения объединений людей в рамках административно-территориального деления на «районы», «префектуры», «муниципалитеты», «регионы», а также объединений по отраслям народного хозяйства.

Получили распространение три метода организации СЦ: типовые проектные решения [17, 18], конструкты [19] и паттерны [20, 21].

Типовое проектное решение автоматизированного управления — комплект технической документации, содержащий проектные решения по части объекта проектирования, включая программные средства, и предназначенный для многократного применения в процессе разработки, внедрения и функционирования АСУ с целью уменьшения трудоемкости разработки, сроков и затрат на создание

АСУ и ее частей [24]. Успехи автоматизированного управления в СССР в период 1960–1991 гг. связаны в значительной степени и со стандартизацией типового проектирования [17, 18].

Конструкты — понятие, вводимое гипотетически (теоретическое знание) или создаваемое по поводу наблюдаемых событий или объектов (эмпирическое знание) по правилам логики с жестко установленными границами и правильно выраженное на определенном языке. Как правило, конструкты оформляются в зоне перехода от эмпирического знания к концептуальному и обратно и выполняют функции перевода между эмпирическими и теоретическими языками и логиками. По сути, они заполняют обнаруженные пустоты в структуре знания и не имеют самостоятельного значения вне знания, в котором они сконструированы [19].

Паттерн — шаблон, повтор чего-либо. Сегодня используется в различных предметных областях: архитектуре, строительстве, медицине, информатике — для анализа, тестирования, проектирования и др. В конкретном случае шаблон уточняется. В настоящей работе применяется понятие «паттерн проектирования» — концептуальная модель, повторимая конструкция как решение проблемы отображения инвариантных, структурных и ресурсных свойств предприятия, организации в математическом, информационном и программном обеспечении автоматизированного управления посредством СЦ.

Сравнительный анализ методов и подходов, их достоинства и недостатки, взаимосвязь понятий приведены в табл. 1.

Поскольку большинство методов и моделей построено на основе меристических подходов [16] (метод исследования, предполагающий определение закономерностей, описывающих объект на основе индукции закономерностей, описывающих его элементы), а для разработки СЦ требуется целостный взгляд на управляемый объект, в данной работе организации исследуются с холистической точки зрения (метод научного исследования, в рамках которого объект рассматривается как единое целое, а в качестве значимых выделяются закономерности, отражающие данную целостность). Из совокупности проанализированных холистических подходов, представленных в тектологии [26], концептуальном проектировании [19], неогеографии [27], гомеостатике [28], объектно-ориентированной парадигме [29], общей формальной технологии [30], аутопойезисе [3], системной теории социальных систем [25], организационной кибернетике [1] и технетике [5], для синтеза модели были выбраны аутопойезис, системная теория социальных систем, организационная кибернетика и технетика.

В первом квадранте табл. 1 сравниваются меристические и холистические подходы по восьми выделенным свойствам. Критерий выбора холистического подхода — представление организации как единого целого, от общего к частному, от синтеза к анализу, на основе единой модели. Во втором квадранте показаны научные школы холистического подхода, знания которых использовались для

Таблица 1 Сравнительный анализ методов и подходов, их достоинства и недостатки, взаимосвязь понятий

Первый квадрант			
№	Характеристика подходов	M	X
1	Одна модель	0	+
2	Предприятие, организация — единое целое	0	+
3	Разные модели, данные, знания	+	0
4	Интеграция моделей, данных, знаний	+	0
5	От анализа к синтезу	+	0
6	От частного к общему	+	0
7	От синтеза к анализу	0	+
8	От общего к частному	0	+

Третий квадрант			Второй квадрант				Четвертый квадрант		
Свойства организаций			Научные школы				Свойства подходов		
0	0	+	Аутопойезис [3, 25]				0	+	+
0	+	0	Технетика [5]				0	+	0
+	0	0	Организационная кибернетика [1]				0	+	0
Э	Г	Ц	Определение организации [22, 23]				И	P	C

Обозначения: +, 0 — наличие, отсутствие свойства; М и Х — меристический и холистический подходы; Э — эмерджентность; Г — гомеостаз; Ц — целостность; И, Р и С — инвариантные, ресурсные и структурные свойства.

построения паттерна. В третьем квадранте даны основные свойства организаций: целостность, эмерджентность, гомеостаз — и их взаимосвязь с научными школами. В четвертом показаны свойства, которые описывают подходы и их взаимосвязь со свойствами организаций и научными школами. И, наконец, в последнем квадранте отображена взаимосвязь наиболее общего определения организации [22, 23] с методами описания этих свойств (четвертый квадрант) и со свойствами организаций (третий квадрант).

Анализ подходов и методов показывает, что для конструирования универсального паттерна целесообразно использовать подходы аутопойезиса, технетики и организационной кибернетики.

3 Универсальный паттерн VSM Cenose

Универсальный паттерн VSM Cenose (от англ. *cenosis* — ценоз) разработан как междисциплинарный паттерн проектирования путем объединения подходов аутопойезиса, технетики и организационной кибернетики и представляет собой шаблон самовоспроизводящейся организации ценологического типа с VSM-подобной системой управления. Паттерн VSM Cenose единообразно моделирует инвариантные, ресурсные и структурные свойства любой организации.

В рамках данного подхода человек естественным образом становится частью этого паттерна и разрабатываемых алгоритмов в рамках функционального элемента, где происходит образование гибридной человеко-машинной системы, в которой компоненты все больше и больше зависят друг от друга. В частном случае функциональный элемент может работать без участия человека. Использование паттерна не только снижает научность проектов, сокращает количество «откатов» назад, время на разработку, но и повышает качество результатов проектирования за счет широкого распространения знаний о прогрессивных методах проектирования, снижающих число системных ошибок. Руководители на основе паттерна могут производить реинжиниринг организации и задействовать все системные уровни управления.

Для описания паттерна использован язык теории систем и системного анализа «вещь—свойство—отношение» А. И. Уемова [31] и его преобразование к теории предметной области «ресурс—свойство—действие—отношение» А. В. Колесникова [4]. Для метамодели — это ресурсы (сущность, субъект, объект) и отношение. Для абстрактной модели это операция, функциональный элемент, кластер, ценоз.

Сущность — нечто материальное или нематериальное, обладающее набором свойств и функциональных возможностей. В рамках подхода общей формальной технологии [30] и объектно-ориентированной парадигмы в общем виде сущность представляется в следующем виде:

$$e_i = \langle \{\gamma_{ik}, \gamma_{il}, \dots, \gamma_{im}\}, \{\gamma_{ij} = \varphi_j(\gamma_{in}, \dots, \gamma_{jk}), \dots, \gamma_{ir} = \varphi_r(\gamma_{im}, \dots, \gamma_{rj})\} \rangle,$$

где e_i — i -я сущность; γ_{ik} — k -е свойство i -й сущности; φ_i — j -я функциональность i -й сущности. В первых фигурных скобках — множество свойств сущности; во вторых фигурных скобках — множество функциональностей.

Субъект — активная сущность с предопределенной функциональностью. Объект — пассивная сущность без предопределенной функциональности. Отношение — пара сущностей, характеризующаяся способностью одной из них

реализовать ровно одну функцию по изменению связей (своих и второй сущности). Ресурс — сущность, объект операции. Операция — любая процедура, тем или иным образом влияющая на сущности, находящиеся в отношении, и / или на их взаимное расположение:

$$F_i(x_1, \dots, x_n, \alpha_1, \dots, \alpha_t) \rightarrow \langle y_1, \dots, y_n, \beta_1, \dots, \beta_t \rangle,$$

где x_1, \dots, x_n — исходные сущности операции F_i ; y_1, \dots, y_n — объекты — результаты операции F_i ; последовательности $\alpha_1, \dots, \alpha_t$ и β_1, \dots, β_t — наборы параметров из числовых и нечисловых множеств.

Функциональный элемент — сущность, субъект операции, обладающий свойствами целостности, эмерджентности и гомеостаза, выделенный по структурно-функциональному признаку и далее не делимый. Кластер (подсистема) имеет в составе функциональные элементы и кластеры меньшей размерности. Ценоз обладает ценологическими свойствами и имеет в составе функциональные элементы, кластеры и ценозы меньшей размерности.

3.1 Принцип проектирования ситуационного центра как самовоспроизводящейся организации (свойство инвариантности)

Согласно Н. Луману [25], в результате аутопойезиса самовоспроизводятся инвариантные свойства предприятия, организации: (1) целостность; (2) системная дифференциация; (3) открытость организации; (4) редукция комплексности; (5) операционная замкнутость; (6) самореференция; (7) коммуникация; (8) смысл.

Свойства целостности, системной дифференциации и открытости организации (свойства 1–3) формализуются следующей формулой баланса ресурсов:

$$\sum_{tik} (R_{ik}^t + D_{ik}^t) C_{R_{ik}^t} = \sum_{tik} (r_{ik}^t + K_{ik}^t) C_{r_{ik}^t}, \quad (1)$$

где R — количество ресурса, входящего в организацию (шт.); r — количество ресурса, исходящего из организации (шт.); C_R — стоимость входящего ресурса (руб.); C_r — продажная стоимость исходящего ресурса (руб.); t — момент времени (год, месяц, число, час, минута); i — индекс ресурса; k — индекс внешней организации; D_{ik}^t — долг поставщика ресурса (дебет, руб.); K_{ik}^t — долг организации перед получателем (кредит, руб.).

Расчетами и вычислением баланса по (1) обеспечиваются условия гомеостаза в моделях организации как открытой системы, обменивающейся ресурсами с внешней средой. Модели — составная часть математической составляющей автоматизированного управления.

Свойство редукции комплексности (свойство 4) обеспечивается типизацией ресурсов и предприятий, организаций в процессе проектирования и занесения данных в платформу «Ситуационный центр VSM Cenose» [32]. Пример редукции комплексности приведен на рис. 1. Здесь показан один из возможных вариантов типизированного представления внешней среды в СЦ.

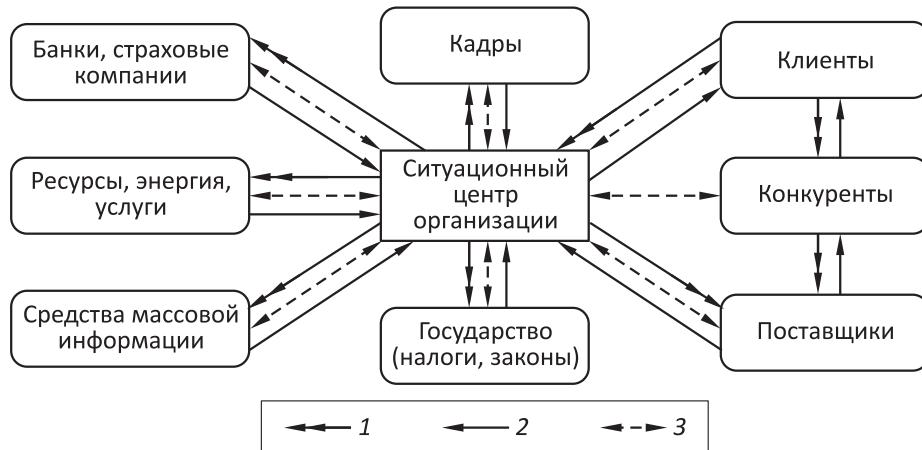


Рис. 1 Концептуальная модель взаимодействия СЦ с внешней средой: 1 — финансы; 2 — ресурсы; 3 — информация

Свойство операционной замкнутости (свойство 5) характеризует обязательное наличие замкнутых производственных, технологических и других циклов, обеспечивающих целостность, гомеостаз и эмерджентность в моделях предприятия, организации. Гомеостаз относительно оптимального состояния организации формализуется в соответствии с ценологическим подходом [5]. Свойство эмерджентности формализовано в соответствии с подходами Бира [1].

Свойство самореференции (свойство 6), т. е. обязательного самосогласования частей организации, реализуется в плагинной архитектуре СЦ. Свойство коммуникации (свойство 7) обеспечивается наличием в СЦ возможности получать и выдавать информацию в режимах онлайн, офлайн и ручной ввод. Свойство смысла (свойство 8) — совокупность внутриорганизационных положений и инструкций, традиций, ценностей, личных связей и эмоций людей, других формализуемых и неформализуемых особенностей, которые могут либо увеличивать, либо уменьшать жизнеспособность организации. При полном отсутствии смысла наступает кризис или закрытие организации. В рамках данного паттерна смысл организации — в сохранении жизнеспособности.

3.2 Принцип проектирования ситуационного центра как системы ценологического типа (ресурсные свойства)

Согласно Б. И. Кудрину [33] и В. И. Гнатюку [5], организацию можно считать системой ценологического типа (техноценозом), если она отвечает проверке на Н-распределения [5], предварительной процедуре рангового анализа выпол-

нения на выборке центральной предельной теоремы: с ростом выборки среднее стремится к математическому ожиданию, а дисперсия — конечна. Невыполнение данного условия относит выборку к классу негауссовых распределений и определяет применение к ней методов рангового анализа. На практике системы ценологического типа — это любые муниципальные и региональные структуры, средние и крупные предприятия, т. е. те структуры, где реально может потребоваться внедрение СЦ. В других случаях можно использовать подходы Горского и др. [28] к гомеостазу социальных организаций.

Закон оптимального построения техноценоза [5] гласит: оптимальный техноценоз имеет такой набор технических изделий, который, с одной стороны, по своим совокупным функциональным показателям обеспечивает выполнение поставленных задач, а с другой — характеризуется максимальной энтропией, т. е. суммарные энергетические ресурсы, воплощенные в технические изделия при их изготовлении, распределены по популяциям видов техники. Условия теоретически оптимального состояния техноценоза — система интегро-дифференциальных уравнений, математически описывающих законы термодинамики в понятиях техноценологического подхода для технических изделий, образующих техноценоз:

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_0^{\infty} W_j(x) dx \right) = \\ & = \int_0^{\infty} \Omega(y) dy \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_{r_{ji}}^{r_{ji+1}} W_j(x) dx \right) = W_{\Sigma} = \text{const}; \\ & \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_{r_{ji}}^{r_{ji+1}} w_j(x) dx \right) = \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_{r_{ji}}^{r_{ji+1}} \mu_j(x) dx \right) = \frac{W_{\Sigma i}}{2} = \text{const}; \\ & \int_{r_{ji}}^{r_{ji+1}} W_j(x) dx = \Lambda(r_{Bi}) \mathbb{M}[W_j(r_{ji})] = W_{\Sigma ji} = \text{const}; \\ & r_{ji} = \int_{r_{Bi}}^{\infty} \Lambda(x) dx; \\ & \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_0^{\infty} \omega_j(x) dx - \int_0^{\infty} \mu_j(x) dx \right) = 0; \\ & \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_0^{\infty} \omega_j(x) dx + \int_0^{\infty} \mu_j(x) dx \right) = \sum_{j=1}^{\infty} \left(\int_0^{\infty} W_j(x) dx \right), \end{aligned} \right\} (2)$$

где $W_j(r)$ — ранговое параметрическое распределение функциональных элементов в организации по j -му параметру; $\Omega(y)$ — видовое (типовое) распределение организации (y — мощность популяции); $\Lambda(r_B)$ — ранговое видовое (типовое) распределение организации; r_{ji} — ранг i -го вида (типа) по j -му параметру; r_{Bi} — видовой (типовой) ранг i -го вида организации; $\Lambda(r_{Bi})$ — количество функциональных элементов организации i -го вида (типа) в организации (мощность популяции); $M[W_j(r_{ji})]$ — математическое ожидание значения j -го параметра для функциональных элементов i -го вида (типа); W_Σ — суммарный параметрический ресурс, требуемый организации для выполнения функционального назначения ($W_{\Sigma i}$ — для i -го вида (типа)); $\omega_j(r)$ — ранговое параметрическое распределение функциональных элементов организации по j -му параметру, имеющему смысл полезного эффекта (виdeoобразующему); $\mu_j(r)$ — ранговое параметрическое распределение функциональных элементов организации по j -му параметру, имеющему смысл энергетических затрат (функциональному); x — непрерывный аналог ранга.

В данном случае исследуется не конкретный тип сущностей (технические изделия), а функциональные элементы, в общем случае представляющие собой комбинации, — человек, человек и ресурсы, человек и техническое изделие, техническое изделие. Использование в формулах (2) функциональных элементов вместо технических изделий позволяет в рамках паттерна VSM Cenose расширить [38] использование закона оптимального построения техноценоза [5] на ценоз.

В системе (2) первые четыре уравнения отражают реализацию принципа неубывания энтропии, неотвратимо ведущего развивающуюся организацию к состоянию, в котором наличествующий в системе суммарный параметрический ресурс W_Σ распределяется равномерно по популяциям типов функциональных элементов ($W_{\Sigma ji} = const$) и одновременно неравномерно, с максимальной диссимметрией — по отдельным функциональным элементам. Пятое и шестое, а также частично второе уравнения выражают для организации закон сохранения энергии в параметрической форме, показывая, что любое изменение videoобразующих параметров, используемых в организации функциональных элементов ($\omega_j(r)$), неизбежно сопряжено с энергетически равнозначным изменением функциональных параметров, имеющих смысл затрат как на формирование данных функциональных элементов, так и на их эксплуатацию в данной инфраструктуре ($\mu_j(r)$).

Решение системы интегро-дифференциальных уравнений (2) — система видовых и ранговых распределений оптимального состояния ценоза, позволяющих создать на его основе взаимоувязанный комплекс оптимизационных процедур математического обеспечения автоматизированного управления для решения задач параметрической (изменение параметров функциональных элементов) и номенклатурной (изменение набора функциональных элементов) оптимизации.

3.3 Принцип проектирования ситуационного центра как организации с VSM-подобной системой управления (структурные свойства)

В качестве рабочей системы управления выбрана VSM-модель Бира [1]. Она построена рекурсивно [1] строению человека. В соответствии с теоремой о рекурсивных системах [1] организация, имеющая в своем составе на нижнем иерархическом уровне жизнеспособную систему — человека, сама будет жизнеспособной. Данная схема управления организацией на уровне абстрактной модели представлена на рис. 2.

В модели выделено пять уровней. Система 5 (VSM5) — высшее управление. Система 4 (VSM4) — главный переключатель между высшим стратегическим управлением и нижестоящим автономным текущим управлением организаций. На четвертом уровне находится СЦ. Система 3 (VSM3) обеспечивает автономное управление в соответствии с «решениями» систем 4 и 5. Система 2 (VSM2) осуществляет нижний уровень взаимосвязей кластеров и / или функциональных

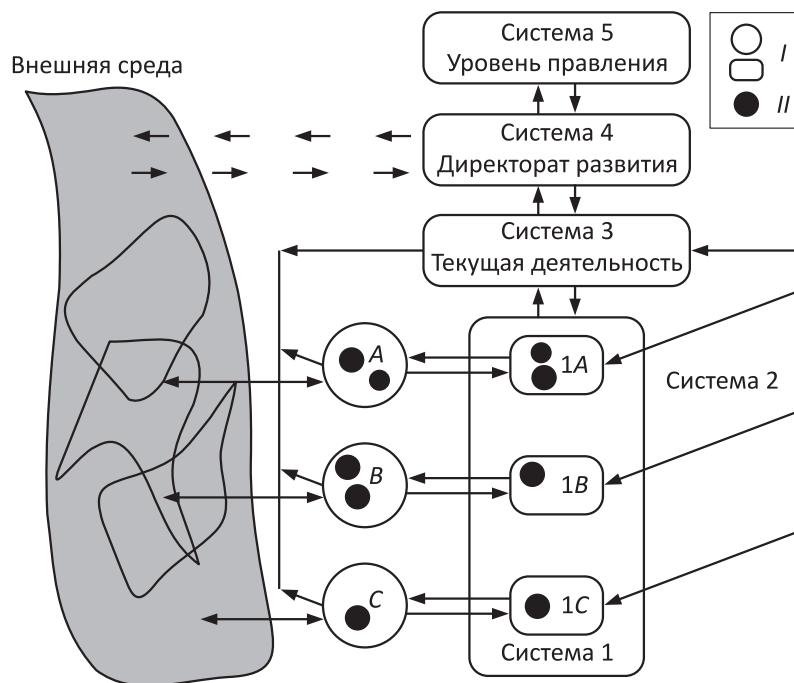


Рис. 2 Схема управления VSM Cenose: A, B, C — кластеры (подразделения предприятия, организации); 1A, 1B, 1C — система 1 (руководители кластеров); система 2 — система регулирования кластеров; I — кластеры; II — функциональные элементы

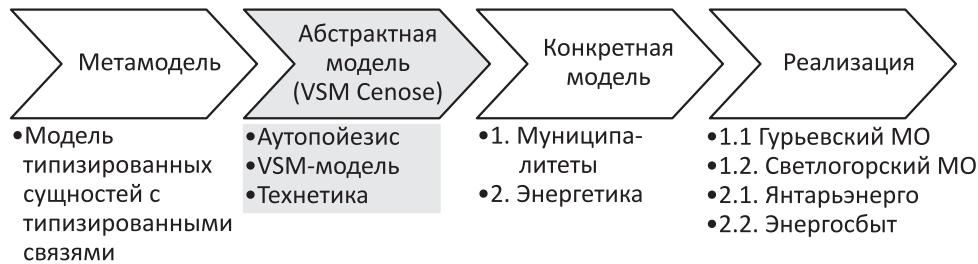


Рис. 3 Общая схема проецирования паттерна на конкретную организацию, предприятие

элементов, обеспечивая их взаимодействие по установленным правилам. Система 1 (VSM1) управляет функциональными элементами и/или кластерами под контролем систем 2 и 3. VSM0 — функциональный элемент и/или кластер, отвечающий за реализацию некоторой функции в организации.

Применение VSM-подобной системы управления в организационной структуре — первый шаг по снижению меры сложности, возникающей при управлении организацией, и обеспечению самоподобия системы, начиная от человека как наименьшей структурной единицы до предприятия, города, отрасли и т. д.

Общая схема взаимодействия моделей паттерна при проецировании на конкретную организацию приведена на рис. 3.

Метамодель построена и реализована в реляционной базе данных [34, 35] на основе типизации понятий «сущность», «субъект», «объект» и отношений между ними [32]. Операция, функциональный элемент и ресурс определены на основе понятий метамодели, что обеспечивает ее взаимодействие с паттерном VSM Cenose — абстрактной моделью. Конкретная модель строится из абстрактной путем добавления специфических особенностей в ходе проектирования и документируется в составе математического обеспечения. Реализация отличается от конкретной модели наличием контента и представляет собой предметно- и проблемно-ориентированный программный продукт с унаследованными от паттерна VSM Cenose свойствами для применения в компьютерной системе поддержки принятия решений — СЦ — и документируется в составе программного обеспечения.

4 Программный продукт «Ситуационный центр VSM Cenose»

Рассмотренные выше принципы реализованы в программном продукте «Ситуационный центр VSM Cenose» для автоматизации проектирования СЦ.

Основные функциональные возможности СЦ VSM Cenose [36], реализуемые для предприятий и организаций инвариантно их ресурсной и структурной базе независимо от их рода деятельности, формы собственности, способа учета и любых других параметров:

- (1) отображение внешней среды с помощью специализированного многомерного и многофакторного графического интерфейса;
- (2) представление графической динамической модели внутренней среды в виде потоков материалов, финансов, персонала и т. д.;
- (3) обеспечение автоматизированного решения задач прогнозирования, нормирования и интервального оценивания;
- (4) объединение различных способов описания;
- (5) представление пользователю информации в соответствии с принципами: от общего к частному, сверху вниз, от синтеза к анализу;
- (6) расширение функциональности комплекса в процессе эксплуатации за счет «миграции» технологических шаблонов как между иерархическими уровнями системы управления, так и между разными предметными областями вследствие удовлетворения принципам рекурсии, самоподобия и фрактальности;
- (7) взаимообмен данными с программами сторонних разработчиков.

Программный комплекс реализован на языке C#, среда разработки: Visual Studio 2012. Число пользователей ограничивается возможностями установленного SQL-сервера (SQL 2008/2012). Используемая ОС: Windows XP/Vista/7/8/, Windows Server 2003/2008/2012. Минимальные характеристики ЭВМ: ПЭВМ с оперативной памятью 2 ГБ и выше, процессор Intel Pentium IV Celeron 1800 МГц и выше, SVGA-дисплей, свободное место на жестком диске 500 МБ.

На СЦ VSM Cenose, базу данных VSM Cenose и плагины VSM Cenose получено 25 авторских свидетельств, зарегистрированных в Роспатенте.

5 Методика использования программного продукта «Ситуационный центр VSM Cenose» при разработке ситуационных центров

Схема проектирования паттерна (рис. 3) положена в основу инженерной методики организации работ и применения программного продукта «VSM Cenose» для проектирования СЦ. Она охватывает все определенные стандартами этапы работ по созданию автоматизированных систем. В табл. 2 приведены основные стадии и этапы создания СЦ [37] и те преимущества, которые дает использование паттерна и платформы VSM Cenose.

Из табл. 2 видно, что основного эффекта от использования программного продукта «Ситуационный центр VSM Cenose» следует ожидать на этапе рабочего проектирования за счет сокращения трудозатрат на разработку и отладку программного обеспечения. К тому же требуются значительно меньшие усилия от постановщиков задач, алгоритмистов на этапе технического проектирования, а

Таблица 2 Стадии и этапы создания СЦ

Этапы работ	Содержание работ	O	VSM
1. Формирование требований к СЦ	1.1. Обследование объекта и обоснование необходимости автоматизированного управления и создания СЦ	P	P
	1.2. Формирование требований пользователя к СЦ	P	A/P
2. Разработка концепции СЦ	2.1. Изучение объекта автоматизации	P	P
	2.2. Проведение научно-исследовательских работ	P	A/P
	2.3. Разработка и выбор варианта концепции СЦ, удовлетворяющего требованиям пользователя	P	A/P
3. Разработка ТЗ	3.1. Разработка и утверждение ТЗ на создание СЦ	P	P
4. Эскизное проектирование	4.1. Разработка предварительных проектных решений по СЦ и его частям	P	A/P
	4.2. Разработка документации на СЦ и его части	P	P
5. Техническое проектирование	5.1. Разработка проектных решений по СЦ и его частям: – разработка математического обеспечения, моделей, постановок задач и алгоритмов из функциональной части;	P	A/P
	– разработка решений по информационному обеспечению, баз данных и баз знаний		
	5.2. Разработка документации на СЦ и его части	P	P
	5.3. Разработка и оформление документации на поставку изделий для комплектования СЦ и (или) технических требований (ТЗ) на их разработку	P	P
	5.4. Разработка заданий на проектирование в смежных частях проекта объекта автоматизации	P	P
6. Рабочее проектирование	6.1. Разработка рабочей документации на СЦ и его части	P	P
	6.2. Разработка или адаптация программ: – разработка справочников; – разработка классификаторов; – разработка подсистемы цветового анализа данных; – разработка подсистемы Olap-анализа; – разработка индикаторов; – разработка подсистемы решения задач прогнозирования; – разработка подсистемы решения задач нормирования; – разработка подсистемы решения задач интервального оценивания	P	A/P

Окончание табл. 2 на с. 213

Таблица 2 (окончание) Стадии и этапы создания ситуационного центра

Этапы работ	Содержание работ	O	VSM
7. Ввод в эксплуатацию	7.1. Подготовка объекта автоматизации к вводу СЦ в действие	P	P
	7.2. Подготовка и обучение персонала	P	P
	7.3. Комплектация СЦ поставляемыми изделиями (программными и техническими средствами, программно-техническими комплексами, информационными изделиями)	P	A/P
	7.4. Опытная эксплуатация	P	P
	7.5. Приемо-сдаточные испытания	P	P
	7.6. Ввод в промышленную эксплуатацию	P	P
8. Авторское сопровождение	8.1. Обеспечение гарантийных обязательств	P	P
	8.2. Послегарантийное обслуживание	P	A/P

Обозначения: O — обычное проектирование; VSM — проектирование с использованием паттерна VSM Cenose; P — ручное проектирование; A — автоматизированное проектирование.

программирование могут выполнить специалисты менее опытные и квалифицированные.

6 Апробация методики и программного продукта

Апробация методики и программного продукта проводилась как в рамках государственных контрактов [38, 39], заключенных с Фондом поддержки развития малых форм собственности в научно-технической сфере в период с 2009 по 2013 гг., так и в конкретных организациях (СЦ «Интелэнергия» [40], СЦ «Антикризис» [41]). На всех этапах: обследование, разработка технического задания (ТЗ), рабочее проектирование, разработка программного обеспечения, ввод в эксплуатацию и опытная эксплуатация СЦ — работы велись в соответствии с комплексом стандартов [37, 42–45].

В ходе внедрения СЦ «Интелэнергия» (г. Калининград, ОАО «Янтарьэнерго») разработана и построена расчетная модель алгоритма обработки данных электропотребления в целях выявления аномалий, трендов и прогнозирования, произведено ее математическое описание, а также разработано программное обеспечение, реализующее алгоритмы выявления аномалий данных, трендов и прогнозирования. Кроме того, разработан алгоритм динамической адаптации расчетной модели, произведена проверка адекватности и точности расчетной модели, а также представлен проект методики мониторинга электропотребления регионального электротехнического комплекса ОАО «Янтарьэнерго». Использованы следующие методы прогнозирования: метод прогнозирования на основе модели авторегрессионного проинтегрированного скользящего среднего (APICC); метод прогнозирования на основе анализа сингулярного спектра ACC (SSA,

singular spectrum analysis), известный также под названием «Гусеница»; метод прогнозирования без фиксированной первой точки (БПТ); метод прогнозирования с фиксированной первой точкой (СПТ). С учетом технологии использования паттерна VSM Cenose данные технологии могут быть без программирования использованы в любых предметных областях, где будет организован поток данных в виде временных рядов.

В СЦ «Антикризис» (г. Тула, МЧС) основное внимание было сконцентрировано на онлайн-взаимодействии с городскими системами контроля состояния объектов жилищно-коммунального хозяйства, энергетики, паводковой обстановки и других объектов.

Обобщенно оба внедрения характеризуются следующими информационными характеристиками: размер базы данных — 6 Гб, количество записей в базе — 60 млн, число одновременно работающих пользователей — 40.

Готовится к внедрению в муниципальное образование Калининградской области СЦ «Муниципалитет» [46], в котором база данных занимает объем порядка 3 ГБ, количество записей в базе — 30 млн и число пользователей — 10.

Экспертные оценки результатов апробации показали:

- (1) работоспособность и эффективность инженерной методики, являющейся, по сути дела, системой управления проектированием СЦ, что приводит к уменьшению «откатов» назад и количества проектных ошибок;
- (2) работоспособность программного продукта «Ситуационный центр VSM Cenose»; его сегодняшнее состояние — промышленный образец, который дорабатывается до серийного;
- (3) способность базы данных VSM Cenose объединять различные способы описания в метамодели, что проявляется в снижении требований к квалификации разработчиков и ускорении времени внедрения СЦ при переходе к другим предметным средам;
- (4) возможность представления для ЛПР организационной структуры в целостном виде, что проявляется во взаимоувязанной многопараметрической визуальной картине всего предприятия (отображение на ГИС (городская информационная среда) карте внешней и внутренней среды, трехмерная схема критически важных объектов, электронная организационная схема) с табличным списком всех значимых субъектов, объектов, территорий, активностей и т. д., с детальной аналитической и синтетической картиной по ним в реальном масштабе времени;
- (5) снижение трудозатрат в первоначальном проектировании и внедрении в два раза;
- (6) снижение требований к квалификации и отсюда снижение себестоимости эксплуатации СЦ в 3 раза, уменьшение стоимости внедрения и владения продуктом в 5 раз.

В результате апробации экспериментально подтверждено улучшение качества принятия решений: прогнозирование электропотребления, получение информации в онлайн-режиме с контролируемых объектов в СЦ, систематизация информационных потоков и привязка их к месту и времени событий, обеспечение связи аналоговой информации (цветовой анализ) и цифровой, обеспечение единого информационного пространства для всего коллектива ЛПР.

7 Заключение

Разработка в нашей стране СЦ как КСППР на сегодняшний день не может быть оценена положительно. Причин много: от невостребованности в управлении и проектировании до значительной научно-, методико- и ресурсоемкости проектных работ. Утрачена и преемственность в теоретических (например, несправедливо забыто ситуационное управление Д. А. Поспелова и Ю. И. Клыкова), профессиональных знаниях и опыте автоматизации управления и обработки информации, накопленном в СССР в период с 1960 по 1991 гг., носителями которых была в основном отраслевая наука и отработанная государственная стандартизация. В многочисленных средствах и инструментах автоматизации управления и проектирования, приходящих из-за рубежа, зачастую просматриваются отечественные наработки прошлых лет, скрывающиеся за англоязычной терминологией и профессиональным жаргоном.

В настоящей работе приводится часть результатов, развивающих идею типовых проектных решений применительно к СЦ. Такое отечественное типовое решение получило название шаблон (паттерн) проектирования VSM Cenose, относящийся к классу концептуальных моделей.

Первый результат — спецификация шаблона СЦ как самовоспроизводящийся организации ценологического типа с VSM-подобной системой управления. Такой подход приводит к наследованию указанных свойств концептуальной модели конкретными реализациями СЦ и позволяет повысить качество принятия решений при использовании компьютерной обработки информации.

Второй результат — разработанный программный продукт: платформа «Ситуационный центр VSM Cenose», автоматизирующая копирование, проектирование шаблона на условия конкретной организационной структуры любого уровня для иерархических многоуровневых систем управления. Применение программного продукта по результатам апробации приводит к сокращению себестоимости эксплуатации СЦ в 3 раза и уменьшению стоимости внедрения в 5 раз.

Третий результат — схема и методика проектирования шаблона на конкретную предметную область и проблемную среду, а точнее автоматизированного проектирования СЦ с использованием программного продукта «Ситуационный центр VSM Cenose», взаимоувязанная с действующими стандартами на автоматизированное управление и информационную технологию. Поскольку схема и

методика могут рассматриваться как система управления действиями разработчика, то, получив программную поддержку, этот результат можно рассматривать как еще один шаг на пути создания отечественной технологии разработки СЦ. Использование схемы и методики сокращает количество откатов назад и ошибок проектирования.

Есть и еще один результат, который явно не просматривается в настоящей работе, но уже стал реальностью. Это инновационная среда, сформировавшаяся в Калининграде из научно-педагогических сотрудников института прикладной математики и информационных технологий Балтийского федерального университета им. И. Канта, Калининградского филиала Института проблем информатики РАН, проектировщиков платформы СЦ (ООО «Техноценоз» — www.vsmcenose.ru), проектировщиков конфигураций СЦ (ООО «Интелэнерго-39», www.gipercenose.ru; ООО «Интеллектуальный муниципалитет», ООО «Системы безопасности») и Ассоциации инновационных предприятий «НБИКС» (www.nbics.ru), способная не только развивать интеграцию средств гибридного и синергетического искусственного интеллекта и инструментариев автоматизированного проектирования СЦ, что составляет перспективу КСППР различных организаций, но и выступить в качестве научно обоснованной платформы формирования и управления деятельностью региональных инновационно-территориальных кластеров [47].

Литература

1. *Бир С. Мозг фирмы /* Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993. 416 с. (*Beer S. Brain of the firm. — 2nd ed. — L.-N.Y.: John Willey & Sons, 1981.*)
2. *Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. —* М.: Наука, 1986. 288 с.
3. *Матурана У. Р., Варела Ф. Х. Древо познания: биологические корни человеческого понимания /* Пер. с англ. — М.: Прогресс—Традиция, 2001. 224 с. (*Maturana H. R., Varela F. J. The tree of knowledge: The biological roots of human understanding. — Boston: Shambala Publs., 1987.*)
4. *Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. —* СПб.: СПбГТУ, 2001. 710 с.
5. *Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов. —* М.: ТГУ — Центр системных исследований, 2005. 384 с.
6. *Ильин Н. И., Демидов Н. Н., Новикова Е. В. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития. —* М.: МедиаПресс, 2011. 336 с.
7. *Поспелов Д. А. Логико-лингвистические модели в системах управления. —* М.: Энергоиздат, 1981. 232 с.
8. *Колесников С. Н. Инструментарий бизнеса: современные методологии управления предприятием. —* М.: Статус-Кво 97, 2001. 336 с.
9. *Гаврилов Д. А. MRP II — история и современность //* Директор ИС, 2003. № 4. С. 75–77. <http://www.osp.ru/cio/2003/03/172572/>.

10. Колесников С. Н. ERP потеряли, а SOA еще не приобрели // Открытые системы, 2005. № 2. <http://www.osp.ru/os/archive/2005/02>.
11. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Пер. с англ. — М.: Олимп-Бизнес, 2003. 304 с. (Kaplan R. S., Norton D. P. Balanced scorecard: Translating strategy into action. — Harvard Business School Press, 1996.)
12. Отоцкий Л. Н. Стаффорд Бир и новые аналитические средства КИС // Oracle Magazine: Russian Edition, февраль 2008. http://ototsky.mgn.ru/papers_my/OraMag/performance_vsm.htm.
13. Черняк Л. SOA + EDA = RTE // Computerworld Россия, 2005. № 5. <http://www.osp.ru/cw/archive/#2005/05>.
14. Черняк Л. Сложные события и мониторинг бизнеса // Открытые системы, 2005. № 2. <http://www.osp.ru/os/archive/2005/02>.
15. Luckham D. Power of events: An introduction to complex event processing in distributed enterprise systems. — Reading, MA: Addison-Wesley, 2002. 400 p.
16. Губко М. В., Коргин Н. А. Классификация моделей анализа и синтеза организационных структур // Управление большими системами: Сб. трудов. — М.: ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН, 2004. Вып. 6. С. 5–21.
17. Смилянский Г. Л., Амлянский Л. З., Бааранов В. Я. и др. Справочник проектировщика АСУ ТП. — М.: Машиностроение, 1983. 527 с.
18. Михалев С. Б., Седегов Р. С., Гринберг А. С. и др. АСУ на промышленном предприятии. Методы создания: Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1989. 400 с.
19. Никаноров С. П. Теоретико-системные конструкты для концептуального анализа и проектирования. — М.: Концепт, 2008. 384 с.
20. Фримен Эр., Фримен Эл. Паттерны проектирования / Пер. с англ. — СПб.: Питер, 2011. 656 с. (Freeman Er., Freeman El. Head first design patterns. — O'Reilly Media Publ., 2004.)
21. Хелм Р., Гамма Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. — СПб.: Питер, 2013. 368 с.
22. Большая советская энциклопедия. Т. 18. — М.: Советская энциклопедия, 1974. С. 473.
23. Математика и кибернетика в экономике: Словарь-справочник. — М.: Экономика, 1975. 700 с.
24. Халтурин В. С., Рогачев Н. Н., Некрылов Е. Н. и др. ГОСТ 24.703-85. Типовые проектные решения в АСУ. — М.: Министерство приборостроения, средств автоматизации и систем управления, 1985. 5 с.
25. Луман Н. Социальные системы. Очерк общей теории. — М.: Наука, 2007. 648 с.
26. Богданов А. А. Тектология: всеобщая организационная наука. — В 2-х кн. — М.: Экономика, 1989. Кн. 1 — 304 с. Кн. 2 — 351 с.
27. Неогеография: технология пространства–времени. <http://www.neogeography.ru>.
28. Горский Ю. М., Степанов А. М., Теслинов А. Г. Гомеостатика: гармония в игре произворечий. — Иркутск: Репроцентр, 2008. 634 с.
29. Буч Г., Якобсон И., Рамбо Дж. UML. Классика CS / Пер. с англ. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2006. 736 с. (Buch G., Jacobson I., Rambo J. Unified Modeling Language specification.)

30. *Крылов С. М.* Формальная технология и эволюция. — М.: Машиностроение, 2006. 384 с.
31. *Уемов А. И.* Системный подход и общая теория систем. — М.: Мысль, 1978. 272 с.
32. *Меркулов А. А.* Ситуационный центр VSM Cenose. — Калининград: Техноценоз, 2011. 314 с.
33. *Кудрин Б. И.* Введение в технетику. — Томск: ТГУ, 1993. 552 с.
34. *Меркулов А. А., Бращенко В. А., Дмитровский В. А., Нестеров П. А.* База данных «VSM Cenose»: Свид. № 2009620387 от 16.07.09.
35. *Меркулов А. А., Бращенко В. А., Дмитровский В. А., Майтаков Ф. Г.* Программа управления базой данных «VSM Cenose»: Свид. № 2010610873 от 27.01.10.
36. *Меркулов А. А., Гнатюк В. И., Дмитровский В. А., Майтаков Ф. Г., Луценко Д. В.* Ситуационный центр «VSM Cenose», версия 1.0: Свид. № 2010611665 от 02.03.10.
37. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. — М.: Стандартинформ, 2009. 16 с.
38. *Гнатюк В. И., Дмитровский В. А., Меркулов А. А. и др.* Разработка техноценологических расчетов для всех видов ресурсов организационной структуры (госконтракт № 6418р/9045 от 26.12.08). — Калининград, 2010. 262 с.
39. *Гнатюк В. И., Меркулов А. А., Дмитровский В. А. и др.* Разработка модели организации на основе паттерна «VSM Cenose» (госконтракт № 8013р/9045 от 30.4.10). — Калининград, 2011. 204 с.
40. *Меркулов А. А., Гнатюк В. И., Кивчун О. Р., Луценко Д. В., Шейнин А. А.* Информационно-аналитический комплекс управления электропотреблением «Интеленергия»: Свид. № 2010610132 от 11.01.10.
41. *Меркулов А. А., Воронов С. И., Седнеев В. А., Жестовский А. Г.* Ситуационный центр «Антикризис»: Свид. № 2012613264 от 06.04.12.
42. ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования // Сб. ГОСТов. — М.: Изд-во стандартов, 2002. 16 с.
43. ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы // Сб. ГОСТов. — М.: Изд-во стандартов, 2002. 12 с.
44. ГОСТ Р 52155-2003. Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования. — М.: Изд-во стандартов, 2004. 15 с.
45. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения // Сб. ГОСТов. — М.: Стандартинформ, 2005. 14 с.
46. *Меркулов А. А., Яфасов А. Я., Ногай С. А., Кошелева И. Л.* Ситуационный центр «Муниципалитет»: Свид. № 2010610132 от 11.01.10.
47. О стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 года: Распоряжение Правительства РФ № 2227-р от 8 декабря 2011 г. <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124>.

UNIVERSAL PATTERN OF ORGANIZATIONS FOR THE SITUATIONAL CENTERS

A. V. Kolesnikov¹ and A. A. Merkulov²

¹Baltic Federal University named after Kant, Kaliningrad Branch of IPI RAN,
Kaliningrad, Russia, avkolesnikov@yandex.ru

²Baltic Federal University named after Kant, Kaliningrad, Russia,
alex.merkulov@mail.ru

Abstract: Interdisciplinary technology of modeling organizational structures, based on the approaches technetika, organizational cybernetics, and principles of autopoiesis is presented. Developed an invariant pattern of modeling — VSM (Viable System Model) Cenose which is presented in the form of an abstract model and the platform for engineering situational centers based on it. Platform “Situational Centre ‘VSM Cenose’” can be used for organizations of different types, forms of ownership, methods of accounting, size, complexity, and other parameters. The mechanism of pattern projection from the meta model is developed through an abstract and specific model of the landscape of the organization. The advantages of design and management on the basis of a unified information environment allowing to move freely through all levels of hierarchically organized structures and to maintain overall control of the situation without loss of activity have been shown. This technology is scalable from a small organization to the level of the city, industry, and country.

Keywords: pattern; synthesis; technetica; organizational cybernetics; autopoiesis; organization; VSM Cenose; situational center

DOI: 10.14357/08696527130214

References

1. Beer, S. 1981. *Brain of the firm*. 2nd ed. L.-N.Y.: John Wiley & Sons. 416 p.
2. Pospelov, D. A. 1986. *Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Contingency management: Theory and practice]. M.: Nauka. 288 p.
3. Maturana, H. R., and F. J. Varela. 1987. *The tree of knowledge: The biological roots of human understanding*. Boston: Shambhala Publs. 224 p.
4. Kolesnikov, A. V. 2001. *Gibridnye intellektual'nye sistemy. Teoriya i tehnologiya razrabotki* [Hybrid intelligent systems. Theory and technology development]. SPb.: SPbGTU Publ. 710 p.
5. Gnatyuk, V. I. 2005. *Zakon optimal'nogo postroeniya tehnocenozov* [Law optimal construction technocenosis]. M.: TGU — Center for System Research Publs. 384 p.
6. Il'in, N. I., N. N. Demidov, and E. V. Novikova. 2011. *Situacionnye centry. Opyt, sostoyanie, tendenzii razvitiya* [Situational centers. Experience, status, trends]. M.: MediaPress Publ. 336 p.

7. Pospelov, D. A. 1981. *Logiko-lingvisticheskie modeli v sistemah upravleniya* [Logical and linguistic models in control systems]. M.: Energoizdat Publs. 232 p.
8. Kolesnikov, S. N. 2001. *Instrumentarij biznesa: Sovremennye metodologii upravleniya predpriyatiem* [Business Toolkit: Modern enterprise management methodology]. M.: Status-Kvo 97 Publs. 336 p.
9. Gavrilov, D. A. 2003. MRP II — istoriya i sovremennoст' [MRP II — past and present]. *Director IS* 4:75–77. Available at <http://www.osp.ru/cio/2003/03/172572/> (accessed September 4, 2013).
10. Kolesnikov, S. N. 2005. ERP poteryali, a SOA eshhe ne priobreli [ERP lost and SOA have not yet purchased]. *Otkrytye sistemy* [Open Systems] 2. Available at: <http://www.osp.ru/os/archive/2005/02/> (accessed September 4, 2013).
11. Kaplan, R. S., and D. P. Norton. 1996. *Balanced scorecard: Translating strategy into action*. Harvard Business School Press. 304 p.
12. Otozkiy, L. N. 2008. Stafford Bir i novye analiticheskie sredstva KIS [Stafford Beer and new analytical tools EIS]. *Oracle Magazine: Russian Edition* [Oracle Magazine: Russian Edition]. Available at: http://ototsky.mgn.ru/papers_my/OraMag/performance_vsm.htm/ (accessed September 4, 2013).
13. Chernyak, L. 2005. SOA + EDA = RTE. *Computerworld Rossiya* [Computerworld Russia] 5. Available at: <http://www.osp.ru/cw/archive/#2005/05/> (accessed September 4, 2013).
14. Chernyak, L. 2005. Slozhnye sobytiya i monitoring biznesa [Complex events and business monitoring]. *Otkrytye sistemy* [Open systems] 2. Available at: <http://www.osp.ru/os/archive/2005/02/> (accessed September 4, 2013).
15. Luckham, D. 2002. *Power of events: An introduction to complex event processing in distributed enterprise systems*. Reading, MA: Addison-Wesley. 400 p.
16. Gubko, M. V., and N. A. Korgin. 2004. Klassifikaciya modelej analiza i sinteza organizacionnyh struktur [Classification models for analysis and synthesis of organizational structures]. *Upravlenie bol'shimi sistemami* [Managing Large Systems] M.: V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences. 6:5–21.
17. Smil'yanskiy, G. L., L. Z. Amlyanskiy, V. Ya. Baranov, et al. 1983. *Spravochnik proektirovshchika ASUTP* [Reference designer APCS]. M.: Mashinostroenie Publs. 527 p.
18. Mihalev, S. B., R. S. Sedegov, A. S. Grinberg, et al. 1989. *ASU na promyshlennom predpriyati. Metody sozdaniya*. *Spravochnik* [Process control in an industrial plant. Methods of creation. Reference guide]. M.: Energoatomizdat Publs. 400 p.
19. Nikanorov, S. P. 2008. *Teoretiko-sistemnye konstrukty dlya konceptual'nogo analiza i proektirovaniya* [Theoretical constructs of the system for the conceptual analysis and design]. M.: Konzept Publs. 384 p.
20. Freeman, Er., and El. Freeman. 2004. *Head first design patterns*. O'Reilly Media Publ. 678 p.
21. Helm, R., and Je. Gamma. 2013. *Priemy ob'ektno-orientirovannogo proektirovaniya. Patterny proektirovaniya* [Elements of reusable object-oriented design. Design patterns]. SPb.: Piter Publs. 368 p.

22. Bol'shaya sovetskaya jenziklopediya [Great Soviet Encyclopedia]. 1974. M.: Soviet Encyclopedia Publs. Vol. 18. 473 p.
23. Matematika i kibernetika v ekonomike. [Mathematics and cybernetics in the economy]. 1975. Slovar'-spravochnik [Reference dictionary]. M.: Economics Publs. 700 p.
24. Halturin, V. S., N. N. Rogachey, E. I. Nekrylov, et al. 1985. GOST 24.703-85. Tipovye proektnye resheniya v ASU [Typical design solutions in ACS]. M.: Ministry of Instrumentation, Automation, and Control Systems. 5 p.
25. Luman, N. 2007. Social'nye sistemy. Ocherk obshhej teorii [Social systems. Essay on a general theory]. M.: Nauka Publs. 648 p.
26. Bogdanov, A. A. 1989. Tektologiya: Vseobshchaya organizacionnaya nauka [Tectology: Universal organizational science]. M.: Economizdat. Vol. 1: 304 p.; Vol. 2: 351 p.
27. Neogeografiya: Tehnologiya prostranstva-vremeni [Neogeography: The space-time technology]. Available at: <http://www.neogeography.ru/> (accessed September 4, 2013).
28. Gorskiy, Yu. M., A. M. Stepanov, and A. G. Teslinov. 2008. Gomeostatika: Garmoniya v igre protivorechij [Homeostatics: Harmony in game about the controversy]. Irkutsk: Reprozentr Publs. 634 p.
29. Booch, G., I. Jacobson, and J. Rumbaugh. 2000. Unified Modeling Language specification.
30. Krylov, S. M. 2006. Formal'naya tehnologiya i evolyuciya [Formal technology and evolution]. M.: Mashinostroenie Publs. 384 p.
31. Uemov, A. I. 1978. Sistemnyj podhod i obshchaya teoriya sistem [The systems approach and general systems theory]. M.: Mysl' Publs. 272 p.
32. Merkulov, A. A. 2011. Situacionnyj centr VSM Cenose [Situation Centre VSM Cenose]. Kaliningrad: Technocenoz Publs. 314 p.
33. Kudrin, B. I. 1993. Vvedenie v tehniku [Introduction to tehniku]. Tomsk: TGU Publs. 552 p.
34. Merkulov, A. A., V. A. Braschenko, V. A. Dmitrovskiy, and P. A. Nesterov. 2009. Baza dannyh "VSM Cenose" [Database "VSM Cenose"] No. 2009620387, 16.07.2009. M.: Rospatent Publs.
35. Merkulov, A. A., V. A. Braschenko, V. A. Dmitrovskiy, and F. G. Maytakov. 2010. Programma upravleniya bazoj dannyh "VSM Cenose" [Database program "VSM Cenose"] No. 2010610873, 27.01.2010. M.: Rospatent Publs.
36. Merkulov, A. A., V. I. Gnatyuk, V. A. Dmitrovskiy, F. G. Maytakov, and D. V. Luzenko. 2010. Situacionnyj centr "VSM Cenose" versiya 1.0. [Situation Center "VSM Cenose" version 1.0.] No. 2010611665, 02.03.2010. M.: Rospatent Publs.
37. GOST 34.601-90. 2009. Informacionnaya tehnologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdaniya [Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Stages of creation]. M.: Standardinform Publs. 16 p.
38. Gnatyuk, V. I., V. A. Dmitrovskiy, A. A. Merkulov, et al. 2010. Razrabotka tehnocenologicheskikh raschetov dlya vseh vidov resursov organizacionnoj struktury (goskontrakt ot 26.12.2008 No. 6418r/9045) [Development of technical and cenological calculations for all types of resources of the organizational structure (State Contract No. 6418r/9045 dated 26.12.2008)]. Kaliningrad. 262 p.

39. Gnatyuk, V. I., A. A. Merkulov, V. A. Dmitrovskiy, *et al.* 2011. Razrabotka modeli organizacii na osnove patterna “VSM Cenose” (goskontrakt 8013r/9045 ot 30.04.2010) [The development of the model of the organization on the basis of the pattern “VSM Cenose” (State Contract 8013r/9045 dated 30.04.2010)]. Kaliningrad. 204 p.
40. Merkulov, A. A., V. I. Gnatyuk, O. R. Kivchun, D. V. Luzenko, and A. A. Sheynin. 2010. Informacionno-analiticheskij kompleks upravleniya elektropotrebleniem “Inteljenergiya” [Information and analytical control of a power complex “Intelenergiya”] No. 2010610132, 11.01.2010. M.: Rospatent Publs.
41. Merkulov, A. A., S. I. Voronov, V. A. Sednev, and A. G. Zhestovskiy. 2012. Situacionnyj centr “Antikrizis” [Situation Room “Anti-Crisis”] No. 2012613264, 06.04.2012. M.: Rospatent Publs.
42. GOST 24.104-85. 2002. Edinaya sistema standartov avtomatizirovannyh sistem upravleniya. Avtomatizirovannye sistemy upraveniya. Obshchie trebovaniya. *Sb. GOSTov* [A unified system of standards of computer control systems. Automated control systems. General requirements. *Collection of State Standards*]. M.: Standards Publs. 16 p.
43. GOST 34.602-89. 2002. Informacionnaya tehnologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Tehnicheskoe zadanie na sozdanie avtomatizirovannoj sistemy. *Sb. GOSTov* [Information technology. Set of standards for automated systems. Technical specifications for the development of an automated system. *Collection of State Standards*]. M.: Standards Publs. 12 p.
44. GOST R 52155-2003. 2004. Geograficheskie informacionnye sistemy federal’nye, regional’nye, municipal’nye. Obshchie tehnicheskie trebovaniya [Geographic information systems, federal, regional, municipal. General technical requirements]. M.: Standards Publs. 15 p.
45. GOST 34.003-90. 2005. Informacionnaya tehnologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Terminy i opredeleniya. [Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Terms and definitions]. *Collection of State Standards*. M.: Standardinform Publs. 14 p.
46. Merkulov, A. A., A. Ya. Yafasov, S. A. Nogay, and I. L. Kosheleva. 2010. Situacionnyj centr “Municipalitet” [Situation Center “Municipality”] No. 2010610132, 11.01.2010. M.: Rospatent Publs.
47. Rasporyazhenie Pravitel’stva RF ot 8 dekabrya 2011. No. 2227-r O strategii inovacionnogo razvitiya RF na period do 2020 goda [Order of the Government of the Russian Federation of December 8, 2011 No. 2227-P Strategy of innovative development of Russia up to 2020]. 2011. Available at: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/> (accessed September 4, 2013).

ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ «СИТУАЦИОННЫЙ ЦЕНТР VSM Cenose»

A. B. Колесников¹, A. A. Меркулов²

Аннотация: Приведено описание платформы «Ситуационный центр VSM Cenose» для конфигурирования и обеспечения функционирования ситуационного центра (СЦ) в организационных структурах различных форм собственности и видов деятельности. Основные функции: отображение внешней и внутренней среды с помощью специализированного многомерного и многофакторного графического интерфейса; отображение информации прогнозного характера; объединение различных способов описания; представление информации в соответствии с принципами: от общего к частному, сверху вниз; инвариантность относительно изменения способов учета, формы ведения бизнеса вследствие организации комплекса на основе идей технетики и организационной кибернетики; расширение функциональности комплекса в процессе эксплуатации за счет миграции технологических шаблонов как между уровнями организационной структуры, так и между разными системами вследствие удовлетворения принципам рекурсии, самоподобия и фрактальности; взаимообмен данными с программами сторонних разработчиков. Отличительной особенностью является использование технологии VSM (Viable System Model) Cenose, что делает СЦ универсальной платформой для тиражирования СЦ.

Ключевые слова: ситуационный центр; программная платформа; паттерн VSM Cenose

DOI: 10.14357/08696527130215

1 Введение

Ситуационные центры занимают особое место среди систем поддержки принятия решений, они ориентированы на первых лиц, обязанных принимать окончательное решение. Отсюда ключевая характеристика СЦ — обеспечение целостного подхода ко всем аспектам деятельности системы управления [1].

Обобщая [1–4], можно сделать вывод, что качественный СЦ в процессе эксплуатации должен обеспечить рассмотрение любых субъектов, объектов, территорий и событий с соблюдением следующих принципов: от общего к частному и от синтеза к анализу, сетецентричность, единообразное описание инвариантных,

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининградский филиал Института проблем информатики Российской академии наук, avkolesnikov@yandex.ru

²Балтийский федеральный университет им. И. Канта, alex.merkulov@mail.ru

ресурсных и структурных свойств организаций, рекурсивность и самоподобие, объединение способов описания и тиражируемость.

Ситуационный центр разрабатывается для того, чтобы: отображать внешнюю среду с помощью специализированного многомерного и многофакторного графического интерфейса; представлять графическую динамическую модель внутренней среды в виде электронной модели потоков материалов, финансов, персонала и т. д.; обеспечивать прогнозы, отвечать на вопросы типа «а что будет, если?...».

Анализ существующих платформ для разработки структуры СЦ и их конкретных реализаций [1] позволил сделать вывод о том, что наиболее близок к удовлетворению поставленных требований СЦ VSM Cenose.

2 Отличительные особенности программного продукта «Ситуационный центр VSM Cenose»

Реализация подхода «от общего к частному, от синтеза к анализу», что позволяет руководителю иметь синтетическую картину всей зоны его ответственности «с высоты птичьего полета» с возможностью масштабирования: первоначально картина предоставляется вся как есть, далее ее можно масштабировать и открывать отдельные окошки для детализации, анализа вплоть до платежного поручения и т. д.

Организация системы управления как сетцепентричной, реализующей режим ситуационной осведомленности благодаря организации и поддержанию единой для всех ярусов управления целостной контекстной информационной среды и включения в процесс ее непрерывной актуализации возможно большего числа источников первичной информации [2]. Сетцепентричность системы управления прослеживается и в геопространственных сервисах Google Maps и Google Earth [5, 6], которые следуют неогеографическим принципам пространственно-временного представления информации [2]. Данные сервисы — закономерное следствие развития информационных технологий и социальных взаимодействий, способных обеспечить новое качество управления. Сетцепентричность в VSM Cenose позволяет существенно увеличить его практическую значимость в конкретных приложениях.

Самоподобие, рекурсивность и самовоспроизведение системы управления. Применительно к программному продукту самоподобие означает способность, будучи примененным в условиях конкретного проекта, в результате создавать подобные себе структуры, не только в техническом, но и социальном, психологическом и экономическом смысле. Поскольку программный продукт в качестве абстрактной модели как части целого содержит паттерн VSM Cenose [1], то рекурсия означает воспроизведение в смысле Н. Лумана [4] в конкретной реализации СЦ жизнеспособной и самоорганизующейся системы управления, поддерживающей гомеостаз.

Объединение способов описания реализует интегративные тенденции в информатике, способность создавать компьютерные системы поддержки принятия решений в рамках синергетической и гибридной парадигм искусственного интеллекта для имитации гетерогенных рассуждений коллектива экспертов о возникшей проблеме или при решении плановой сложной задачи.

Тиражируемость означает, что разработка относится к массово воспроизведимому продукту, способному учитывать уникальные требования каждой конкретной организации.

3 Ситуационный центр VSM Cenose

Ситуационный центр VSM Cenose — организационно-программно-технический комплекс для мониторинга, анализа, управления, моделирования и прогнозирования в организации любого рода деятельности и формы собственности, главная особенность которого — целостный подход ко всем аспектам деятельности организационной структуры.

Поддерживаемые программным продуктом функции:

- отображение внешней среды с помощью специализированного многомерного и многофакторного графического интерфейса;
- представление графической динамической модели внутренней среды в виде потоков материалов, финансов, персонала и т. д.;
- отображение прогнозной информации;
- поддержка принятия решений при выборе из множества вариантов;
- объединение различных способов описания;
- представление информации в соответствии с принципами: от общего к частному, сверху вниз, от синтеза к анализу;
- инвариантность относительно изменения способов учета и рода деятельности;
- расширение функциональности комплекса в процессе эксплуатации за счет миграции технологических шаблонов как между уровнями организационной структуры, так и между разными системами;
- формирование и поддержание в актуальном состоянии единого для внутренней и внешней среды образа ситуации;
- максимально возможное наполнение пространственно-временного фрагмента исторической, фактической и прогнозной информацией;
- обеспечение обработки гетерогенной информации и связности информации для всех ярусов внутренней и внешней среды;
- взаимообмен данными с программами сторонних разработчиков.



Рис. 1 Состав работ проекта СЦ

Цель разработки платформы — получить инструментарий быстрой реализации СЦ в любой организации. Это достигается за счет специализированной базы данных, реализованной на основе паттерна VSM Cenose [7, 8], расширяемой плагинной архитектуры [9], системы интерфейсов ввода [10] и системы отображения информации [11].

Качественное выполнение стандартной совокупности работ и этапов по внедрению автоматизированных систем управления [12] гарантирует получение надежно функционирующего комплекса, однако не отражает всей сложности работ по СЦ. Сегодня можно констатировать, что совокупность работ по СЦ затрагивает все предприятие в целом и наряду с использованием основных стандартов и ГОСТов [12–15] требует создания специализированного стандарта.

Все работы можно объединить в три большие группы: организационные, технические и программные мероприятия (рис. 1). Этот процесс затрагивает все предприятие в целом и может иметь успех только в том случае, если он поддержан высшим руководством организации.

Организационные мероприятия — составление формального описания внешней и внутренней среды, выбор показателей и индикаторов, разработка характера взаимодействия с внешней и внутренней средой СЦ. В понятие внешней среды любой организации (предприятия бизнеса, общественной организации и т. д.) входит крупноблочное выделение основных типов организаций и контрагентов, с которыми приходится взаимодействовать.

Формализация внутренней среды организации предполагает представление ее структуры в виде рекурсивной схемы, которая строится в соответствии с моделью типизированных элементов, что обеспечивает «однородную» сшивку с описанием внешней среды. Также она соответствует реальной структуре организации.



Рис. 2 Общая схема СЦ

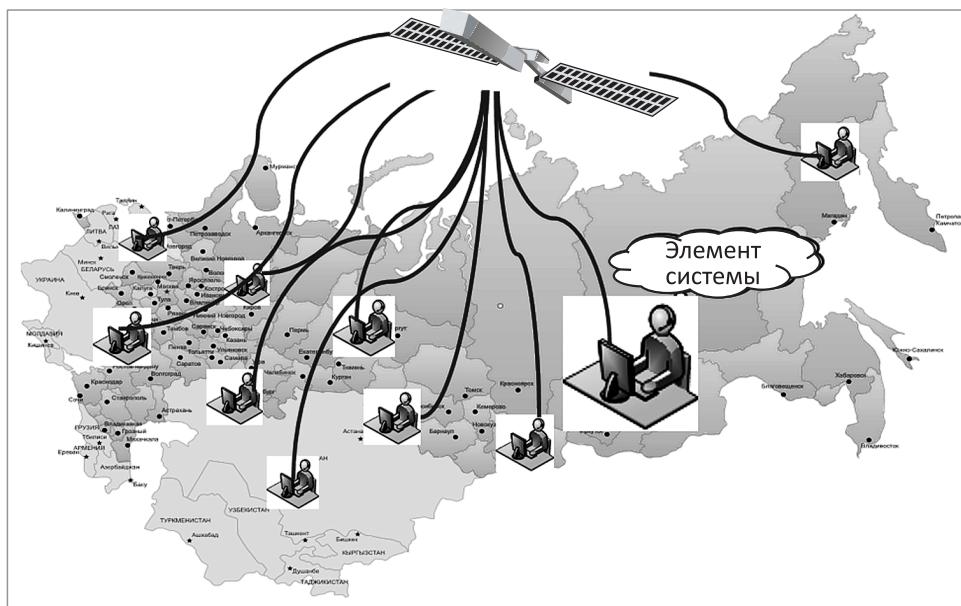


Рис. 3 Взаимодействие СЦ с внешней средой

Важный момент быстрой и объективной оценки работы организации — выработка интегральных показателей: стратегических, экономических и специализированных показателей для каждого подразделения и рабочего места.

Для СЦ (рис. 2) выбирается помещение, проводится подбор обслуживающего персонала, обеспечивается связь с программным и техническим обеспечением.

Для успешной работы СЦ в современном информационном пространстве обеспечивается стандартизация взаимодействия между всеми элементами распределенной организационной структуры и внешним миром (рис. 3). К действующим стандартам, разработанным на международном, национальном [16] и отраслевом уровне, адаптируется модель типизированных элементов [1], реализованная в программном продукте. В этом случае он получает конкурентные преимущества, основанные на соединении организационной и программной компоненты.

Технические средства ситуационного центра — техника непосредственно СЦ (рис. 4) и техническое обеспечение всей организации, с которой необходимо обеспечить сопряжение (рис. 5). Это вычислительная техника, оргтехника, система безопасности, энергоснабжение, специализированное оборудование системы коммуникации и сопряжения. В первую очередь это касается микропроцессорных контроллеров и структурных интерфейсов, глобальных и локальных сетей.

Среди специализированного технического обеспечения можно особо выделить аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и цифроаналоговые преобразователи



Рис. 4 Оборудование СЦ

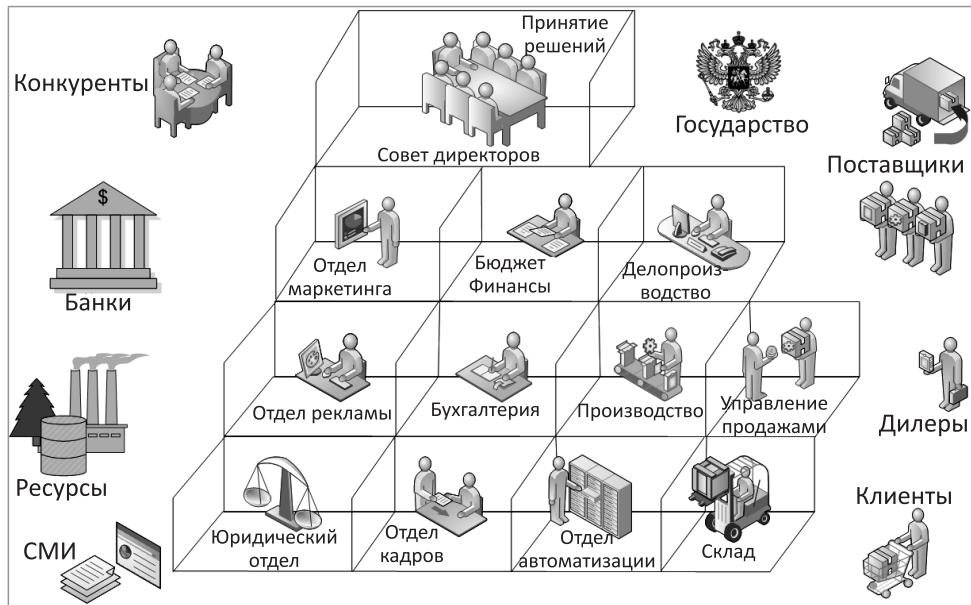


Рис. 5 Схема согласования технических устройств по всей организации

(ЦАП). Это связано с тем, что как раз на стыке аналоговых и цифровых процессов и возникают основные трудности автоматизации и наиболее полно комбинируются возможности искусственного и естественного интеллекта на техническом уровне.

Программное обеспечение (рис. 6) объединяется в пять групп: системное, специальное, для call-центра, для видеоконференции и для СЦ.

С каждой группой обеспечивается свой тип синхронизации. Наиболее сложная работа происходит со специальным программным обеспечением, всегда имеющим специфику, что определяет невозможность заблаговременного написания драйверов. Например, даже для такого продукта, как «1С:Предприятие», корректируются модули импорта-экспорта.

Архитектура программного продукта «Ситуационный центр VSM Cenose» (рис. 7) отличается тем, что она построена на абстракциях технетики, организационной кибернетики и аутопойезиса и удовлетворяет ключевым принципам: от общего к частному и от синтеза к анализу, сетевентричность, единообразное описание инвариантных, ресурсных и структурных свойств организаций, рекурсивность и самоподобие, объединение способов описания, тиражируемость.

Принципы реализуются на уровнях базы данных (БД), среднего слоя и интерфейса. На уровне БД это обеспечивается использованием модели типизированных сущностей с типизированными связями (БД VSM Cenose [7, 8]), на

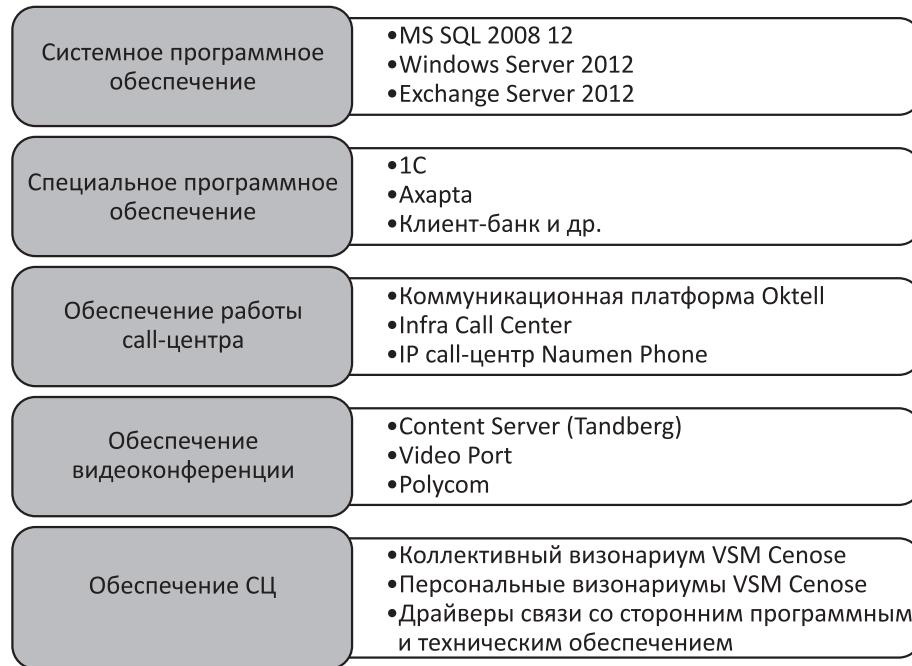


Рис. 6 Синхронизация платформы с программными комплексами

уровне среднего слоя — использование архитектуры VSMA (менеджер плагинов VSM Cenose [9], совокупность плагинов VSM Cenose), на уровне интерфейса — использование специализированного плагина «Визонариум VSM Cenose» [11].

База данных VSM Cenose [7, 8] организована в соответствии с моделью типизированных сущностей с типизированными связями.

Бизнес-логика (средний слой) реализована на базе абстракций паттерна VSM Cenose с использованием понятий метамодели: сущности, субъекты, объекты, действия, участия и т. д. Она оформлена как расширение библиотеки классов .NET Framework 4.5 с базовым пространством имен VSM и представляет собой многоуровневый набор шаблонов для построения логики и связи с базой данных и интерфейсами пользователей. Разработка выполнена в среде Visual Studio 2012 с помощью языка C#. Соответственно при этом можно использовать любые .NET-языки (VB.NET, C#, J# и пр.), а также все объекты и функции .NET Framework 4.5.

Общая топология среднего слоя подобна организационной топологии VSM и названа архитектурой VSM или VSMA (Viable System Model Architecture — архитектура для модели жизнеспособной системы), где совокупность связей между

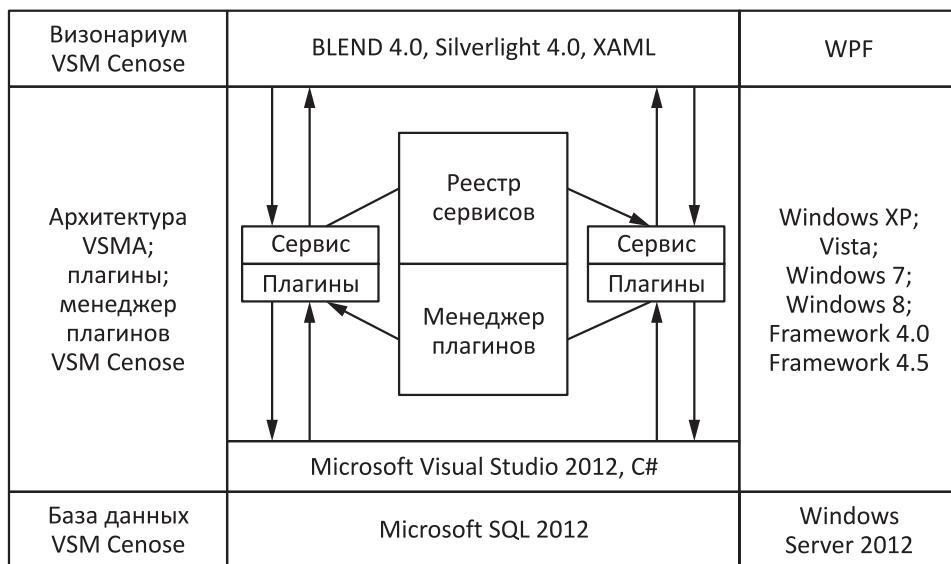


Рис. 7 Архитектура программного продукта «Ситуационный центр «VSM Cenose»

системами образует системную шину предприятия (ESB — enterprise system bus, сервисная шина предприятия), в которой хранится и перемещается информация. Архитектура VSMA определяет совокупность требований на организационном, техническом и программном уровне сверху донизу, начиная от внешней среды VSM Cenose и заканчивая внутренними сущностями, обеспечивающими работу функциональных элементов [1]. Взаимодействие с внешней и внутренней средой с использованием веб-технологий реализовано в виде архитектур SOA (Service Oriented Architecture — сервис-ориентированная архитектура) и EDA (Event Driven Architecture — управляемая событиями архитектура).

Использование веб-технологий идет в нескольких аспектах: (1) применение систем контроля версий файлов Git [17], Subversion [18], Visual Studio Team Foundation Server 2013 [19] и др.; систем отслеживания ошибок Git, Visual Studio Team Foundation Server 2012, Mantis [20] и др.; (2) применение Web для предоставления услуг сервиса. Данная совокупность технологий известна под названием «облачные» технологии [21]. Если разработка каких-либо решений проводилась на базе библиотек классов .NET Framework 4.5 платформы Visual Studio 2012 и описаны классы и методы их вызова, то становится возможным распространить данный подход к взаимодействию сущностей типа контрагент не только на внешнем уровне, но и на внутреннем. Это следствие того, что требования решения уже стандартизированы и более строги, чем те, которые предлагаются: SOA, EDA, облачные технологии и VSMA.

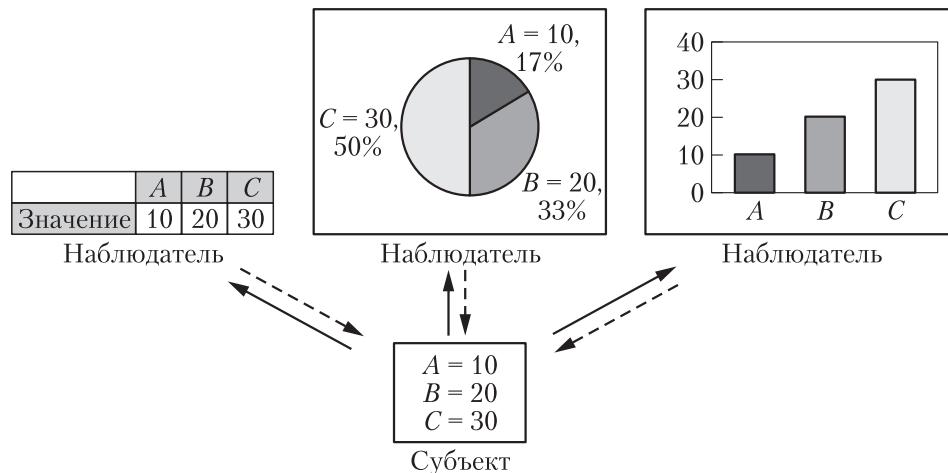


Рис. 8 Схема паттерна Observer среднего слоя программной платформы

Для работы с базой данных и интерфейсами пользователей используется следующий инструментарий: framework VSM Operator [9], WPF (Windows Presentation Foundation) конструктор [11], система управления медиафайлами [22], дизайнер логики (в разработке), дизайнер интерфейса, дизайнер отчетов, Microsoft Visual Studio 2012, Microsoft SQL 2012, Microsoft Office 2010, платформа .NET Framework 4.5. Эти инструменты, ориентированные на конечных пользователей, проектировщиков и системных администраторов, взаимодействуют с инфраструктурой сервисов, моделью программирования и моделями организации.

Все программное обеспечение сверху донизу следует принципам объектно-ориентированного подхода с использованием нотации UML (unified modeling language — унифицированный язык моделирования).

Функциональность приложений сосредоточена в плагинах (файлах *.dll). В Shared Library реализован механизм загрузки плагинов, поиска в загруженных сборках GUI (graphical user interface) команд, их регистрации и связывания с ярлыками в GUI: кнопками и элементами меню, инициирующими выполнение команд.

Плагинная технология позволяет динамически расширять функциональность системы без сборки всего проекта. Взаимодействие плагинов построено на модели паттерна Observer (рис. 8), который создает зависимость типа «один ко многим». При изменении состояния одной сущности зависящие от нее сущности (наблюдатели) об этом оповещаются и обновляются. Это нужно для согласования состояния взаимосвязанных сущностей без их жесткой связанности. Например, при изменении данных *A*, *B*, *C* диаграмма и таблица, отвечающие

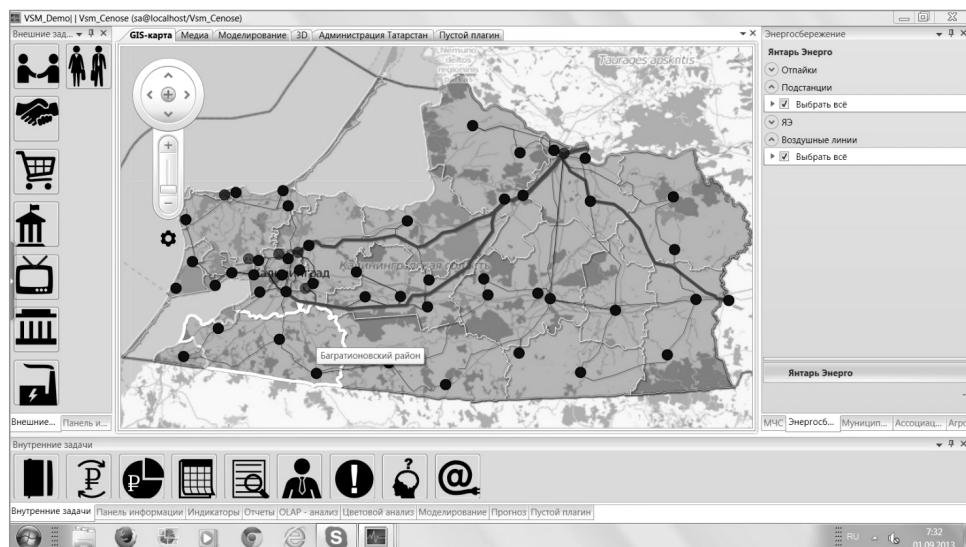


Рис. 9 Главное окно СЦ VSM Cenose

за их представление, должны измениться. При этом неизвестно, сколько имеется представлений.

Паттерн Observer описывает реализацию указанного отношения. В его основе лежат такие объекты, как subject (субъект) и observer (наблюдатель). Субъект изменяется и уведомляет о своих изменениях зависимых от него наблюдателей. Наблюдатели синхронизируют свои данные с субъектом. Это отношение иначе называют издатель–подписчик. Субъект (издатель) рассыпает уведомления своим наблюдателям (подписчикам), даже не зная о том, какие объекты ими являются. При этом число подписчиков не ограничено.

Интерфейс (верхний слой) обеспечивает одновременный контроль внешней и внутренней среды, представленных как многофакторное и многопараметрическое таблично-графическое отображение синтезированной предметной области. Главное окно программного продукта «Ситуационный центр VSM Cenose» показано на рис. 9. Основные функции обозначены иконками и отображают: выбор сцены; выбор отражаемых элементов (организации, ресурсы, территории, события и т. д.); нанесение разметки (рисование, иконки, рисунки, видео и др.); отображение детальной графической и табличной информации об элементе (информация, анализ, индикаторы, прогноз и т. д.); масштабирование; просмотр двух- и трехмерных виртуальных сцен; моделирование.

На рис. 10 показана схема потоков информации в системе управления для создания СЦ платформы VSM Cenose.

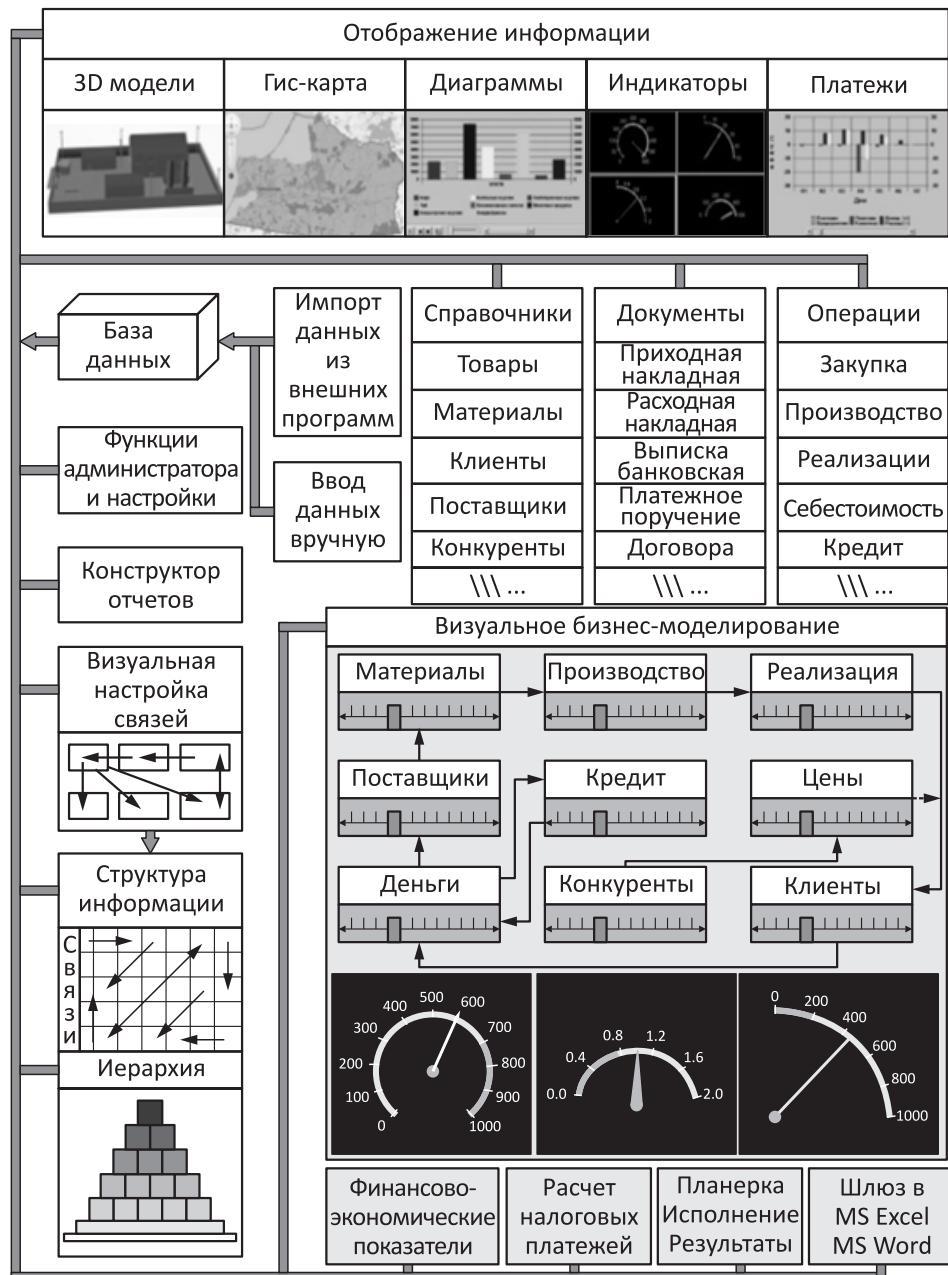


Рис. 10 Схема обобщенных потоков информации

4 Апробация программного продукта VSM Cenose на примере мониторинга и прогнозирования электропотребления регионального электротехнического комплекса

Ситуационный центр регионального электротехнического комплекса (РЭК) выполняет следующие работы:

- осуществляет поиск объектов в БД по названию;
- предоставляет доступ к просмотру данных, к модификации данных и к модификации БД в соответствии с правами доступа;
- выводит на монитор карту территории РЭК с нанесенными на нее объектами;
- выбирает масштаб карты и виды объектов, нанесенных на нее (линии, электростанции, подстанции, сооружения и т. п.);
- выбирает объекты для прогнозирования, устанавливает временные интервалы и горизонт прогноза;
- для выбранного объекта выводит показатели и их статистику, линии тренда и прогнозов в табличном и графическом виде;
- сохраняет результаты в файле.

В результате применения паттерна VSM Cenose при создании СЦ РЭК была получена промышленная конфигурация, для которой критически важна организация импорта данных из разнородных внешних источников (рис. 11).

Хранение данных происходит в соответствии с моделью БД VSM Cenose, которая включает семантическую подсистему (справочники), структурную подсистему, оперативную подсистему (текущие данные). Необходимые справочники семантической подсистемы: типы сущностей, составляющих сеть; типы отношений между этими сущностями; показатели технологических процессов; единицы измерения. Например: справочник «Типы сущностей» содержит типы сущностей, составляющих сеть, т. е. типы ее электротехнических устройств, сооружений и организационно-территориальных образований; справочник «Показатели» включает все показатели для описания режимов работы электротехнических устройств и заносимые в БД для последующего анализа. Существенно то, что не надо было специально проектировать БД ни для этих справочников, ни для последующих.

Структурная подсистема содержит всю информацию о структуре РЭК. В нее входят две таблицы: «Сущности» и «Отношения». В отличие от справочников содержание этих таблиц может меняться, хотя и сравнительно редко. Например, могут вводиться в строй новые подстанции, отключаться и подключаться новые абоненты и т. д. Поэтому в составе СЦ должно быть предусмотрено специализированное рабочее место, предоставляющее возможность конфигурировать подсистему произвольной топологии без вмешательства разработчиков БД.

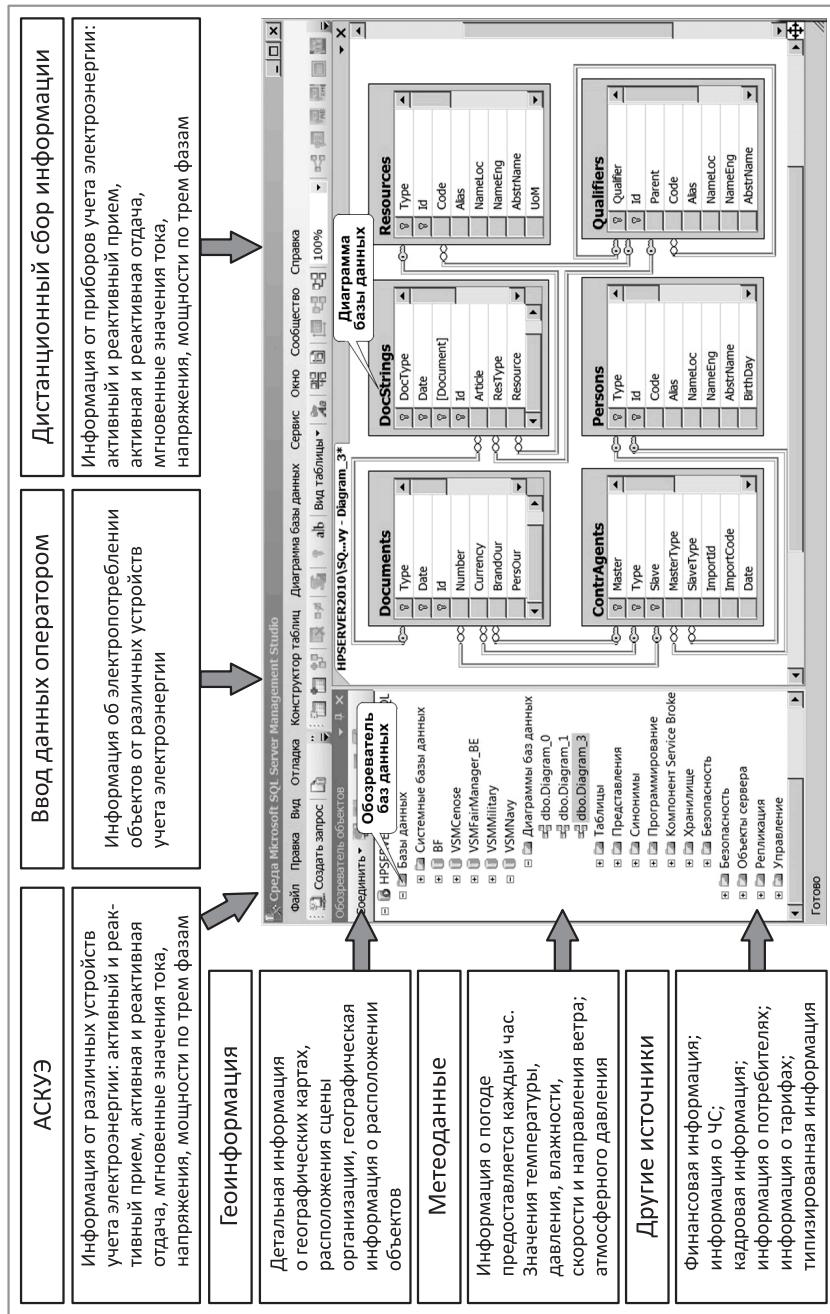


Рис. 11 Внешние источники данных в конфигурации СЦ РЭК

В зависимости от особенностей модели таблица «Отношения» может содержать дополнительные поля. Все поля обязательны для заполнения. Комбинация трех обязательных полей уникальна в таблице. Это значит, что никакие две сущности не могут вступать между собой в отношение определенного типа более одного раза. Основная таблица оперативной подсистемы — таблица «Данные», в которую заносятся все оперативные данные, получаемые с контрольных приборов. В зависимости от особенностей модели таблица «Данные» может содержать дополнительные поля, а сама оперативная подсистема — дополнительные таблицы. Все шесть полей таблицы «Данные» обязательны для заполнения. Комбинация первых четырех полей уникальна в таблице, т. е. для указанных сущностей, даты, времени и показателя в таблицу можно занести только одно значение. Данные в таблицах оперативной подсистемы дополняются и изменяются в онлайн-режиме. Таким образом, разработка БД не производилась, сразу писались драйверы связи, которые подкачивали данные из соответствующих внешних источников (см. рис. 11).

Обработка данных выполняется при помощи совокупности расчетно-графических модулей (РГМ), функционирующих в единой программно-аппаратной оболочке, которая представляет собой специализированную конфигурацию СЦ VSM Cenose (рис. 12). Каждый РГМ нацелен на автоматизированное решение определенных задач, при этом порядок их работы и взаимодействие могут определяться как программно, так и пользователем.

В обобщенном виде циркуляция информации происходит следующим образом. По запросу из БД извлекается необходимая информация, после чего пользователь запускает соответствующий РГМ. По результатам работы модуля пользователь получает для анализа необходимую информацию в числовом и графическом виде.

Расчетно-графический модуль «Выявление аномалий в данных» предназначен для выявления аномальных значений, неестественно далеко отклоняющихся от центра распределения рассматриваемой выборки данных.

Расчетно-графический модуль «Выявление тренда» предназначен для выявления в рассматриваемом временном ряду долговременных, устойчивых свойств, относящихся к математическому понятию тренда, и циклических (сезонных) компонент. Знание характера тренда используется для инвестиционного планирования.

Расчетно-графический модуль «Прогнозирование» предназначен для определения вероятных будущих значений рассматриваемого отдельного временного ряда или совокупности системных показателей (пример окна с результатами краткосрочного прогнозирования приведен на рис. 13).

Расчетно-графический модуль «Типовые графики нагрузки» по имеющейся статистике на основе усреднения суточных графиков нагрузки строит типовой график нагрузки раздельно для рабочих и выходных (праздничных) дней. Преду-

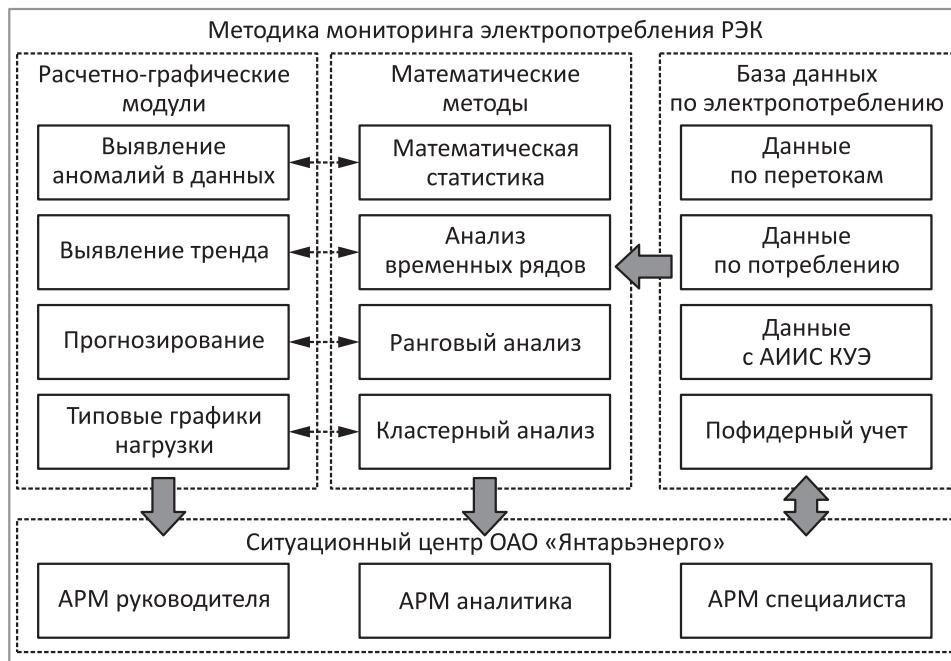


Рис. 12 Структура СЦ РЭК

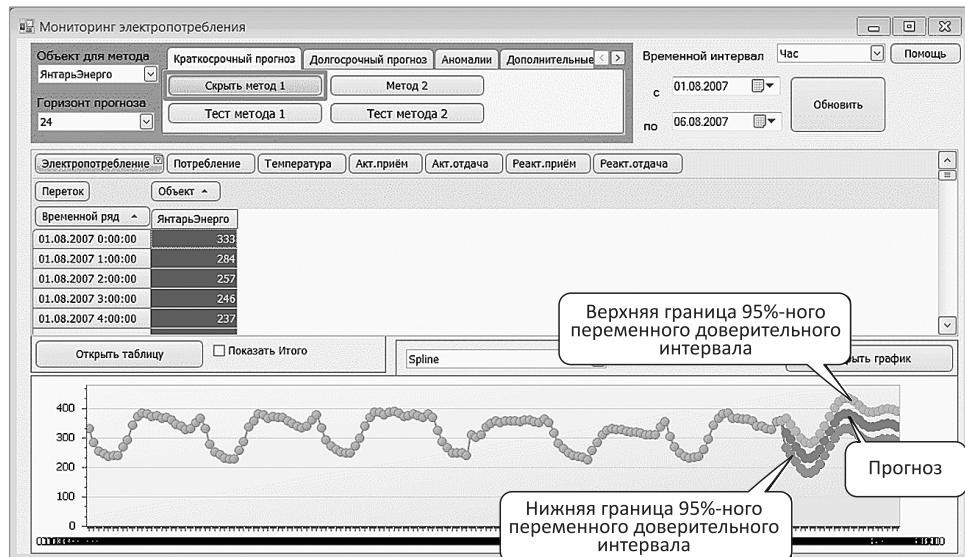


Рис. 13 Окно с результатами краткосрочного прогнозирования в СЦ РЭК

Конфигурации разрабатываемых СЦ

№	Конфигурация	Партнер	Свидетельство о регистрации в Роспатенте
1	Муниципалитет	ООО «Интеллектуальный муниципалитет» [19]	№ 2010610132 от 11.01.2010
2	Энергосбережение	ООО «Интелэнерго-39» [23]	№ 2010610132 от 11.01.2010
3	Антикризис	ООО «Системы безопасности»	№ 2012613264 от 06.04.2012
4	Высшее учебное заведение	ФГОУ ВПО «КГТУ»	№ 2011618785 от 11.11.2011
5	Холдинг	ООО «Кенигсофт»	№ 2010616380 от 24.09.2010
6	Логистика	ООО «Гимас»	№ 2010610115 от 11.01.2010
7	Биомониторинг	ООО «Биомониторинг 39»	№ 2010611257 от 12.02.2010

смотрена возможность для пользователя изменять признаки отбора суточных графиков для построения типовых графиков нагрузки.

Программное обеспечение СЦ позволяет легко встраивать и другие прикладные РГМ: анализ зависимости нагрузки от внешних факторов (температуры, длительности светового дня), оценка потенциала энергосбережения, моделирование и т. п. Подобная архитектура позволяет адаптировать СЦ под потребности любой энергосистемы.

В качестве примера на рис. 13 показано окно с результатами прогнозирования.

За счет использования паттерна VSM Cenose было полностью исключено программирование базы. Подсистема прогнозирования, входящая в абстрактную модель, сняла необходимость программирования и в этой части проекта. В результате основная нагрузка по трудозатратам сместилась на предпроектное обследование объекта и анализ его результатов, разработку специфических моделей и создание драйверов связи.

Апробация показала также, что временной ресурс для разработки СЦ РЭК был сокращен с одного года до двух месяцев. Трудозатраты составили 5 чел.-мес.

В настоящее время разрабатываются конфигурации еще 7 СЦ (см. таблицу).

5 Заключение

Программный продукт «Ситуационный центр VSM Cenose» отечественной разработки создан как результат многолетней научной и проектно-конструкторской деятельности. Решения, которые в него заложены, определяют его спе-

цифические и отличительные особенности при автоматизированном построении современных систем управления:

- (1) паттерн-проектирование от общего к частному, от синтеза к анализу;
- (2) сетецентрическая организация;
- (3) самоподобие, рекурсивность и самовоспроизведение;
- (4) следование парадигме интеграционных тенденций в информатике;
- (5) тиражируемость.

Все это позволяет проектировщикам существенно снизить временные, финансовые и трудовые затраты на создание СЦ.

В настоящей работе рассмотрена архитектура программного продукта, построенного как паттерн проектирования, автоматизирующего разработку математического, информационного и программного обеспечения СЦ. Архитектура реализована как программная платформа с использованием современных тенденций и инструментальных средств объектно-ориентированного программирования.

Апробация в условиях внедрения в системы управления разных уровней и отраслей народного хозяйства показала работоспособность, эффективность и тиражируемость программного продукта.

Развитие СЦ VSM Cenose планируется по разным перспективным направлениям. Одно из них — включение в паттерн проблемно-структурной методологии функциональных гибридных интеллектуальных систем, разработанной в КФ ИПИ РАН.

Литература

1. *Меркулов А. А. Ситуационный центр VSM Cenose.* — Калининград: Техноценоз, 2011. 314 с.
2. Неогеография: технология пространства–времени. <http://www.neogeography.ru>.
3. *Бир С. Мозг фирмы / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1993. 416 с. (Beer S. Brain of the firm. — 2nd ed. — L.-N.Y.: John Wiley & Sons, 1981.)*
4. *Луман Н. Социальные системы: Очерк общей теории.* — М.: Наука, 2007. 648 с.
5. Карты Google. <http://maps.google.ru>.
6. Google. Планета Земля. www.google.com/earth.
7. *Меркулов А. А., Бращенко В. А., Дмитровский В. А., Майтаков Ф. Г. Программа управления базой данных «VSM Cenose»: Свид. № 2010610873 от 27.01.10.*
8. *Меркулов А. А., Бращенко В. А., Дмитровский В. А., Нестеров П. А. База данных «VSM Cenose»: Свид. № 2009620387 от 16.07.09.*
9. *Меркулов А. А., Бращенко В. А., Дмитровский В. А., Нестеров П. А. Менеджер плагинов «VSM Cenose»: Свид. № 2009613509 от 30.06.09.*
10. *Меркулов А. А., Гнатюк В. И., Дмитровский В. А., Майтаков Ф. Г., Луценко Д. В. Ситуационный центр «VSM Cenose», версия 1.0: Свид. № 2010611665 от 02.03.10.*

11. *Меркулов А. А., Бращенко В. А., Дмитровский В. А., Нестеров П. А.* Визонариум «VSM Cenose»: Свид. № 2009613506 от 30.06.09.
 12. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. — М.: Стандартинформ, 2009. 16 с.
 13. ГОСТ 34.602-89. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы // Сб. ГОСТов. — М.: Изд-во стандартов, 2002. 12 с.
 14. ГОСТ 24.104-85. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования // Сб. ГОСТов. — М.: Изд-во стандартов, 2002. 16 с.
 15. ГОСТ Р 52155-2003. Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования. — М.: Изд-во стандартов, 2004. 15 с.
 16. Концепция развития национальной системы стандартизации. <http://www.rgtr.ru/nav/11>.
 17. Git — Fast Version Control System. <http://git-scm.com>.
 18. Tigris.org Open Source Software Engineering Tools. <http://subversion.tigris.org>.
 19. *Меркулов А. А., Яфасов А. Я., Ногай С. А., Кошелева И. Л.* Ситуационный центр «Муниципалитет»: Свид. № 2010610132 от 11.01.10.
 20. Mantis. <http://www.mantisbt.org>.
 21. В мире облачных технологий. <http://cloudzone.ru>.
 22. *Меркулов А. А., Бращенко В. А., Дмитровский В. А., Нестеров П. А.* Медиафайлы «VSM Cenose»: Свид. № 2009613507 от 30.06.09.
 23. *Меркулов А. А., Гнатюк В. И., Кивчун О. Р., Луценко Д. В., Шейнин А. А.* Информационно-аналитический комплекс управления электропотреблением «Интел-энергия»: Свид. № 2010610132 от 11.01.10.
 24. Visual Studio Tools. <http://www.devexpress.com>.
 25. Microsoft Corporation. <http://www.microsoft.com>.
-

SITUATIONAL CENTER VSM CENOSE

A. V. Kolesnikov¹ and A. A. Merkulov²

¹Baltic Federal University named after Kant; Kaliningrad Branch of IPI RAN,
Kaliningrad, Russia, avkolesnikov@yandex.ru

²Baltic Federal University named after Kant, Kaliningrad, Russia,
alex.merkulov@mail.ru

Abstract: The description of the platform “Situational Center VSM Cenose,” aimed at configuring and operating of a situational center in the organizational

structures of various forms of ownership and activities. Main functions: display of internal and external environment due to specialized multidimensional and multifactor graphical interface; display of forecasting information; combining different ways of description; presentation of information in accordance with the principles "from the general to the specific," "top-down;" invariance with the respect to changes in the way of accounting methods, forms of business organization due to complex organization based on the basis ideas of technetika and organizational cybernetics; expanding the functionality of the complex during the operation due to the migration process templates, both between levels of the organizational structure and the different systems due to meeting the principles of recursion, self-similarity and fractal; and interchange of data with third-party program developers. The specific feature is the technology "VSM Cenose," which makes situational center "VSM Cenose" a universal platform for replicability of situational centers.

Keywords: situational center; platform; VSM Cenose pattern

DOI: 10.14357/08696527130215

References

1. Merkulov, A. A. 2011. *Situacionnyj centr VSM Cenose* [Situation Center VSM Cenose]. Kaliningrad: Technocenoz Publs. 314 p.
2. Neogeografiya: Technologiya prostranstva–vremeni [Neogeography: The technology space–time]. Available at: <http://www.neogeography.ru/> (accessed September 4, 2013).
3. Beer, S. 1981. *Brain of the firm*. 2nd ed. L.–N.Y: John Wiley & Sons.
4. Luman, N. 2007. *Social'nye sistemy. Ocherk obschey teorii* [Social systems. General theory]. Moscow: Nauka. 648 p.
5. Google Maps. Available at: <http://maps.google.ru/> (accessed September 4, 2013).
6. Google. Earth. Available at: www.google.com/earth (accessed September 4, 2013).
7. Merkulov, A. A., V. A. Braschenko, V. A. Dmitrovskiy, and F. G. Majtakov. 2010. Programma upravleniya bazoj dannyh "VSM Cenose" [Database program "VSM Cenose"]. No. 2010610873, 27.01.2010. M.: Rospatent Publs.
8. Merkulov, A. A., V. Braschenko, V. A. Dmitrovskiy, and P. A. Nesterov. 2009. Baza dannyh "VSM Cenose" [Database "VSM Cenose"] No. 2009620387, 16.07.2009. M.: Rospatent Publs.
9. Merkulov, A. A., V. A. Braschenko, V. A. Dmitrovskiy, and P. A. Nesterov. 2009. Menedzher plaginov "VSM Cenose" [Plugin Manager "VSM Cenose"]. No. 2009613509, 30.06.2009. M.: Rospatent Publs.
10. Merkulov, A. A., V. I. Gnatyuk, V. A. Dmitrovskiy, F. G. Maytakov, and D. V. Luzenko. 2010. Situacionnyj centr "VSM Cenose" versiya 1.0. [Situation Room "VSM Cenose" version 1.0.] No. 2010611665, 02.03.2010. M.: Rospatent Publs.
11. Merkulov, A. A., V. A. Braschenko, V. A. Dmitrovskiy, and P. A. Nesterov. 2009. Vizonarium "VSM Cenose" [Visonarium "VSM Cenose"]. 2009613506, 30.06.2009. M.: Rospatent Publs.

12. GOST 34.601-90. 2009. Informacionnaya technologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannyе sistemy. Stadii sozdaniya. [Information technology. Set of standards for automated systems. Automated systems. Stages of creation]. M.: Standardinform Publs. 16 p.
13. GOST 34.602-89. 2002. Informacionnaya tehnologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannyе sistemy. Tehnicheskoe zadanie na sozdanie avtomatizirovannoj sistemy. Sb. GOSTov [Information technology. Set of standards for automated systems. Technical specifications for the development of an automated system. Collection of state standards]. M.: Standards Publs. 12 p.
14. GOST 24.104-85. 2002. Edinaya sistema standartov avtomatizirovannyh sistem upravleniya. Avtomatizirovannyе sistemy upraveniya. Obshchie trebovaniya. Sb. GOSTov. [A unified system of standards of computer control systems. Automated control systems. General requirements. Collection of state standards]. M.: Standards Publs. 16 p.
15. GOST R 52155-2003. 2004. Geograficheskie informacionnye sistemy federal'nye, regional'nye, municipal'nye. Obshchie tehnicheskie trebovaniya [Geographic information systems, federal, regional, municipal. General technical requirements]. M.: Standards Publs. 15 p.
16. Koncepciya razvitiya nacional'noj sistemy standartizacii [The concept of a national system of standardization]. Available at: <http://www.rgtr.ru/nav/11/> (accessed September 4, 2013).
17. Git — Fast Version Control System. Available at: <http://git-scm.com/> (accessed September 4, 2013).
18. Tigris.org Open Source Software Engineering Tools. Available at: <http://subversion.tigris.org/> (accessed September 4, 2013).
19. Merkulov, A. A., A. Ya. Yafasov, S. A. Nogay, and I. L. Kosheleva. 2010. Situacionnyj centr ‘Munizipalitet’ [Situation Center ‘Municipality’] 2010610132, 11.01.2010. M.: Rospatent Publs.
20. Mantis. Available at: <http://www.mantisbt.org/> (accessed September 4, 2013).
21. V mire oblacnyh tehnologij. Available at: <http://cloudzone.ru/> (accessed September 4, 2013).
22. Merkulov, A. A., V. A. Braschenko, V. A. Dmitrovskiy, and P. A. Nesterov. 2009. Mediafaily “VSM Cenose” [Media files “VSM Cenose”] No. 2009613507, 30.06.2009. M.: Rospatent Publs.
23. Merkulov, A. A., V. I. Gnatyuk, O. R. Kivchun, D. V. Luzenko, and A. A. Sheynin. 2010. Informacionno-analiticheskij kompleks upravleniya elektropotrebniem “Intelenergiya” [Information-analytical control of a power complex “Intelenergiya”] No. 2010610132, 11.01.2010. M.: Rospatent Publs.
24. Visual Studio Tools. Available at: <http://www.devexpress.com/> (accessed September 4, 2013).
25. Microsoft Corporation. Available at: <http://www.microsoft.com/> (accessed September 4, 2013).

ПРЕДОБРАБОТКА ДАННЫХ И ВЫЯВЛЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В. Н. Гридин¹, В. И. Солодовников¹

Аннотация: Рассмотрена возможность совместного использования генетических алгоритмов (ГА) с методами поиска логических закономерностей в задачах «интеллектуального» анализа данных. Предложен комбинированный алгоритм предобработки данных, заключающийся в сегментации и выделении наиболее информативных значений признаков и их сочетаний. Он может быть отнесен к так называемым островным алгоритмам, так как количество популяций выбирается равным количеству классов. Выбор такого количества популяций обусловлен тем, что оценку показателей точности и полноты правил целесообразно производить для каждого класса. Показано, что ГА позволяет осуществлять отбор логических закономерностей при анализе многомерных данных с достаточно высокой точностью и полнотой. Представленный алгоритм может использоваться для анализа данных в информационных хранилищах с целью выявления в них скрытых закономерностей, на основе которых осуществляется построение систем правил и деревьев решений.

Ключевые слова: генетический алгоритм; логическая закономерность; «интеллектуальный» анализ данных

DOI: 10.14357/08696527130216

1 Введение

Данные являются ценным ресурсом, который хранит в себе большие потенциальные возможности по извлечению полезной аналитической информации. Поэтому все большую актуальность приобретают задачи выявления скрытых закономерностей, выработки стратегий принятия решений, прогнозирования. Логические правила дают возможность связывать различные параметры изучаемого явления в единое целое и объясняют связи, которые нередко бывают далеко не очевидны. В задачах анализа многомерных данных предложено достаточно много подходов к поиску логических закономерностей. Однако в основном

¹Центр информационных технологий в проектировании Российской академии наук,
info@ditc.ras.ru

используются методы, основанные на применении алгоритмов ограниченного перебора, которые вычисляют частоты комбинаций простых логических событий в подгруппах данных. Они порождают правила, для которых остается открытым вопрос о точности и полноте, а проблема выбора элементарных событий во многом остается нерешенной. Поэтому растет популярность методов, основанных на использовании генетических (эволюционных) алгоритмов. В частности, в работе [1] рассматривается поиск правил классификации, используемых в системах управления запросами на изменение при разработке программного обеспечения. В работе [2] осуществляется сравнение релаксационного, генетического и комбинаторного алгоритмов поиска логических закономерностей классов в задаче распознавания по прецедентам. Показано, что ГА легко адаптируется к задачам большой размерности, а также обладают способностью нахождения частичных закономерностей.

В данной статье предлагается подход, направленный на предобработку данных, заключающуюся в сегментации и выделении наиболее информативных значений признаков и их сочетаний для выявления логических закономерностей на основе ГА.

2 Поиск логических закономерностей

Будем рассматривать задачу анализа многомерных данных, которая предполагает выявление логических правил, связывающих значения или диапазоны значений некоторого набора признаков со значениями, диапазонами значений или качественными оценками других признаков.

Пусть задана совокупность объектов: $B = \{b_1, \dots, b_n\}$. Каждый объект характеризуется множеством признаков: $X = \{x_1, \dots, x_m\}$. Для простоты будем считать, что количество признаков для всех объектов совпадает. Тогда каждый объект представляет собой точку в пространстве размерности m .

Элементарное логическое событие определим как $T = x_i \theta C_i$ или $T = C_i^1 \theta_1 x_i \theta_2 C_i^2$. Здесь x_i — некоторый признак; $\theta = \{=, \neq, <, \leq, >, \geq\}$; $\theta_1, \theta_2 = \{<, \leq\}$; C, C_1, C_2 — константы. Для признаков, измеряемых в номинальных шкалах, $\theta = \{=, \neq\}$. На основе элементарных событий может быть построено конечное множество правил вида

$$P_i : (T_1^i \wedge \dots \wedge T_{k_i}^i) \rightarrow A_i, \quad i = 1, \dots, M,$$

где T_j^i — событие j , входящее в правило P_i (конъюнкция этих событий образует условие правила); k_i — количество событий, входящих в данное правило; A_i — вывод правила, который сам может быть конъюнкцией событий для признаков, не входящих в условие, или качественной/экспертной оценкой; M — число правил.

При построении правил необходимо оценивать их точность и полноту. Точность правила — это доля случаев, когда правило подтверждается, среди всех случаев его применения (доля случаев, для которых истинен вывод, среди случаев, когда истинно условие). Полнота — это доля случаев, когда правило подтверждается, среди всех случаев, когда имеет место объяснимый исход. Правила могут иметь какие угодно сочетания точности и полноты, за исключением одного случая: если точность равна нулю, то равна нулю и полнота, и наоборот [3]. Очевидно, что если точность каждого правила равна единице (а к этому и надо стремиться), а полнота отдельных правил меньше единицы, то некоторые правила будут иметь одинаковые выводы, а следовательно, можно преобразовать

$$\{A_i\}_{i=1,\dots,M} \Rightarrow \{A'_j\}_{j=1,\dots,N} = A', \quad N \leq M.$$

Множество A' назовем алфавитом или набором классов.

Существует целый ряд методов для определения логических закономерностей. В большинстве случаев задается множество возможных событий $T = \{T_1, \dots, T_n\}$ и из этого множества строятся цепочки конъюнкций. Среди них тем или иным способом (перебор, вероятностные методы и т. д.) отбираются наиболее характерные для одного из классов и нехарактерные для других. К таким методам могут быть отнесены алгоритм Кора и случайный поиск с адаптацией (СПА). Основная проблема этих методов — как определить возможные события. Другой подход к поиску логических закономерностей предполагает применение деревьев решений. Их построение обычно осуществляется с использованием алгоритмов обработки примеров — CLS (concept learning system), ID3 (interactive dichotomizer), CART (classification and regression trees) и др. Здесь следует отметить, что путь от вершины корня до вершины листа также представляет собой цепочку конкатенаций элементарных событий и проблема их определения остается.

Повышения эффективности вывода логических закономерностей можно добиться за счет предобработки данных, направленной на их сегментацию с целью выявления элементарных событий. В настоящее время для решения этой задачи начинают применяться ГА, к которым можно отнести алгоритмы «команды пожарных» (bucket-brigade) [4], REGAL (RElational Genetic Algorithm based Learned), G-NET, HIDER, SIAO1 и ряд других. К их недостаткам можно отнести фиксированный набор правил и их длину. К тому же точность и полнота в большинстве из них не учитывается.

Рассматриваемый подход направлен на преодоление указанных недостатков и обладает следующими основными свойствами:

- количество результирующих правил для каждого заданного класса может быть различно;

- для отбора правил используется комплексный критерий, учитывающий точность и полноту совокупности правил как внутри класса, так и для всей системы в целом.

3 Генетические алгоритмы

Генетические алгоритмы, предложенные в 1975 г. Дж. Холландом (J. Holland) из Мичиганского университета, изначально предназначались для решения задач оптимизации, но нашли свое применение также и в решении задач «интеллектуального» анализа данных [4–6]. Они работают с кодовыми последовательностями (КП) безотносительно к их смысловой интерпретации, поэтому КП и их структура задаются понятием генотипа, а их интерпретация с точки зрения решаемой задачи — понятием фенотипа. Каждая КП представляет, по сути, точку пространства поиска и называется особью или индивидуумом. Набор КП (особей) образует исходное множество решений K (популяцию).

На каждом шаге работы ГА обновляет популяцию путем создания новых КП и уничтожения бесперспективных, не удовлетворяющих критерию целевой функции. Множество решений K обрабатывается с помощью процедур скрещивания, мутации и инверсии. Эти процедуры имитируют биологические процессы, и каждое обновление интерпретируется как смена поколений. В ходе работы алгоритма на каждой стадии эволюции получаются популяции со все более совершенными индивидуумами. Критерием останова может служить одно из трех событий:

- (1) сформировано заданное число поколений;
- (2) популяция достигла заданного уровня качества;
- (3) достигнут некоторый уровень сложности, при котором улучшения популяции не происходит.

После завершения работы ГА из конечной популяции выбирается та КП (особь), которая дает оптимальное значение целевой функции и которая является в итоге результатом работы ГА.

4 Комбинированный алгоритм предобработки данных

Одной из наиболее сложных и неоднозначных задач при формулировке ГА является проблема задания его характеристик. Ее решение очень часто носит умозрительный характер или основывается на известных закономерностях в рассматриваемых данных. Характеристики могут определяться и непосредственно в ходе исследования и использования алгоритма.

4.1 Количество популяций и их начальное формирование

Рассмотрим задачу, в которой логические закономерности используются для отнесения объекта к одному из N классов $A = \{A_1, \dots, A_N\}$. Определим количество популяций равным числу классов N . Выбор такого количества популяций обусловлен тем, что оценку показателей точности и полноты правил при выделении логических закономерностей целесообразно производить для каждого класса. При единственной популяции происходит усреднение данной оценки. Поэтому рассматриваемый алгоритм можно отнести к так называемым островным алгоритмам.

Особью (хромосомой) является само правило. Количество особей в популяции, в отличие от большинства ГА, переменно и определяется, с одной стороны, минимально возможным числом для образования родительских пар, а с другой — максимально возможной полнотой популяции.

Пусть определена обучающая последовательность из n объектов, заданная в виде пар $\langle X_i, t_i \rangle$, $i = 1, \dots, n$, где X_i — m -мерный вектор параметров $X_i = (x_{1i}, \dots, x_{mi})$, $t_i \in A$ — принадлежность к классу. Тогда хромосома будет иметь постоянную длину, равную $m \cdot 2$, где m — число параметров (признаков), по которым проводится классификация и может быть представлена в следующем виде:

$x_{1,\min}$	$x_{1,\max}$	\dots	$x_{m,\min}$	$x_{m,\max}$
--------------	--------------	---------	--------------	--------------

Здесь $x_{i,\min}$ и $x_{i,\max}$ — соответственно верхняя и нижняя границы (область определения) значений i -го признака. Будем задавать генотип особи как множество пар $\langle w_{ijk}^1, w_{ijk}^2 \rangle$, для которых выполняется условие:

$$x_{i,\min} \leq w_{ijk}^1 \leq w_{ijk}^2 \leq x_{i,\max}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, N, \quad k = 1, \dots, K,$$

где K — количество особей в популяции. Таким образом, каждая особь в популяции представляет собой m -мерный гиперкуб в пространстве признаков со сторонами $\langle w_{ijk}^1, w_{ijk}^2 \rangle$, который соответствует некоторому правилу [7]. Исходные популяции строятся случайным образом так, чтобы максимально покрыть пространство признаков. Для двух признаков и двух классов это проиллюстрировано на рис. 1.

Видно, что особи исходных популяций не могут служить решением, однако в область покрытия попадают все точки пространства признаков.

Объем общей популяции (состоящей из особей всех N популяций) может быть получен из решения задачи поиска количества гиперкубов со сторонами, размер которых равновероятно распределен в диапазоне $(0, x_{i,\max} - x_{i,\min})$, причем этот набор с вероятностью $P \rightarrow 1$ должен закрывать все точки пространства признаков. Необходимо учитывать тот факт, что если популяция мала, то генетического материала может не хватить для решения имеющейся задачи.

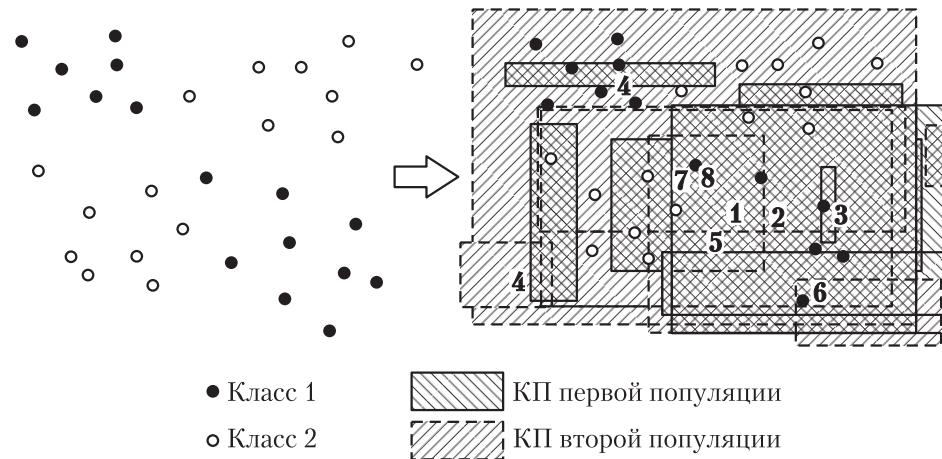


Рис. 1 Представление начальных популяций для двух классов

Размер популяции также влияет на коэффициент применения операторов мутации и скрещивания.

Качество решения также зависит от методики создания популяции. Например, вместо инициализации популяции случайным образом разработчик может добавить хромосомы, которые изначально представляют хорошее решение проблемы. Но это может привести к быстрому схождению популяции, т. е. потере разнообразия в генетическом фонде.

4.2 Целевая функция

Критерием качества являются точность и полнота. Однако они не объединяются единой оценочной функцией, а применяются последовательно и по-разному в зависимости от возникающей ситуации. Так, при отборе родительских пар решающую роль, как это будет показано ниже, играет точность, а при выполнении редукции основным показателем служит полнота и в меньшей мере учитывается точность. Критерием останова является ситуация, когда точность и полнота достигают наперед заданного числа в каждой популяции. Будем считать наилучшей ту популяцию, в которой находятся особи, лучшим образом удовлетворяющие логическим закономерностям для данного класса. Тогда целевая функция определяется как

$$F_{kj} = \frac{r_{kj}}{\sum_{l=1}^N r_{kl}}.$$

Здесь r_{kj} — количество объектов, удовлетворяющих критерию, заданному в генотипе особи k (т. е. объектов, попавших в гиперкуб, соответствующий данной особи), и принадлежащих классу A_j для популяции j (расстояние Хэмминга). Фактически целевая функция определяет точность правила. Тогда целью ГА можно считать нахождение такой популяции, в которой содержится подмножество особей $K_R^j \subseteq K^j$, где K^j — общее количество особей для популяции, моделирующей принадлежность к классу j , для которого $\sum_{k \in K_R^j} F_{kj} \rightarrow 1$ и число объектов, принадлежащих данному классу, в обучающей выборке максимально, т. е. $\bigcup_{k \in K_R^j} \chi_{kj} = SSO_j$. Здесь χ_{kj} — множество объектов, удовлетворяющих критерию и принадлежащих к классу A_j , сформулированному для особи k ; SSO_j — множество объектов, принадлежащих к классу A_j среди множества исходных объектов.

4.3 Выбор родительских особей

Одним из наиболее важных факторов функционирования ГА является выбор родительских пар для получения потомков. Различают случайный и селективный механизмы отбора. В первом случае особи выбираются случайным образом, причем любая особь может стать членом нескольких пар. Во втором случае родительские пары выбираются в соответствии с некоторым условием.

Наиболее распространен способ, когда отбор осуществляется с учетом значения целевой функции (в данном случае с наибольшим значением F_{kj}). Поэтому в качестве вероятности выбора родительской КП можно использовать

$$P_{kj} = \frac{F_{kj}}{\sum_{i=1}^K F_{ij}}.$$

Таким образом, КП с наибольшим значением точности правила могут входить в несколько родительских пар.

4.4 Основные операторы

Непосредственная генерация новых КП из двух выбранных происходит посредством оператора скрещивания (кроссовера, случайно-детерминированного обмена). Вероятность применения оператора скрещивания является одним из параметров ГА и обычно выбирается достаточно большим, например от 0,9 до 1.

Различают одноточечные, двухточечные и равномерные операторы скрещивания в зависимости от вида разбиения КП. При использовании одноточечного

оператора случайным образом выбирается точка разрыва, т. е. участок между соседними битами в строке. Обе родительские строки разрываются по этой точке на два сегмента. Затем соответствующие сегменты различных родителей склеиваются, и получаются два генотипа потомков. В двухточечном операторе выбираются две точки разрыва, и родительские хромосомы обмениваются сегментом, который находится между этими точками. В равномерном операторе скрещивания каждый бит первого родителя наследуется первым потомком с заданной вероятностью, в противном случае этот бит передается второму потомку. В дальнейшем часть этих пар может перейти в популяцию следующего поколения.

После этапа скрещивания выполняется операция мутации. Мутация представляет собой случайное изменение КП. В рассматриваемом случае осуществляется случайное изменение какого-либо элемента пары $\langle w_{ijk}^1, w_{ijk}^2 \rangle$, которая также выбирается случайным образом. Такое изменение должно удовлетворять двум требованиям: (1) сохранение упорядоченности пары и (2) попадание в диапазон области значений для заданной переменной. Оператор мутации позволяет выскочить из локального экстремума и способствует защите от преждевременной сходимости. Вероятность выполнения этого оператора является еще одним параметром алгоритма и не превышает 1%.

Порождение потомков сопровождается уничтожением неперспективных особей. Для этого используется оператор редукции, который имеет в рассматриваемом алгоритме ряд особенностей. В частности, хромосомы в популяции упорядочиваются по точности, но при выполнении редукции может быть исключена особь, имеющая высокую точность, но не увеличивающая полноту популяции. Пример отбора хромосом по полноте проиллюстрирован на рис. 2. В этом случае будет удалена либо КП1, либо КП2, а КП3 будет оставлена, поскольку она увеличивает полноту. Удаление КП2 целесообразно в начальных поколениях для сохранения генетического материала, а КП1 — в конечных поколениях, когда требуется сформулировать более жесткие правила.

Еще одной особенностью алгоритма является введение оператора миграции, который позволяет переносить КП (особь) из одной популяции в другую. Он выполняется с некоторой вероятностью, если в популяции j встречается особь k , для которой $F_{kj} < F_{kp}$, $j \neq p$. Перенос осуществляется в популяцию p . Смысл этого оператора заключается в том, что правила, имеющие низкую точность для

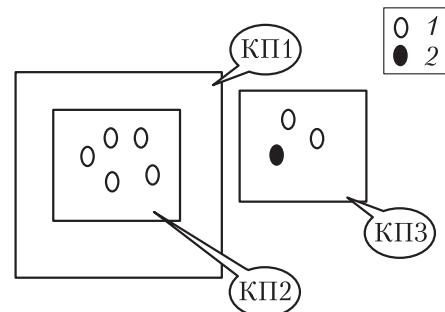


Рис. 2 Отбор хромосом по полноте: 1 — объект первого класса; 2 — объект второго класса

одного класса, могут иметь более высокую точность для другого класса. Такая ситуация наиболее часто возникает в начальных поколениях.

4.5 Функционирование алгоритма

Рассматриваемый ГА можно представить в виде следующей последовательности шагов [7].

Шаг 1. Для каждого класса создать популяцию из $K + R$ особей, где K — наименьший допустимый размер популяции. Этот размер выбирается таким, чтобы с его помощью можно было бы выбрать такое количество различных родительских пар, которое позволило бы восстановить популяцию до размера $K + R$. R выбирается так, чтобы $N(K + R)$ удовлетворяло требованиям, приведенным в подразд. 4.1.

Шаг 2. Выполнить операцию миграции из каждой популяции j . Для этого отбираются R КП, у которых минимально значение целевой функции для заданной последовательности. Среди них отбираются КП, для которых $\max_{k,p}(F_{kp}) > F_{kj}$, $k = 1, \dots, R$, $p = 1, \dots, N$, $p \neq j$. Происходит обмен между популяциями КП, для которых справедливо это условие.

Шаг 3. В каждой популяции сократить число особей до $K' \geq K$, т. е. применить оператор редукции. Удалению подлежат КП с наименьшими значениями целевой функции, для которых целевая функция меньше некоторого порогового значения θ , близкого к 1, либо такие, которые не увеличивают полноту правил. Это позволяет сохранить особи, которые задают правила, имеющие достаточно высокую точность и полноту.

Шаг 4. Если выполняется условие останова (точность и полнота правил, задаваемых КП, не увеличивается), перейти к шагу 8, иначе выполнить следующий шаг.

Шаг 5. Если размеры популяции меньше $K + R$, выбрать родительские пары для оператора скрещивания, иначе перейти к шагу 7.

Шаг 6. Выполнить оператор скрещивания. Перейти к шагу 5.

Шаг 7. Выполнить оператор мутации для случайной КП и перейти к шагу 2.

Шаг 8. Сформировать множество КП, удовлетворяющее цели ГА, приведенной выше. Количество КП, сохраняемых из каждой популяции, может быть переменно.

Шаг 9. Осуществить преобразование сохраненных КП к конъюнкции элементарных логических событий.

4.6 Пример работы алгоритма

В качестве примера, иллюстрирующего работу алгоритма, рассмотрим задачу построения правил для двух классов в двумерном пространстве признаков, как это показано в левой части рис. 1. Пусть признаки X и Y определены в диапазоне $(0, 20)$. Номера объектов, их координаты и распределение по классам представлены в таблице.

Распределение объектов по классам

№ объекта	Класс 1		Класс 2	
	X	Y	X	Y
1	3,22	17,76	11,42	16,48
2	4,61	16,39	12,89	16,56
3	6,52	16,56	13,91	15,02
4	6,44	18,02	11,72	13,56
5	5,78	15,02	16,84	16,65
6	3,66	14,33	9,01	15,02
7	7,17	14,42	14,13	12,96
8	9,59	10,90	14,50	17,76
9	10,47	6,60	5,49	6,00
10	14,35	6,09	5,56	9,18
11	14,72	8,58	7,17	6,95
12	15,45	5,66	7,69	10,21
13	13,84	3,17	3,80	11,24
14	12,30	4,80	4,90	6,95
15	12,45	7,63	7,76	5,49
16	12,23	10,12	8,79	8,32

Далее случайным образом строится начальная популяция. Исходный объем популяции для каждого класса был выбран равным 8, а наименьший допустимый размер — 4. Значения параметров каждой особи представлены на рис. 3.

Столбцы « $\min X$ » и « $\max X$ » задают верхнюю и нижнюю границу события для признака X , « $\min Y$ » и « $\max Y$ » — для признака Y . Столбец « F » характеризует целевую функцию (точность) особи, а « P » — вероятность ее вхождения в родительскую пару (изначально равна 0). Визуальное представление начальной популяции показано в правой части рис. 1.

Для начальной популяции рассчитываются значения точности и полноты. Так, для первого класса точность равна 0,55, а полнота — 0,62. Для второго класса точность равна 0,25, а полнота — 1. Полнота для второй популяции достигается за счет особи с номером 16, которая фактически покрывает все пространство признаков. Из таблицы начальных популяций видно, что семь особей имеют нулевую точность, поэтому выполняем операцию миграции. Миграция осуществляется для КП с номерами 2 и 8 из первой популяции и 10, 13 — из

Класс	№	min X	max X	min Y	max Y	F	P
1	1	8,68	19,85	1,31	14,08	0,75	0
1	2	3,1	4,88	2,96	13,02	0	0
1	3	14,66	15,15	6,32	10,57	1	0
1	4	2,01	10,39	15,31	16,49	1	0
1	5	19,92	19,94	10,81	15,49	0	0
1	6	8,28	19,88	2,12	5,72	1	0
1	7	6,28	18,65	4,71	12,21	0,66	0
1	8	11,39	17,87	13,49	15,23	0	0
2	9	3,42	18	2,78	13,81	0,52	0
2	10	13,66	19,4	0,38	4,16	0	0
2	11	18,82	19,57	9,52	13,07	0	0
2	12	0,21	3,84	2,67	6,39	0	0
2	13	7,74	12,37	1,24	12,43	0,33	0
2	14	9	13,31	0,25	0,44	0	0
2	15	3,29	14	6,94	14,03	0,7	0
2	16	0,76	18,44	1,65	19,57	0,5	0

Класс	Точн.	Полн.
1	0,55	0,62
2	0,25	1

Рис. 3 Начальная популяция

второй (результат представлен в левой части рис. 4). Данная операция увеличила точность до 0,76 и 0,46 соответственно. Далее выполняется оператор редукции (результат представлен в правой части рис. 4).

Точность и полнота для данной популяции приняли следующие значения: для первого класса точность составила 0,93, полнота — 0,62; для второго класса точность равна 0,8, полнота — 0,68. Полнота для второго класса уменьшилась из-за удаления 13-й КП, которая с равной вероятностью объясняла все объекты как первого, так и второго класса.

На следующем шаге выбираются родительские пары. Для этого вычисляются вероятности, которые показаны в столбце «P» левой части рис. 5.



Класс	№	min X	max X	min Y	max Y	F	P
1	1	8,28	19,88	2,12	5,72	1	0
1	2	14,66	15,15	6,32	10,57	1	0
1	3	2,01	10,39	15,31	16,49	1	0
1	4	13,66	19,4	0,38	4,16	1	0
1	5	8,68	19,85	1,31	14,08	0,75	0
1	6	6,28	18,65	4,71	12,21	0,66	0
1	7	7,74	12,37	1,24	12,43	0,66	0
1	8	19,92	19,94	10,81	15,49	0	0
2	9	11,39	17,87	13,49	15,23	1	0
2	10	3,1	4,88	2,96	13,02	1	0
2	11	3,29	14	6,94	14,03	0,7	0
2	12	3,42	18	2,78	13,81	0,52	0
2	13	0,76	18,44	1,65	19,57	0,5	0
2	14	18,82	19,57	9,52	13,07	0	0
2	15	0,21	3,84	2,67	6,39	0	0
2	16	9	13,31	0,25	0,44	0	0

Класс	Точн.	Полн.
1	0,76	0,62
2	0,46	1

Рис. 4 Применение оператора редукции

The diagram illustrates the process of selecting parent pairs and applying the crossover operator. It shows two populations side-by-side, each with a header table and a summary table below it.

Класс	N ^o	min X	max X	min Y	max Y	F	P
1	1	8,28	19,88	2,12	5,72	1	0,26
1	2	14,66	15,15	6,32	10,57	1	0,26
1	3	2,01	10,39	15,31	16,49	1	0,26
1	4	8,68	19,85	1,31	14,08	0,75	0,2
2	5	11,39	17,87	13,49	15,23	1	0,3
2	6	3,1	4,88	2,96	13,02	1	0,3
2	7	3,29	14	6,94	14,03	0,7	0,21
2	8	3,42	18	2,78	13,81	0,52	0,16

Класс	N ^o	min X	max X	min Y	max Y	F	P
1	1	8,28	19,88	2,12	5,72	1	0
1	2	14,66	15,15	6,32	10,57	1	0
1	3	2,01	10,39	15,31	16,49	1	0
1	4	8,68	19,85	1,31	14,08	0,75	0
1	5	8,68	19,85	1,31	14,08	0,75	0
1	6	14,66	15,15	15,31	16,49	0	0
1	7	2,01	10,39	6,32	10,57	0	0
1	8	14,66	15,15	2,12	5,72	0	0
2	9	11,39	17,87	13,49	15,23	1	0
2	10	3,1	4,88	2,96	13,02	1	0
2	11	3,1	4,88	6,94	14,03	1	0
2	12	3,29	14	6,94	14,03	0,7	0
2	13	3,29	14	2,96	13,02	0,57	0
2	14	3,42	18	8,44	15,57	0,53	0
2	15	3,42	18	2,78	13,81	0,52	0
2	16	15,94	17,32	2,78	13,81	0	0

Класс	Точн.	Полн
1	0,93	0,62
2	0,8	0,68

Класс	Точн.	Полн
1	0,56	0,62
2	0,66	0,75

Рис. 5 Отбор родительских пар и применение оператора скрещивания

Далее применяется оператор скрещивания и получаются новые особи в популяциях, представленных в правой части рис. 5. Для случайной КП с малой вероятностью применяется оператор мутации.

В данном примере в качестве критерия останова было задано условие: средняя точность и минимальная полнота в отдельной популяции не должны быть меньше 0,9. Это условие выполнилось на 39-м шаге (рис. 6).

4.7 Операция совершенствования вида

Следует отметить, что, в отличие от большинства существующих ГА, в рассматриваемом подходе популяции имеют переменный размер. Это обусловлено двумя причинами:

The diagram shows the final results of the execution. It features a population table and a summary table.

Класс	N ^o	min X	max X	min Y	max Y	F	P
1	1	8,92	17,14	5	12,65	1	0
1	2	8,28	19,88	2,12	5,72	1	0
1	3	3,55	6,36	12,9	17,66	1	0
1	4	5,11	7,99	12,9	17,66	1	0
1	5	2,01	10,39	6,31	18,84	0,53	0
2	6	8,28	19,88	12,9	17,66	1	0
2	7	2,01	10,39	6,32	10,57	1	0
2	8	3,55	6,36	2,96	13,02	1	0
2	9	2,01	10,39	0,02	6,95	1	0

Класс	Точн.	Полн
1	0,9	1
2	1	0,93

Рис. 6 Результат выполнения

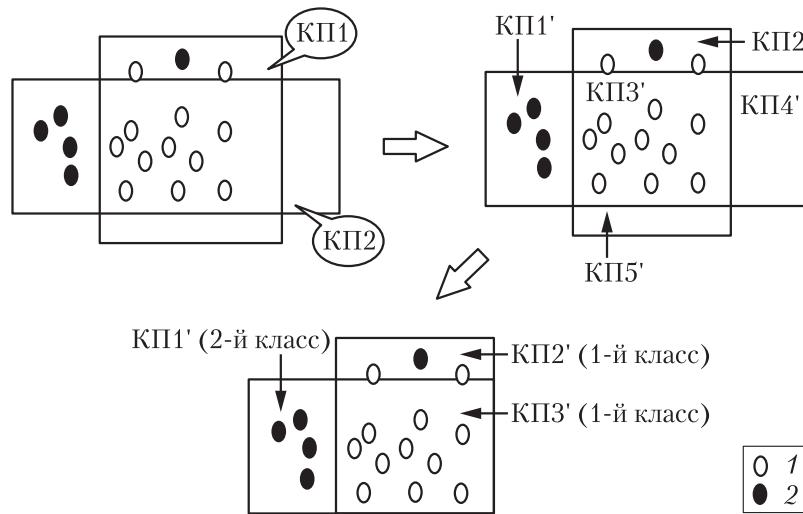


Рис. 7 Операция совершенствования вида: 1 — объекты первого класса; 2 — объекты второго класса

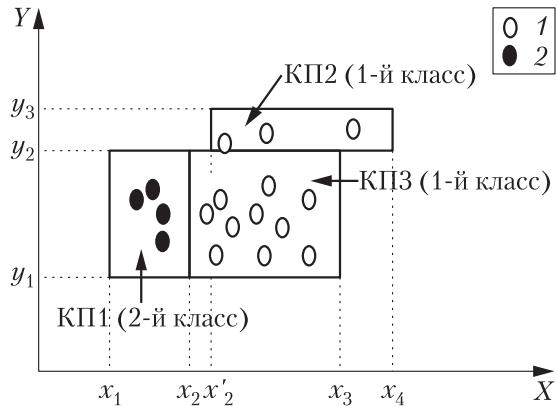
- (1) при описании различных классов может потребоваться различное количество правил, чтобы достичь требуемой точности и полноты;
- (2) популяция в ходе выполнения должна иметь ограничение снизу по размеру, что связано с необходимостью наличия достаточного генетического материала для порождения новых потомков.

Однако в этом виде алгоритм не лишен ряда недостатков, присущих другим подобным алгоритмам:

- любое правило всегда содержит число событий, равное количеству признаков, по которому проводился анализ;
- могут встречаться подобные, фактически совпадающие правила.

Поэтому в алгоритм был внесен ряд изменений, рассчитанных на повышение качества его работы и получаемых результатов. В частности, после генерации h поколений (эпохи) выполняется операция, условно названная совершенствованием вида и направленная на повышение разнообразия правил. Эту операцию можно представить на следующем примере (рис. 7).

В этом примере имеется две КП, принадлежащие к первому классу, причем точность относительно первого класса КП1 равна $12/13$, полнота — 1; точность КП2 — $10/14$, полнота — $10/12$; суммарная точность — $12/17$, полнота — 1. Если предположить, что в текущий момент существуют только эти особи, то

**Рис. 8** Упрощение правил

точность и полнота описания второго класса равна 0. Из рис. 7 видно, что две исходные можно разбить на пять составляющих, которые обозначим КП1', КП2', КП3', КП4', КП5'. Очевидно, что КП4' и КП5' не значимы и их можно отбросить. По правилам существования популяций к КП1' будет применен оператор миграции и она окажется во втором классе. КП2' и КП3' останутся в первом классе. После этих преобразований изменятся показатели точности и полноты для обоих классов. Для КП1' точность будет равна 1, а полнота — 0,8. Эти показатели будут в точности соответствовать аналогичным показателям второго класса. Точность и полнота КП2' будет $2/3$ и $2/12$ соответственно, КП3' — 1 и $10/12$, а для всего первого класса — $12/13$ и 1.

Аналогично проводя дополнительный анализ, можно исключать отдельные события из конъюнкции событий. В качестве примера рассмотрим следующую ситуацию (рис. 8).

Формально эти три КП дают следующие правила:

$$(x_1 \leq x \leq x_2) \wedge (y_1 \leq y \leq y_2) \rightarrow \text{класс 2}; \\ ((x_2 \leq x \leq x_3) \wedge (y_1 \leq y \leq y_2)) \vee ((x'_2 \leq x \leq x_4) \wedge (y_2 \leq y \leq y_3)) \rightarrow \text{класс 1}.$$

Здесь \rightarrow — операция импликации.

Из рис. 8 видно, что эти правила можно заменить двумя более простыми правилами:

$$(x < x_2) \rightarrow \text{класс 2}; \\ (x \geq x_2) \rightarrow \text{класс 1}.$$

За счет дополнительного анализа данных удается повысить эффективность работы ГА. Однако необходимо учитывать, что анализ легко выполняется для

простых ситуаций, подобных приведенным выше. Для более сложных ситуаций затраты на их отслеживание в значительной мере возрастают, что делает их выявление нецелесообразным в ходе выполнения самого алгоритма и вопрос о повышении качества решается по его завершении.

Таким образом, ГА позволяет осуществлять отбор логических закономерностей при анализе многомерных данных с достаточно высокой точностью и полнотой.

Литература

1. Козеев О. Е. Поиск логических закономерностей в системах управления запросами на изменение // Качество. Инновации. Образование, 2008. № 6. С. 54–58.
2. Ковшов Н. В., Мусеев В. Л., Рязанов В. В. Алгоритмы поиска логических закономерностей в задачах распознавания // Журнал вычислительной математики и математической физики, 2008. Т. 48. № 2. С. 329–344.
3. Чесноков С. В. Детерминационный анализ социально-экономических данных. — 2-е изд. — М.: URSS, 2009. 168 с.
4. Booker L. B., Goldberg D. E., Holland J. H. Classifier systems and genetic algorithms // Artificial Intelligence, 1989. Vol. 40. No. 9. P. 235–282.
5. Корнеев В. В., Гареев А. Ф., Васютин С. В., Раих В. В. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. — М.: Нолидж, 2000. 352 с.
6. Дюк В., Самойленко А. Data mining. — СПб.: Питер, 2001. 366 с.
7. Солодовников И. В., Доронин В. А. Генетический алгоритм для поиска логических закономерностей в данных // Информационные технологии, 2005. № 7. С. 11–18.

DATA PREPROCESSING AND EXTRACTION OF LOGICAL RULES BASED ON THE GENETIC ALGORITHM

V. N. Gridin and V. I. Solodovnikov

Center of Information Technologies in Design, Russian Academy of Sciences,
Odintsovo, Moscow Region, Russia, info@ditc.ras.ru

Abstract: The possibility of joint use of genetic algorithms and methods for extraction of logical rules in data mining problems is considered. The combined data preprocessing algorithm is suggested. It consists in segmentation and selection of the most significant values of attributes and combinations of attributes using the genetic algorithm. It can be attributed to the so-called island algorithms as the number of populations is selected equal to the number of classes. Choosing such quantity of populations is due to the fact that the performance assessment of the rules accuracy and completeness is appropriate to produce for each class. It is shown that the genetic algorithm allows selection of logical

rules in the multivariate data analysis with high accuracy and completeness. The presented algorithm can be used to analyze data in data warehouses to detect hidden patterns in them, on the basis of which the construction of rules and decision trees could be produced.

Keywords: genetic algorithm; logical rule; data mining

DOI: 10.14357/08696527130216

References

1. Kozeev, O. E. 2008. Poisk logicheskikh zakonomernostej v sistemah upravlenija zaprosami na izmenenie [Searching for logical laws in systems of managing change requests]. *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie [Quality. Innovation. Education]* 6:54–58.
2. Kovshov, N. V., V. L. Moiseev, and V. V. Rjazanov. 2008. Algoritmy poiska logicheskikh zakonomernostej v zadachah raspoznavaniya [Algorithms for finding logical patterns in pattern recognition]. *Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki [Computational Mathematics and Mathematical Physics]* 48(2):329–44.
3. Chesnokov, S. V. 2013. *Determinacionnyj analiz social'no-jeconomicheskikh dannyh [Determination analysis of social and economical data]*. 3rd ed. M.: URSS. 168 p.
4. Booker, L. B., D. E. Goldberg, and J. H. Holland. 1989. Classifier systems and genetic algorithms. *Artificial Intelligence* 40:235–82.
5. Korneev, V. V., A. F. Gareev, S. V. Vasjutin, and V. V. Rajh. 2000. *Bazy dannyh. Intellektual'naja obrabotka informacii [Database. Intelligent processing of information]*. M.: Znanie. 352 p.
6. Djuk, V., and A. Samojlenko. 2001. *Data mining*. SPb.: Piter. 366 p.
7. Solodovnikov I. V., and V. A. Doronin. 2005. Geneticheskij algoritm dlja poiska logicheskikh zakonomernostej v dannyh [Genetic algorithm for logical patterns detection in data]. *Information Technologies* 7:11–18.

АРХИТЕКТУРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВЫЧИСЛЕНИЯ ИНДИКАТОРОВ ТЕМАТИЧЕСКИХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ*

В. А. Минин¹, И. М. Зацман², В. А. Хавансков³, С. К. Шубников⁴

Аннотация: Дано описание архитектурных решений для вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий. Предлагаемые решения являются основой создания информационных систем, которые не имеют аналогов в российской научно-технической сфере. Их создание необходимо для мониторинга и оценивания программ научных исследований и принятия решений на всех этапах программной научно-технической деятельности. Описана архитектура системы в целом и концептуальные решения по отдельным функциональным подсистемам. Эти решения основаны на методологии определения индикаторов тематических взаимосвязей, которая разработана в ИПИ РАН. Предлагаемые архитектурные решения обладают рядом принципиальных отличий от имеющихся зарубежных аналогов. Во-первых, появляется возможность выбора системы классификации областей знаний. Во-вторых, обеспечивается формирование и применение терминологических портретов рубрик для выбранной классификационной системы.

Ключевые слова: мониторинг и оценивание программ; взаимосвязи науки и технологий; методология определения индикаторов взаимосвязей; информационные системы; архитектурные решения

DOI: 10.14357/08696527130217

1 Введение

Исследования взаимосвязей науки и технологий с использованием количественных индикаторов ведутся не один десяток лет. Их первоначальной целью была разработка и применение методик выявления случаев переноса и использования в сфере технологического развития и инноваций тех научных знаний, которые оказывают существенное влияние на разработку новых технических решений. Например, в конце прошлого века Е. Мансфилд проводил исследования в этой области, взяв в качестве исходных данных сведения о работе американских фирм [1–3]. Его работы содержат эмпирические данные о взаимосвязях

* Работа выполнена при частичной поддержке РГНФ (грант № 12-02-12019в).

¹ Российский фонд фундаментальных исследований, minin@rfbr.ru

² Институт проблем информатики Российской академии наук, iz.ipi@a170.ipi.ac.ru

³ Институт проблем информатики Российской академии наук, havanskov@a170.ipi.ac.ru

⁴ Институт проблем информатики Российской академии наук, sergeysh50@yandex.ru

результатов научных исследований и технологических инноваций. На основе анализа этих данных он пришел к выводу, что 10% технологических новшеств не были бы изобретены или же были бы разработаны с большой задержкой, если бы были выполнены без использования результатов соответствующих научных исследований.

Причина пристального внимания к индикаторному оцениванию процессов переноса знаний заключается в том, что, с одной стороны, финансирование научных исследований, ориентированных на развитие научно-технического задела в области перспективных технологий, связано с большим риском, с другой стороны, есть опасность упустить новые прорывные решения и потерять конкурентоспособность. Это касается конкурентоспособности как отдельных предприятий в конкретной технологической сфере, так и государства в целом.

Таким образом, ключевым фактором необходимости создания аналитико-информационных систем (АИС) индикаторного оценивания взаимосвязей науки и технологий выступает потребность в обоснованных приоритетах финансирования технологически ориентированных исследований.

Для определения этих приоритетов требуются объективные критерии, основанные на индикаторах частотности случаев переноса знаний из разных областей научных исследований в сферу технологического развития и инноваций. Один из наиболее сложных аспектов в изучении взаимосвязей науки и технологий состоит в количественном индикаторном оценивании процессов переноса знаний [4–8].

Проведенный в ИПИ РАН анализ зарубежного опыта показал, что вычисление количественных индикаторов взаимосвязей науки и технологий требует автоматизированной обработки больших объемов слабоструктурированных полнотекстовых описаний изобретений и сопоставления результатов обработки патентной информации как с названиями источников научных публикаций (журналов или материалов конференций), так и с названиями самих статей, хранящихся в научных электронных библиотеках. Это сопоставление дает возможность определить тематику тех научных направлений, к которым относятся научные публикации, цитируемые в описаниях изобретений [9–12].

Разработанный в ИПИ РАН вариант методологии определения значений индикаторов взаимосвязей науки и технологий позволяет вычислять их значения как для целых областей знаний, так и для отдельных направлений исследований [12]. На его основе в настоящее время в ИПИ РАН создается АИС, предназначенная для индикаторного оценивания взаимосвязей науки и развития информационных технологий (ИТ), описанию архитектуры которой посвящена данная статья.

2 Задачи аналитико-информационной системы

Целью разработки АИС является обеспечение мониторинга и индикаторного оценивания инновационно-технологического потенциала направлений ориенти-

рованных фундаментальных научных исследований. Понятие «инновационно-технологический потенциал направлений ориентированных фундаментальных научных исследований» интерпретируется в контексте следующих основных задач, решение которых должна обеспечивать разрабатываемая АИС.

В рамках первой задачи для любой выбранной технологической области (группы технологий) с использованием АИС планируется вычислять индикаторы как коэффициенты корреляции группы технологий с теми направлениями научных исследований, которые оказывают влияние на развитие технологий именно этой группы, т. е. рассматривается одна группа технологий и N направлений научных исследований (далее кратко — задача 1T_NH).

В рамках второй задачи для любого выбранного направления научных исследований планируется вычислять коэффициенты корреляции этого направления с теми группами технологий, на которые оказывает влияние это направление, т. е. M групп технологий и одно направление исследований (далее кратко — задача MT_1H).

В случае решения второй задачи можно получить решение и более общей задачи: для любых N направлений научных исследований вычислить коэффициенты корреляции этих направлений с теми группами технологий, на которые они оказывают влияние, т. е. M групп технологий и N направлений научных исследований (далее кратко — задача MT_NH). Таким образом, под оцениванием инновационно-технологического потенциала направлений фундаментальных научных исследований понимается вычисление указанных коэффициентов корреляции в процессе решения трех перечисленных задач.

К сфере использования результатов АИС относится программно-целевое планирование, финансирование и организация научных исследований, ориентированных на развитие приоритетных и критических технологий. Круг потенциальных пользователей АИС включает руководителей и специалистов органов исполнительной власти федерального и регионального уровня, государственных академий наук и государственных научных фондов, отвечающих за планирование научной деятельности, распределение финансовых ресурсов, мониторинг, оценивание результатов, эффективности и результативности их расходования, а также экспертов и ученых, участвующих в оценивании результатов, эффективности и результативности программно-целевой деятельности в научно-технической сфере.

К настоящему времени существует несколько вариантов методологии оценивания взаимосвязей науки и технологий с использованием количественных индикаторов как коэффициентов корреляции.

Перечислим основные варианты методологии оценивания взаимосвязей науки и технологий, отмечая примеры реализованных (реализуемых) на практике вариантов, для которых решены теоретические и методологические вопросы.

1. Методология оценивания в статике взаимосвязей отдельных групп технологий при фиксированной системе классификации областей знаний и составляющих их направлений научных исследований на заданном интервале времени. Этот вариант является одним из наиболее проработанных с теоретической и методологической точек зрения. Он был реализован, например, в Российском фонде фундаментальных исследований (РФФИ). С его помощью вычислены индикаторы взаимосвязей областей знаний и критических технологий для того массива проектов РФФИ, руководители которых выявили и описали эти взаимосвязи в отчетных формах по своим проектам.
2. Методология оценивания в статике взаимосвязей по широкому спектру групп технологий при фиксированной системе классификации областей знаний и составляющих их направлений научных исследований на заданном интервале времени (с использованием *основного индекса* Международной патентной классификации — МПК). Этот подход хорошо проработан теоретически и опробован на практике. Он был реализован в рамках информационной системы, разработанной по заказу Еврокомиссии с целью анализа многолетнего массива европейских и американских запатентованных изобретений и вычисления коэффициентов корреляции. Этот вариант используется в настоящее время в директоратах Еврокомиссии.
3. Методология оценивания в статике взаимосвязей по всем группам технологий при фиксированной системе классификации областей знаний и составляющих их направлений научных исследований на заданном интервале времени (с использованием *основного и дополнительных индексов* МПК). Этот вариант хорошо проработан теоретически. Продемонстрирована его реализуемость в лабораторных условиях. Он был разработан в ИПИ РАН в рамках проекта по гранту РГНФ № 06-02-04043а «Методы мониторинга и оценки инновационного потенциала и результативности направлений научных исследований». В текущем проекте по гранту РГНФ № 12-02-12019 планируется реализовать разработанную в ИПИ РАН методологию в рамках проектирования макета АИС с экспериментальным массивом полнотекстовых описаний изобретений отечественных и зарубежных заявителей, относящихся к рубрикам МПК для ИТ.

Наибольший интерес при оценивании взаимосвязей науки и технологий представляют не отдельные технологии, а группы технологий по приоритетным направлениям научно-технологического развития, среди которых выделяется группа ИТ [13]. Тематика каждого научного направления, результаты которого используются при разработке технологий, задается в виде одной или нескольких рубрик выбранной системы классификации областей знаний. Тематика каждой анализируемой группы технологий задается в виде списка рубрик МПК. Наиболее часто используются списки рубрик МПК из номенклатуры, разработанной Фраунгоферским институтом системотехники и инновационных исследований

(Fraunhofer Gesellschaft-Institute fur Systemtechnik und Innovationsforschung — FhG-ISI) [8].

В номенклатуре FhG-ISI группа ИТ, для которой в настоящее время разрабатывается макет АИС, предназначенный для индикаторного оценивания тематических взаимосвязей, описывается следующими тремя рубриками МПК:

- (1) класс¹ G06 — «Вычисление; счет» (эта рубрика МПК включает оптические вычислительные устройства, обработку цифровых данных с помощью компьютеров, аналоговые и гибридные компьютеры);
- (2) подкласс G11C — «Запоминающие устройства статического типа»;
- (3) подкласс G10L — «Анализирование или синтезирование речи; распознавание речи».

Таким образом, макет АИС будет содержать патентные информационные ресурсы² по трем рубрикам МПК: G06, G11C и G10L. Используя эти ресурсы, система должна будет по запросам экспертов определять индикаторы тематических взаимосвязей для изобретений по ИТ, имеющих коды рубрик G06, G11C и G10L. Для вычисления значений индикаторов в макете будут использоваться следующие информационные ресурсы:

- классификатор научных направлений, исследования по которым взаимосвязаны с развитием ИТ;
- массив библиографических описаний изобретений по ИТ, запатентованным и опубликованным в России в течение заданного периода времени, с приведенными рубриками МПК;
- файл библиографических описаний цитируемых научных публикаций, извлеченных из полнотекстовых описаний изобретений по ИТ, запатентованных и опубликованных в России в течение заданного периода времени;
- база данных (БД) структурированных библиографических описаний цитируемых научных публикаций, для каждой из которых будут приведены рубрики научных направлений.

Следует отметить, что наличие временных полей в структурах данных библиографических описаний изобретений (дата подачи заявки, дата выдачи патента) и библиографических данных статей (год ее публикации) позволяет кроме значений индикаторов взаимосвязей вычислять и временные характеристики, которые показывают время отклика технологического развития на результаты научных исследований в соответствующих областях знаний.

¹Все рубрики МПК образуют иерархическую структуру и делятся на 5 категорий: разделы (верхний уровень иерархии), классы, подклассы, группы и подгруппы (нижний уровень иерархии).

²Полные описания изобретений к патентам доступны в открытом доступе на веб-сайте Федерального института промышленной собственности (ФИПС) по адресу <http://www1.fips.ru/wps/portal/Registers>.

3 Информационные ресурсы аналитико-информационных систем и технология их обработки

Методы и подходы, предлагаемые для решения трех задач АИС (обозначенных ранее как задачи $1T_NH$, MT_1H и MT_NH), практически полностью совпадают. Основное отличие состоит в принципах формирования информационных ресурсов, которые необходимы для решения каждой из этих задач. Для решения первой задачи необходимо ввести в АИС массив полнотекстовых описаний запатентованных в России изобретений по одной выбранной группе технологий в течение заданного периода времени (т. е. того периода, для которого необходимо получить значения индикаторов), например по группе ИТ. Для решения второй и третьей задач необходимо загрузить массив описаний изобретений по M группам технологий, запатентованных в России в течение заданного периода времени.

После загрузки в АИС необходимых описаний изобретений сначала должен быть сформирован массив библиографических описаний научных публикаций, цитируемых в описаниях изобретений. Именно здесь возникает необходимость формирования структурированных данных на основе слабоструктурированных описаний изобретений. Затем необходимо провести рубрицирование этих научных публикаций в рамках заданной классификации научных направлений. Далее средствами АИС выполняется автоматическое сопоставление частот появления рубрик МПК, приведенных в загруженных описаниях изобретений, и частот появления рубрик цитируемых в этих изобретениях научных публикаций (рубрик заданной классификации научных направлений).

Значения частот рубрик научных документов одного направления исследований, цитируемых в изобретениях с рубриками МПК заданной группы технологий, представляют собой значения индикаторов взаимосвязей этого направления с рубриками МПК заданной группы технологий. Отметим, что значения индикаторов существенно зависят от выбранной классификации научных направлений.

Предлагаемая процедура оценивания инновационно-технологического потенциала направлений ориентированных фундаментальных научных исследований предполагает использование в качестве входных импортируемые информационные ресурсы. В упрощенном виде входные и выходные информационные ресурсы и их взаимодействие на разных этапах представлены на рис. 1.

Загружаемые в АИС патентные ресурсы публикуются Роспатентом на CD/DVD носителях и доступны на его сайте. Для привязки библиографических ссылок к направлениям научных исследований в макете АИС используется Классификатор РФФИ.

Выходным информационным ресурсом служит БД структурированных библиографических ссылок на публикации в описаниях изобретений, каждая из

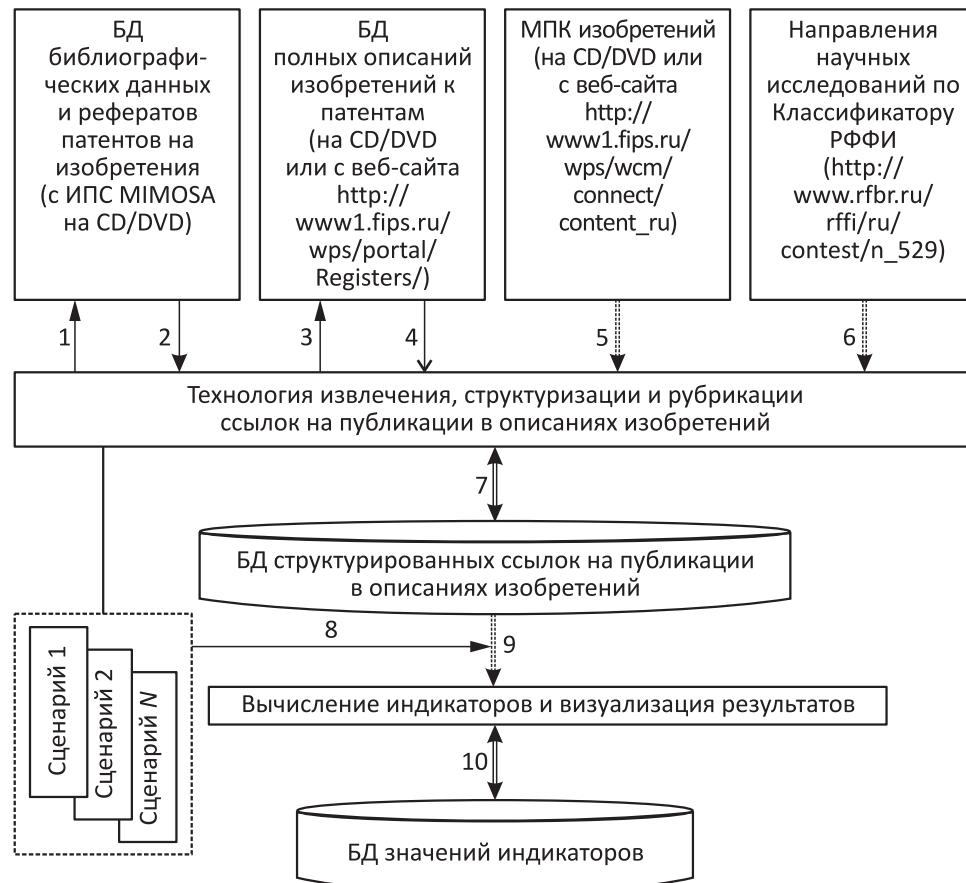


Рис. 1 Входные и выходные информационные ресурсы макета АИС

которых привязана, с одной стороны, к индексу МПК, с другой стороны, к индексу направления научных исследований.

На рис. 1 показаны следующие информационные массивы:

- БД библиографических данных и рефератов патентов на изобретения (поставляется вместе с информационно-поисковой системой (ИПС) MIMOSA);
- БД полных описаний изобретений к патентам;
- Международная патентная классификация (МПК) изобретений;
- Классификатор РФФИ;
- БД структурированных ссылок на публикации в описаниях изобретений;
- БД значений индикаторов.

Уточним содержание информационных потоков и процедур, обозначенных стрелками на рис. 1 (номер элемента нижеприведенного списка соответствует номеру стрелки).

1. Составление процедуры (сценария) вычисления значений индикаторов как коэффициентов корреляции. При выполнении каждой процедуры определяется и параметрически описывается исследуемая группа технологий и тот ретроспективный временной период, для которого необходимо вычислить значения индикаторов. С этой целью используются рубрики МПК и даты (годы) публикации патентов.
2. Список библиографических данных патентов, отобранных по запросу и включающих рубрики МПК и даты (годы) публикации патентов.
3. Формирование запроса в БД полных описаний изобретений (достаточно знать номер патента на изобретение из полученного списка библиографических данных).
4. Получение по запросу полного описания запатентованного изобретения.
5. Использование кодов и названий рубрик МПК.
6. Использование кодов и названий рубрик классификатора направлений научных исследований, в данном случае — Классификатора РФФИ.
7. Формирование и пополнение БД структурированных ссылок на публикации, выделенных из полных описаний изобретений.
8. Группировка структурированных ссылок на публикации в соответствии с параметрами сценария, в частности по направлениям исследований, критическим и приоритетным технологиям.
9. Структурированные ссылки на публикации с присвоенными им рубриками МПК изобретений, в которых упоминается данная публикация, и рубриками классификатора научных направлений, к которым относится данная публикация.
10. Вычисленные значения индикаторов.

В разработанной технологии вычисления значений индикаторов можно выделить два основных этапа. Первый (подготовительный) этап включает формирование БД структурированных ссылок на публикации, включенных в описания изобретений. Он предполагает обработку больших объемов слабоструктурированных описаний изобретений, трудно поддающихся полной автоматизации и поэтому требует привлечения операторов. Этот этап может повторяться итерационно в целях пополнения БД. Второй этап включает вычисление значений количественных индикаторов и получение на их основе экспертных оценок инновационно-технологического потенциала направлений ориентированных фундаментальных научных исследований, т. е. на этом этапе предполагается привлечение экспертов.



Рис. 2 Архитектура АИС

Для реализации разработанной технологии вычисления значений индикаторов взаимосвязей в настоящее время создается макет АИС, которая состоит из 7 функциональных подсистем (рис. 2), взаимодействующих между собой через структурированные наборы данных, объединенные в БД АИС:

- (1) подсистема создания и ведения классификаторов АИС, включая импорт внешних классификаторов (подсистема **«Классификаторы»**);
- (2) подсистема импорта и формирования БД описаний изобретений, используемых для выделения библиографических ссылок на публикации (подсистема **«Импорт»**);
- (3) подсистема формирования и ведения информационных массивов выделенных неструктурированных библиографических ссылок на публикации, цитируемые в описаниях изобретений (подсистема **«Цитирование»**);
- (4) подсистема формирования и ведения БД структурированных библиографических ссылок на публикации, в том числе присвоение рубрик научных направлений (подсистема **«Рубрицирование»**);

- (5) подсистема формирования и ведения БД значений индикаторов взаимосвязей науки и технологий (подсистема «**Индикаторы**»);
- (6) подсистема построения сценариев оценивания индикаторов взаимосвязей науки и технологий и экспертной верификации вычисленных значений индикаторов (подсистема «**Экспертиза**»);
- (7) подсистема автоматизированного построения аналитических отчетов с количественными индикаторами и качественными экспертными оценками взаимосвязей науки и технологий (подсистема «**Аналитика**»).

4 Проектные решения для функциональных подсистем АИС

Подсистема «Классификаторы» (рис. 3) предназначена для ведения БД классификаторов и решает следующие задачи:

- импорт внешних классификаторов и ведение БД классификаторов;
- составление терминологических портретов рубрик классификаторов.

В рамках АИС для формального описания направлений научных исследований предполагается использовать Классификатор РФФИ, а для кодирования видов и групп технологий — МПК.

Подсистема должна обеспечивать автоматизированный ввод классификаторов с электронных носителей или с сайтов, доступных через Интернет. Учитывается,

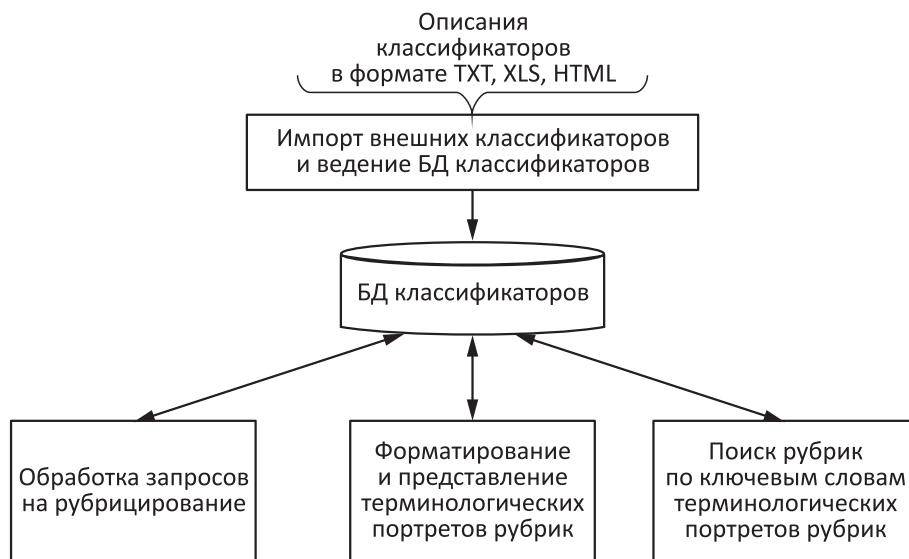


Рис. 3 Архитектура подсистемы «Классификаторы»

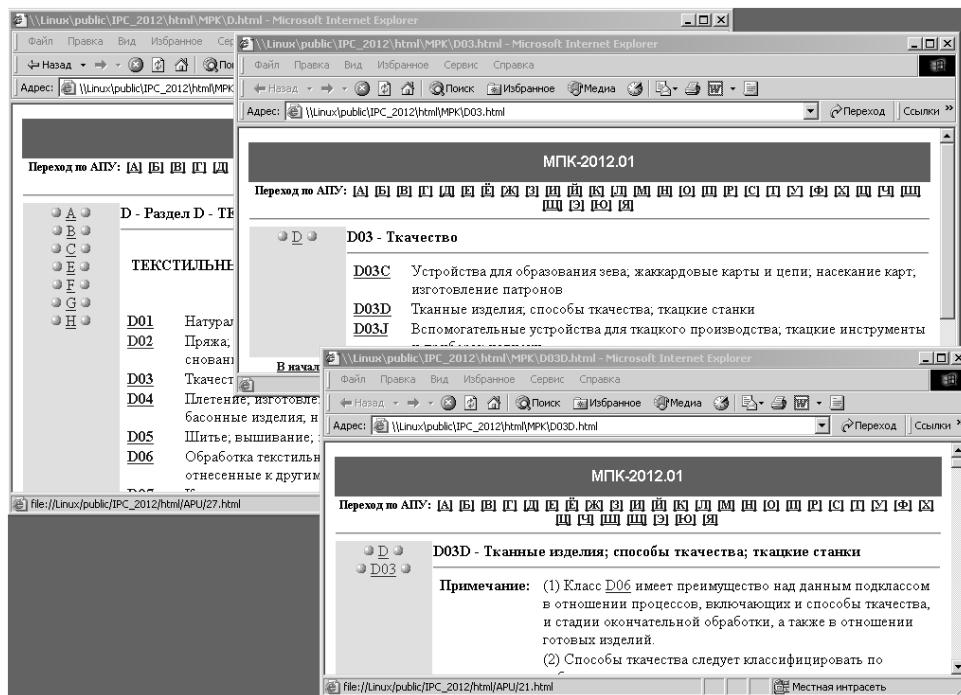


Рис. 4 Фрагмент описания МПК с примерами классов и подклассов из раздела D

что классификаторы могут изменяться во времени. Обеспечивается визуальное отображение классификаторов для пользователей системы, наличие возможности поиска отдельных рубрик, в том числе возможность создания терминологических портретов рубрик.

Импортируемые в АИС электронные описания классификаторов имеют различные структуры и форматы. Например, классификатор РФФИ представляет собой список рубрик в одном PDF-файле. Международная патентная классификация представляет собой коллекцию иерархически связанных файлов в формате HTML (рис. 4). Рисунок 4 включает коды и названия отдельных рубрик следующих двух уровней МПК, которые называются классами и подклассами, входящих в раздел D «Текстиль; бумага». Верхний уровень иерархии включает всего восемь разделов:

- (1) А — удовлетворение жизненных потребностей человека;
- (2) Б — различные технологические процессы; транспортирование;
- (3) С — химия; металлургия;
- (4) Д — текстиль; бумага;

- (5) Е — строительство; горное дело;
- (6) F — машиностроение; освещение; отопление; двигатели и насосы; оружие и боеприпасы; взрывные работы;
- (7) G — физика;
- (8) H — электричество.

Подсистема «Классификаторы» включает набор структурированных запросов, которые обеспечивают ее взаимодействие с другими подсистемами АИС в целях решения следующих задач:

- выбор рубрики при рубрицировании публикаций и научных журналов;
- формирование ссылок на рубрики при отображении их кодов в текстах, таблицах и диаграммах;
- поиск рубрик по ключевым словам из их терминологических портретов.

Подсистема «Импорт» (рис. 5) служит для формирования БД описаний изобретений, содержащих цитируемые научные публикации. Она предназначена для решения следующих задач:

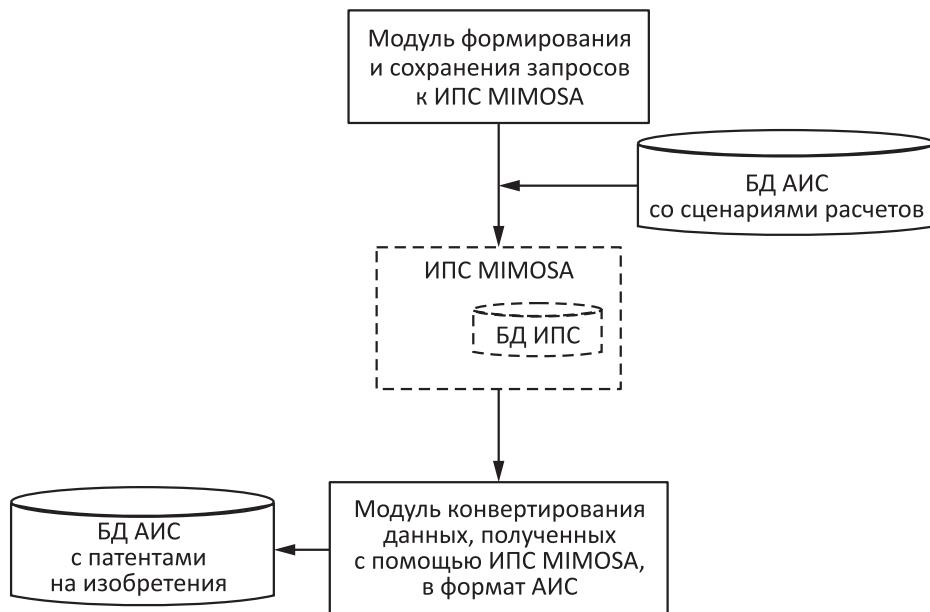


Рис. 5 Архитектура подсистемы «Импорт»

- составление и ведение библиотеки типовых запросов к БД описаний изобретений,
- формирование БД описаний изобретений путем импорта внешних информационных массивов.

Исходя из заданного сценария оценки взаимосвязей направлений научных исследований и технологических областей создается поисковый запрос. В ответ на запрос формируется список патентов на изобретения. В качестве базового программного инструмента на этом этапе используется ИПС MIMOSA, которая позволяет работать с реферативной информацией, содержащейся на оптических носителях, выпускаемых Роспатентом.

Информационно-поисковая система MIMOSA обеспечивает не только поиск информации по запросам, но и позволяет выгружать массивы найденных документов в виде структурированных текстовых файлов или в формате своей БД.

Индексы МПК в ИПС MIMOSA могут содержаться в разных полях, что учитывается при формировании запроса на поиск патентов на изобретения. Эти поля содержат коды рубрик МПК, к которым относится изобретение, но заполняются они разными участниками процесса подачи заявок на выдачу патентов на изобретения (это поле с меткой ICAI, которое заполняется заявителем) и процесса проведения экспертизы заявки по существу (это поля с метками ICA и ICAA, которые заполняются экспертом). Ниже приводится пример построенного запроса для ИПС MIMOSA:

$(ICA = G06^* \text{ OR } ICAA = G06^* \text{ OR } ICAI = G06^*) \text{ ANDDP} = 2012^*$,

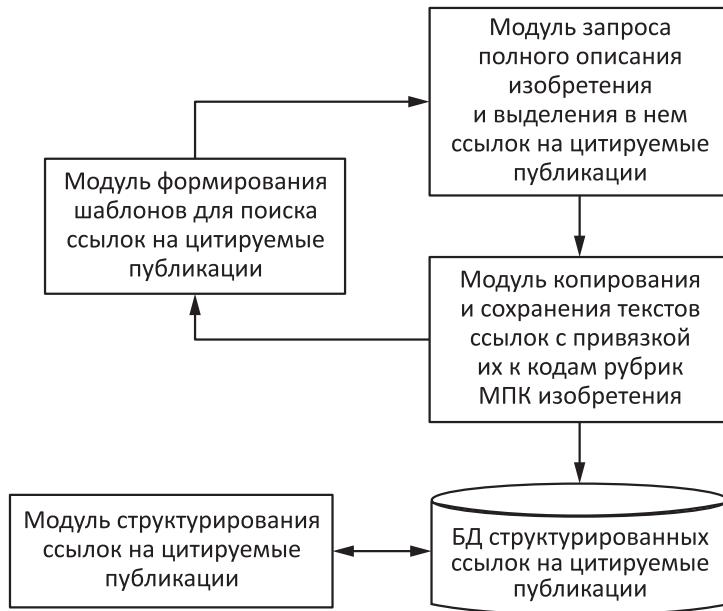
где знак «**» служит знакозаменителем¹.

В случае если запрос выполнен (т. е. синтаксис проверен и поиск проведен) и хотя бы один документ найден, то ИПС МИМОЗА предлагает просмотреть список библиографических данных всех найденных документов. В результате выполнения запроса формируется структурированный текстовый файл библиографических описаний патентов, отвечающих построенному запросу. Файл с библиографическими данными содержит рефераты описаний изобретений и URL (uniform resource locator) ссылки для доступа к полному описанию в открытом реестре изобретений Роспатента.

Подсистема «Цитирование» (рис. 6) формирует список структурированных ссылок на научные публикации, цитируемые в описаниях изобретений. Она решает следующие задачи:

- создание и ведение библиотеки шаблонов для поиска ссылок на цитируемые публикации;

¹ Данный запрос имеет следующее содержание: выбрать все документы, которые содержат код МПК G06 в полях «Классификация — расширенный уровень», «Классификация — дополнительная информация», «Классификация — изобретательская информация» и символы «2012» в поле «Дата публикации».

**Рис. 6** Архитектура подсистемы «Цитирование»

- автоматизированный поиск ссылок на цитируемые публикации;
- формирование и ведение библиотеки правил для структурирования ссылок на публикации;
- автоматизированное структурирование ссылок;
- формирование БД структурированных библиографических ссылок на цитируемые публикации.

Задача поиска ссылок на публикации решается с помощью автоматического выделения фрагментов неструктурированного текста по заданным признакам. Для этого используются шаблоны разных видов ссылок на публикации, которые строятся на основе признаков, характерных для каждого вида ссылок на публикации. Шаблоны формируются на основе данных анализа текстового массива описаний изобретений. Они могут корректироваться в процессе работы АИС. Все ссылки на публикации в тексте описания изобретения, найденные с помощью шаблонов, выделяются цветом (рис. 7). Подобное выделение дает возможность оператору контролировать точность поиска ссылок на публикации.

В ходе контроля оператором точности и полноты поиска ссылок на публикации накапливается статистика по определению успешно выделенных фрагментов

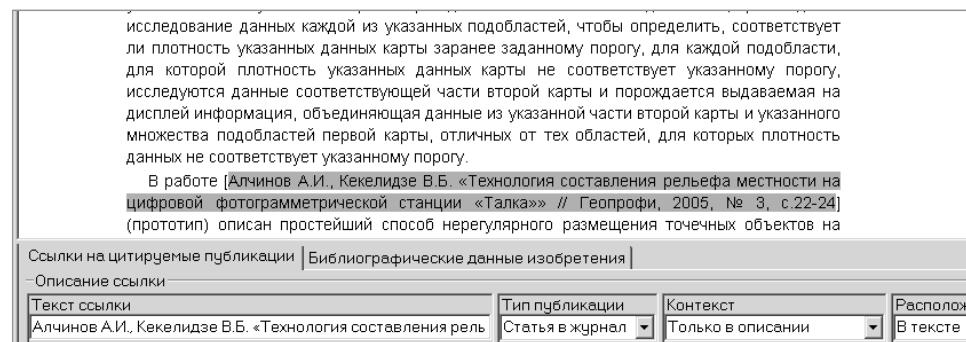


Рис. 7 Выделенная ссылка в неструктурированном тексте описания изобретения

текста, которые действительно оказались ссылками цитирования. Такая статистика позволяет увеличить результативность автоматического выделения ссылок цитирования, что, в свою очередь, служит предпосылкой для повышения результативности процесса автоматизированного поиска библиографических ссылок в описаниях изобретений.

Текст ссылки сохраняется в БД АИС с привязкой к библиографическим данным патента на изобретение (в том числе к рубрикам МПК) и с указанием вида публикации (статья, книга, доклад и пр.). Затем неструктурированный текст ссылки на публикацию (только для статей) структурируется по отдельным полям (авторы, название публикации, название журнала, год публикации, том / выпуск, страницы) с использованием библиотеки правил структурирования.

Для идентификации научных журналов в БД АИС предполагается использовать нормализованный список их названий с перечнем рубрик научных направлений исследований, к которым относятся статьи журналов. Таким образом, привязка ссылки на публикацию к журналу из указанного списка (с использованием процедуры нормализации названия журнала) автоматически показывает набор рубрик научных направлений, наследуемых данной публикацией из атрибутов этого журнала. В случае отсутствия возможности автоматически нормализовать название журнала и привязать ссылку на публикацию к научному журналу, предусмотрена возможность передачи этой ссылки библиографу, осуществляющему нормализацию названия журнала и привязку к нему этой публикации.

Выходом данной подсистемы является массив структурированных ссылок цитирования с привязкой: (а) к рубрикам научных направлений исследования; (б) к библиографическим данным изобретения в целом и к рубрикам МПК в частности. Привязка к библиографическим данным изобретения дает возможность вычислять значения индикаторов взаимосвязей науки и технологий с фильтрацией и / или группировкой по разным атрибутам изобретения (например: по стране патентовладельца, дате подачи заявки, выдачи патента и т. д.).

Подсистема «Рубрицирование» предназначена для классификации структурированных ссылок на цитируемые публикации по научным направлениям заданного классификатора и решает следующие две задачи:

- (1) рубрицирование цитируемых научных публикаций на основе списка нормализованных названий журналов, которые имеют рубрики научных направлений,
- (2) уточнение рубрик цитируемых научных публикаций на основе сопоставления названий публикаций с терминологическими портретами, которые приписаны рубрикам научных направлений.

Операция рубрицирования цитируемых научных публикаций на основе списка нормализованных названий журналов обеспечивает присвоение рубрик только для части цитируемых научных публикаций из-за неполного распознавания видов публикаций. В первой версии АИС предполагается рубрицирование только статей из научных журналов. В процессе рубрицирования доступны: название журнала, название статьи, а также терминологические портреты, которые приписаны рубрикам научных направлений.

В процессе разработки методологии определения значений индикаторов взаимосвязей науки и технологий было выделено четыре типа возможных тематических отношений между изобретениями и публикациями:

- (1) одной рубрике МПК изобретения соответствует одна рубрика научного направления;
- (2) одной рубрике МПК соответствуют несколько рубрик научных направлений;
- (3) нескольким рубрикам МПК соответствует одна рубрика научного направления;
- (4) нескольким рубрикам МПК соответствуют несколько рубрик научных направлений.

Подсистема обеспечивает вычисление индикаторов с учетом всех типов тематических отношений. Сущность изобретения выражается основной рубрикой МПК, а дополнительные носят уточняющий характер. В процессе разработки АИС предполагалось, что проектирование индикаторов с учетом перечисленных типов отношений, различий между основными и дополнительными рубриками является самостоятельной задачей, которая решается вне АИС [14–18]. Методы проектирования индикаторов были рассмотрены в работах [19, 20]. Эти методы были разработаны на основе семиотических моделей [21–26].

В процессе проектирования АИС был проведен анализ двух вариантов рубрицирования публикаций. В первом варианте, в котором используются все рубрики МПК, указанные в библиографических данных изобретения, АИС генерирует матрицу из $L = C_m \times C_s$ взаимосвязей технологий и научных

направлений (C_m — количество рубрик МПК; C_s — число рубрик научных направлений исследований). Особенности формирования этой матрицы наглядно иллюстрирует пример из работы [27], где описан процесс построения матрицы, у которой t изменяется от первой до 441-й рубрики МПК (рассматривались рубрики только одного вида — подклассы МПК), а s — от первого до 187-го направления научных исследований. Значения элементов этой матрицы были вычислены в процессе обработки 656 695 патентов на изобретения, выданных Патентным ведомством США, заявки на которые были поданы в период 1992–1996 гг. Сначала из описаний изобретений были выделены 1 147 160 непатентных ссылок (т. е. ссылки на патенты были исключены). При этом рассматривались только так называемые «front-page публикации», которые цитируются на первых страницах описаний отобранных изобретений. Затем из этих непатентных ссылок были выбраны только те ссылки на журнальные статьи (было отобрано 106 636 ссылок), для которых удалось идентифицировать название журнала и соотнести его с нормативным списком, в котором каждому названию присвоена одна или несколько рубрик научных направлений исследований. В результате обработки этих ссылок были вычислены значения матрицы взаимосвязей технологий и научных направлений. При этом описания изобретений, относящихся к 7% рубрик МПК (31 подкласс), включали 80% ссылок на журнальные статьи, что свидетельствует о весьма неравномерном распределении научных публикаций по областям технологий.

Первый вариант рубрицирования публикаций не дает возможности определить направление исследований в том случае, когда статья опубликована в журнале, которому присвоено несколько рубрик научных направлений исследований. Поэтому в процессе проектирования АИС был разработан второй вариант рубрицирования публикаций, в котором для более точного и полного рубрицирования было предложено использовать процедуру сопоставления терминологических портретов рубрик и названий статей. Очевидно, что результаты расчетов значений матрицы взаимосвязей технологий и научных направлений будут зависеть от выбранного способа рубрицирования.

Подсистема «Индикаторы» предназначена для вычисления значений индикаторов. Эта подсистема решает следующие задачи:

- вычисление частот встречаемости пар рубрика МПК (технологии) – рубрика Классификатора РФФИ (направления научных исследований) в виде матрицы взаимосвязей технологий и научных направлений;
- создание и ведение БД вычисленных значений индикаторов.

Таким образом, в качестве индикаторов взаимосвязей технологий и направлений научных исследований выбраны частоты встречаемости пар индекс МПК и рубрика Классификатора РФФИ, которые определяются на основе ссылок на научные публикации, извлеченные из полнотекстовых описаний изобретений.

Дополнительные атрибуты взаимосвязей

Библиографические данные изобретений	Дата подачи заявки Дата выдачи патента Страна автора изобретения Страна заявителя Страна патентообладателя
Структурные поля ссылок цитирования	Год публикации Страна публикации

Наличие и использование дополнительных атрибутов для каждой полученной взаимосвязи (см. таблицу) позволяет создавать подмножества индикаторов взаимосвязей науки и технологий по странам, периодам подачи заявок, выдачи патентов и т. д.

Подсистема «Экспертиза» предназначена для построения сценариев и экспертной верификации вычисленных значений индикаторов. Эта подсистема решает следующие задачи:

- построение сценариев вычисления значений индикаторов взаимосвязей науки и технологий на основе заданных параметров;
- обеспечение экспертной верификации вычисленных значений индикаторов.

Подсистема «Экспертиза» доступна только для экспертов. Она поддерживает возможность создания, хранения и сопоставления различных вариантов сценарных расчетов. Она также дает возможность сопоставлять вычисленные значения индикаторов с теми информационными ресурсами (описаниями изобретений и ссылками на публикации), в процессе обработки которых было получено каждое значение индикатора.

Для представления результатов работы экспертов в виде аналитических отчетов предлагается использовать *подсистему «Аналитика»*. Эта подсистема выполняет следующие задачи:

- проектирование аналитических отчетов;
- автоматизированное формирование аналитических отчетов, содержащих результаты вычислений значений индикаторов в виде таблиц, диаграмм, графиков и сопровождающего текста (структура аналитического отчета определяется в процессе его проектирования).

5 Заключение

Рассмотренные архитектурные решения для вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий являются основой создания информационной системы, которая не имеет аналогов в российской научно-технической

сфере. Наиболее близким зарубежным аналогом является европейская система, описание которой дано в работе [27]. Предлагаемые архитектурные решения обладают рядом принципиальных отличий от этого аналога:

- выбор именно тех систем классификации областей знаний, которые используются в процессе принятия решений;
- использование всех научных публикаций, цитируемых в описаниях отобранных изобретений, для определения значений индикаторов взаимосвязей науки и технологий (одновременно планируется вычислять и варианты индикаторов с использованием только «front-page» публикаций», что дает возможность сопоставить полученные отечественные результаты с зарубежными);
- формирование и применение терминологических портретов рубрик для используемых систем классификации областей знаний;
- использование ключевых слов из названий публикаций для уточнения рубрики публикации в тех случаях, когда одному источнику публикации приписано несколько рубрик системы классификации областей знаний.

Актуальность создания в России системы для вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий существенно возросла после принятия Государственной программы РФ «Развитие науки и технологий на 2013–2020 годы», включающей шесть подпрограмм. Для подпрограммы номер 2 «Прикладные проблемно-ориентированные исследования и развитие научно-технического задела в области перспективных технологий» установлены два следующих индикатора:

- (1) коэффициент изобретательской активности (число отечественных патентных заявок на изобретения, поданных в России в расчете на 10 тыс. чел. населения);
- (2) число патентных заявок на изобретения, поданных отечественными заявителями в России из организаций — участников Государственной программы.

Цитируемость в описаниях изобретений публикаций, являющихся непосредственными результатами научных исследований и разработок, не нашла своего отражения в списке индикаторов, которые должны отражать развитие научно-технического задела в области перспективных технологий. Таким образом, в списке утвержденных индикаторов отсутствует целая категория показателей, характеризующих процессы переноса знаний из разных областей научных исследований в отечественную сферу технологического развития и инноваций. Одна из причин отсутствия этой категории заключается в том, что в нашей стране в настоящее время полностью отсутствуют те информационные системы, которые могли бы вычислять индикаторы взаимосвязей научных направлений и технологий, сопоставляя накопленные научные и патентные информационные ресурсы.

Литература

1. Mansfield E. Academic research and innovation // Res. Policy, 1991. Vol. 20. Iss. 1. P. 1–12.
2. Mansfield E. Academic research underlying industrial innovations: Sources, characteristics and financing // Rev. Econ. Statistics, 1995. Vol. 77. No. 1. P. 55–62.
3. Mansfield E. Academic research and industrial innovation: An update of empirical findings // Res. Policy, 1998. Vol. 26. Iss. 7-8. P. 773–776.
4. Narin F., Noma E. Is technology becoming science? // Scientometrics, 1985. Vol. 7. No. 3-6. P. 369–381.
5. Schmoch U. Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators // Scientometrics, 1993. Vol. 26. P. 193–211.
6. Narin F., Olivastro D. Linkage between patents and papers: An interim EPO/US comparison // Scientometrics, 1998. Vol. 41. No. 1-2. P. 51–59.
7. Tijssen R. J. W., Buter R. K., Van Leeuwen Th. N. Technological relevance of science: An assessment of citation linkages between patents and research papers // Scientometrics, 2000. Vol. 47. No. 2. P. 389–412.
8. Van Looy B., Zimmermann E., Veugelers R., Verbeek A., Mello J., Debackere K. Do science-technology interactions pay off when developing technology? An exploratory investigation of 10 science-intensive technology domains // Scientometrics, 2003. Vol. 57. No. 3. P. 355–367.
9. Зацман И. М., Шубников С. К. Принципы обработки информационных ресурсов для оценки инновационного потенциала направлений научных исследований // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды 9-й Всеросс. научной конф. RCDL'2007. — Переславль: Ун-т г. Переславля, 2007. С. 35–44.
10. Зацман И. М., Курчавова О. А., Галина И. В. Информационные ресурсы и индикаторы для оценки инновационного потенциала направлений научных исследований // Системы и средства информатики, 2008. Вып. 18 (доп.). С. 159–175.
11. Кожунова О. С. Цитирование документов в патентах как индикатор взаимосвязи областей науки и технологий // Системы и средства информатики, 2012. Т. 22. № 2. С. 106–128.
12. Минин В. А., Зацман И. М., Кружков М. Г., Норекян Т. П. Методологические основы создания информационных систем для вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий // Информатика и её применения, 2013. Т. 7. Вып. 1. С. 70–81.
13. Архипова М. Ю., Зацман И. М., Шульга С. Ю. Индикаторы патентной активности в сфере информационно-коммуникационных технологий и методика их вычисления // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО, 2010. № 4. С. 93–104.
14. Зацман И. М., Кожунова О. С. Семантический словарь системы информационного мониторинга в сфере науки: задачи и функции // Системы и средства информатики, 2007. Вып. 17. С. 124–141.
15. Zatsman I., Kozhunova O. Evaluating for institutional academic activities: Classification scheme for R&D indicators // 10th Conference (International) on Science and

- Technology Indicators (STI'2008): Book of abstracts. — Vienna: ARC GmbH, 2008. P. 428–431.
16. Zatsman I., Kozhunova O. Evaluation system for the Russian Academy of Sciences: Objectives-resources-results approach and R&D indicators // 2009 Atlanta Conference on Science and Innovation Policy Proceedings / Eds. S. E. Cozzens and P. Catalan. <http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/32300/1/104-674-1-PB.pdf>.
 17. Зацман И. М. Категоризация результатов и индикаторов программ научных исследований в информационных системах мониторинга // Системы и средства информатики, 2009. Вып. 19 (доп.). С. 200–219.
 18. Zatsman I., Durnovo A. Incompleteness problem of indicators system of research programme // 11th Conference (International) on Science and Technology Indicators (STI'2010): Book of abstracts. — Leiden: CWTS, 2010. P. 309–311.
 19. Zatsman I., Durnovo A. Program-oriented indicators: Production and application in science // Системы и средства информатики, 2012. Т. 22. № 1. С. 110–120.
 20. Zatsman I., Durnovo A. Proactive dictionary of evaluation system as a tool for science and technology indicator development // 17th Conference (International) on Science and Technology Indicators Proceedings. — Montréal: Science-Metrix and OST, 2012. Vol. 2. P. 905–906.
 21. Зацман И. М., Косарик В. В., Курчавова О. А. Задачи представления личностных и коллективных концептов в цифровой среде // Информатика и её применения, 2008. Т. 2. Вып. 3. С. 54–69.
 22. Зацман И. М. Семиотическая модель взаимосвязей концептов, информационных объектов и компьютерных кодов // Информатика и её применения, 2009. Т. 3. Вып. 2. С. 65–81.
 23. Зацман И. М. Нестационарная семиотическая модель компьютерного кодирования концептов, информационных объектов и денотатов // Информатика и её применения, 2009. Т. 3. Вып. 4. С. 87–101.
 24. Зацман И. М., Дурново А. А. Моделирование процессов формирования экспертизных знаний для мониторинга программно-целевой деятельности // Информатика и её применения, 2011. Т. 5. Вып. 4. С. 84–98.
 25. Zatsman I. Tracing emerging meanings by computer: Semiotic framework // 13th Conference (European) on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Acad. Publ. Intern. Ltd., 2012. Vol. 2. P. 1298–1307.
 26. Zatsman I. Denotatum-based models of knowledge creation for monitoring and evaluating R&D program implementation // 11th IEEE Conference (International) on Cognitive Informatics and Cognitive Computing Proceedings. — Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press, 2012. P. 27–34.
 27. Verbeek A., Debackere K., Luwel M., Andries P., Zimmermann E., Deleus D. Linking science to technology: Using bibliographic references in patents to build linkage schemes // Scientometrics, 2002. Vol. 54. No. 3. P. 399–420.

INFORMATION SYSTEM CONCEPTUAL DECISIONS FOR ASSESSMENT OF LINKAGES BETWEEN SCIENCE AND TECHNOLOGIES

V.A. Minin¹, I.M. Zatsman², V.A. Havanskov³, and S.K. Shubnikov⁴

¹Russian Foundation for Basic Research, Moscow, Russia, minin@rfbr.ru

²IPI RAN, Moscow, Russia, iz_ipi@a170.ipi.ac.ru

³IPI RAN, Moscow, Russia, havanskov@a170.ipi.ac.ru

⁴IPI RAN, Moscow, Russia, sergeysh50@yandex.ru

Abstract: The description of conceptual decisions for assessment of linkages between science and technologies is considered. The decisions are a framework for developing information systems, which will have some new features. These features are not present in other similar information systems of the Russian scientific and technical sphere. Their development is necessary for monitoring and evaluating R&D programs and decision-making at all stages of scientific and technical program activities. The architecture as a whole system and conceptual decisions on separate functional subsystems are described. These decisions are based on methodology for assessment of linkages between science and technologies, which is developed in IPI RAN. Conceptual decisions have a number of fundamental differences from other systems for assessment of linkages between science and technologies. First, there is a possibility of fetching a system for classification of knowledge domains from some classification systems. Second, formation and application of terminological portraits for headings of the chosen classification system is provided.

Keywords: monitoring and evaluating of programs; linkages between science and technologies; methodology for assessment of linkages; information systems; conceptual decisions

DOI: 10.14357/08696527130217

Acknowledgments

The research was partially supported by the Russian Foundation for Humanities (Grant No. 12-02-12019v).

References

1. Mansfield, E. 1991. Academic research and innovation. *Res. Policy* 20(1):1–12.
2. Mansfield, E. 1995. Academic research underlying industrial innovations: Sources, characteristics and financing. *Rev. Econ. Statistics* 77(1):55–62.
3. Mansfield, E. 1998. Academic research and industrial innovation: An update of empirical findings. *Res. Policy* 26(7–8):773–76.

4. Narin, F., and E. Noma. 1985. Is technology becoming science? *Scientometrics* 7(3-6):369–81.
5. Schmoch, U. 1993. Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators. *Scientometrics* 26:193–211.
6. Narin, F., and D. Olivastro. 1998. Linkage between patents and papers: An interim EPO/US comparison. *Scientometrics* 41(1-2):51–59.
7. Tijssen, R. J. W., R. K. Buter, and Th. N. Van Leeuwen. 2000. Technological relevance of science: An assessment of citation linkages between patents and research papers. *Scientometrics* 47(2):389–412.
8. Van Looy, B., E. Zimmermann, R. Veugelers, A. Verbeek, J. Mello, and K. Debackere. 2003. Do science–technology interactions pay off when developing technology? An exploratory investigation of 10 science-intensive technology domains. *Scientometrics* 57(3):355–67.
9. Zatsman, I., and S. Shubnikov. 2007. Principy obrabotki informacionnyh resursov dlja ocenki innovacionnogo potenciala napravlenij nauchnyh issledovanij [Processing principles of information resources for an assessment of innovation potential of the scientific domains]. *Trudy 9 Vserossijskoj Nauchnoj Konferencii “Jelektronnye biblioteki” [9th All-Russian Scientific Conference on Digital Libraries Proceedings]*. Pereslavl': Publishing House of Pereslavl's University. 35–44.
10. Zatsman, I., O. Kurchanova, and I. Galina. 2008. Informacionnye resursy i indikatory dlja ocenki innovacionnogo potenciala napravlenij nauchnyh issledovanij [Information resources and indicators for an assessment of innovation potential of the scientific domains]. *Systems and Means of Informatics* 18(add.):159–75.
11. Kozhunova, O. 2012. Citirovanie dokumentov v patentah kak indikator vzaimosvjazi oblastej nauki i tehnologij [Citing documents in patents as an indicator of science and technology fields interrelations]. *Systems and Means of Informatics* 22(2):106–28.
12. Minin, V., I. Zatsman, M. Kruzhkov, and T. Norekjan. 2013. Metodologicheskie osnovy sozdaniija informacionnyh sistem dlja vychislenija indikatorov tematicheskikh vzaimosvjazej nauki i tehnologij [Methodological basis for the creation of information systems for the calculation of indicators of thematic linkages between science and technology]. *Informatics and Applications* 7(1):70–81.
13. Arhipova, M., I. Zatsman, and S. Shul'ga. 2010. Indikatory patentnoj aktivnosti v sfere informacionno-kommunikacionnyh tehnologij i metodika ih vychislenija [Indicators of patent activity in the field of information and communication technologies and the method of their calculation]. *Jekonomika, statistika i informatika [Economics Statistics and Informatics]* 4:93–104.
14. Zatsman, I., and O. Kozhunova. 2007. Semanticheskij slovar' sistemy informacionnogo monitoringa v sfere nauki: Zadachi i funkciij [Semantic vocabulary of the system of information monitoring in scientific sphere: Tasks and functions]. *Systems and Means of Informatics* 17:124–41.
15. Zatsman, I., and O. Kozhunova. 2008. Evaluating for institutional academic activities: Classification scheme for R&D indicators. *10th Conference (International) on Science and Technology Indicators (STI'2008) Proceedings. Book of abstracts*. Vienna: ARC GmbH. 428–31.

16. Zatsman, I., and O. Kozhunova. 2009. Evaluation system for the Russian Academy of Sciences: Objectives-resources-results approach and R&D indicators. *2009 Atlanta Conference on Science and Innovation Policy Proceedings*. Eds. S. E. Cozzens and P. Catalan. <http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/32300/1/104-674-1-PB.pdf>.
17. Zatsman, I. 2009. Kategorizacija rezul'tatov i indikatorov programm nauchnyh issledovanij v informacionnyh sistemah monitoringa [Categorization of results and indicators of R&D programs in evaluation systems]. *Systems and Means of Informatics* 19 (add.):200–19.
18. Zatsman, I., and A. Durnovo. 2010. Incompleteness problem of indicators system of research programme. *11th Conference (International) on Science and Technology Indicators (STI'2010): Book of Abstracts*. Leiden: CWTS. 309–11.
19. Zatsman, I., and A. Durnovo. 2012. Program-oriented indicators: production and application in science. *Systems and Means of Informatics* 22(1):110–20.
20. Zatsman, I., and A. Durnovo. 2012. Proactive dictionary of evaluation system as a tool for science and technology indicator development. *17th Conference (International) on Science and Technology Indicators Proceedings*. Montréal: Science-Metrix and OST. 2:905–6.
21. Zatsman, I., V. Kosarik, and O. Kurchavova. 2008. Zadachi predstavlenija lichnostnyh i kollektivnyh konceptov v cifrovoj srede [Personal and collective concepts representation in the digital sphere]. *Informatics and Applications* 2(3):54–69.
22. Zatsman, I. Semioticheskaja model' vzaimosvjazej konceptov, informacionnyh ob'ektorov i komp'yuternyh kodov [Semiotic model for computer coding concepts and information objects]. *Informatics and Applications* 3(2):65–81.
23. Zatsman, I. 2009. Nestacionarnaja semioticheskaja model' komp'yuternogo kodirovaniya konceptov, informacionnyh ob'ektorov i denotatov [Time-dependent semiotic model for computer coding of concepts, information objects, and denotata]. *Informatics and Applications* 3(4):87–101.
24. Zatsman, I., and A. Durnovo. 2011. Modelirovanie processov formirovaniya jekspertnyh znanij dlja monitoringa programmno-celevoj dejatel'nosti [Modeling of processes for creation of expert knowledge for monitoring of goal-oriented programme activities]. *Informatics and Applications* 5(4):84–98.
25. Zatsman, I. 2012. Tracing emerging meanings by computer: Semiotic framework. *13th Conference (European) on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Acad. Publ. Intern. Ltd. 2:1298–307.
26. Zatsman, I. 2012. Denotatum-based models of knowledge creation for monitoring and evaluating R&D program implementation. *11th IEEE Conference (International) on Cognitive Informatics and Cognitive Computing Proceedings*. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press. 27–34.
27. Verbeek, A., K. Debackere, M. Luwel, P. Andries, E. Zimmermann, and D. Deleus. 2002. Linking science to technology: Using bibliographic references in patents to build linkage schemes. *Scientometrics* 54(3):399–420.

**БАЗА ДАННЫХ «ТРУДЫ СОТРУДНИКОВ НЦВО РАН»
КАК ЧАСТЬ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ
«ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА»***

T. A. Кочергина¹, Л. Д. Исхакова², Н. Е. Калёнов³, М. М. Якшин⁴

Аннотация: Приведено описание информационно-поисковой системы (ИС) «Волоконная оптика», представленной в свободном доступе в Интернете и направленной на информационное обеспечение исследований по данному научному направлению. Содержимое ИС пополняется путем экспертного отбора библиографических описаний из различных отечественных и зарубежных баз данных, дополненных не вошедшими в них публикациями сотрудников Национального центра волоконной оптики (НЦВО) РАН. Информационно-поисковая система предоставляет пользователям не только библиографическую информацию, но и возможность доступа к полным текстам научных статей (при наличии подписки) путем перехода по соответствующим ссылкам на сайт издательства или дистрибутора. Рассмотрены основные возможности программного обеспечения ИС и практические подходы к работе с разделом «Труды сотрудников НЦВО РАН». Представлены некоторые результаты библиометрического анализа публикаций сотрудников НЦВО РАН.

Ключевые слова: база данных; волоконная оптика; информационное обеспечение; научные электронные ресурсы

DOI: 10.14357/08696527130218

Волоконно-оптическая связь — одно из самых новых и бурно развивающихся направлений науки и техники [1]. Специалисты, работающие в области волоконной оптики, испытывают потребности в оперативном получении достаточно полной мировой научной информации, отражающей полученные результаты и наиболее перспективные направления исследований. Проблема заключается в том, что в мире отсутствуют специализированные базы данных научной информации по волоконной оптике. В Интернете разбросано достаточно много сайтов, в той или иной мере связанных с волоконной оптикой, однако целью таких ресурсов в подавляющем большинстве случаев является обеспечение маркетинговой

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 10-07-00142-а и 13-07-00051-а).

¹Научный центр волоконной оптики Российской академии наук, tatyana@fo.gpi.ru

²Научный центр волоконной оптики Российской академии наук, ldisk@fo.gpi.ru

³Библиотека по естественным наукам Российской академии наук, nek@benran.ru

⁴Библиотека по естественным наукам Российской академии наук, greycat.na.kor@gmail.com

и информационной поддержки компаний, работающих на рынке телекоммуникаций, а представленная на них информация носит исключительно справочный или коммерческий характер. Очевидно, что основная часть значимой научной информации по волоконной оптике содержится в общенаучных (таких как Web of Science или SCOPUS) и тематических базах данных (таких как INSPEC — по физике, Chemical Abstracts — по химии, Eurika — по наукам о материалах и др.). Но поскольку волоконная оптика является достаточно новым научным направлением, она не выделена как самостоятельный раздел ни в одном из существующих рубрикаторов (УДК, ГРНТИ и др.), с помощью которых индексируются документы в существующих базах данных. Поэтому для поиска и отбора материалов из баз данных необходимо пользоваться комбинациями ключевых слов. А это является достаточно трудоемкой специализированной задачей, требующей существенных временных затрат, которыми исследователи, как правило, не располагают. Другая проблема заключается в том, что доступ к вышеупомянутым и подобным им базам данных является платным и не все специалисты его имеют.

В этой связи НЦВО РАН совместно с Библиотекой по естественным наукам (БЕН) РАН была поставлена задача разработать сетевую информационную систему по волоконной оптике, с одной стороны, аккумулирующую разнородные (в первую очередь научные) ресурсы, относящиеся к этой области исследований, с другой стороны, содержащую исчерпывающую информацию о публикациях сотрудников НЦВО РАН. Основные характеристики системы представлены в [2]. В 2012 г. на сервере БЕН РАН (<http://scirus.benran.ru/forc2>) была размещена пилотная версия системы.

Система обеспечивает возможность пакетного ввода информации, отобранный из различных баз данных, ручной ввод сведений о сотрудниках НЦВО РАН и их публикациях, редактирование данных, многоаспектный поиск документов. При анализе публикационной активности российских ученых в зарубежных журналах существенной проблемой является многовариантность транслитерации русских фамилий. Особенностью разработанной системы является интеграция данных о работах сотрудников НЦВО РАН, опубликованных как на русском языке, так и на других языках, независимо от того, сколько имеется вариантов транслитерации фамилий. Система предоставляет возможность получения полного списка работ того или иного сотрудника НЦВО РАН (включая все зарубежные публикации) после ввода в запрос (в поле «фамилия») его фамилии на русском языке.

В качестве программной оболочки для ИС по волоконной оптике был выбран объектно-ориентированный программный комплекс Scirus, разработанный специалистами БЕН РАН [3]. Комплекс успешно используется в течение нескольких лет для формирования и поддержки в технологическом режиме ряда баз данных. Он используется в процессах распределенного формирования электронной

библиотеки (ЭБ) «Научное наследие России» (создаваемой в рамках одноименной Программы РАН) [4], в информационных системах «Геологи мира» [5] и «Библиография по физике плазмы», в технологии работы БЕН РАН и является одной из основных составляющих создаваемой в БЕН РАН типовой системы информационного сопровождения научных исследований.

Scirus представляет собой легко настраиваемую систему, поддерживающую метаданные различных связанных между собой сущностей. Каждая сущность описывается своим набором полей метаданных. Система позволяет администратору настраивать роли пользователей путем выбора для каждого из них разрешенного набора операций; обеспечивает ручной ввод данных с использованием элементов формально-логического контроля и легко редактируемых словарей-справочников. Авторизованные пользователи, не обладающие правами администратора, могут редактировать свою и только свою информацию. Система обеспечивает поиск по всем полям метаданных всех сущностей с использованием логических связок «и», «или», «и не». Для каждого поискового термина выбирается условие вхождения в заданное поле («содержит», «равно», «начинается с»). Результатом поиска является выбранный пользователем список сущностей, удовлетворяющих запросу, выдаваемый в соответствии с настроенным пользователем, имеющим соответствующие права, шаблоном. Список может быть отсортирован по заданным полям метаданных. При просмотре найденных данных имеется возможность перехода от одной связанной сущности к другой (другим). Например, от описания найденной статьи легко можно перейти к списку публикаций любого ее автора или к списку статей из опубликовавшего ее журнала (сборника); от описания персоны — перейти к списку публикаций, автором которых она (персона) является. Система обеспечивает настраиваемый вывод всех найденных (или отобранных из списка найденных) данных в текстовые файлы настраиваемой структуры, в частности в форматы XML (eXtensible Markup Language) или RDF (Resource Description Framework) (последнее реализовано в технологии формирования ЭБ «Научное наследие России»).

Для рассматриваемой ИС по волоконной оптике в качестве сущностей выступают персона, организация, публикация (статья, монография, препринт и т. п.), источник (издание на сводном уровне — журнал, сборник). Персоны связаны с публикациями и организациями, публикации — с источниками. При определении набора полей, описывающих эти сущности, учитывались, с одной стороны, требования обеспечения пакетной загрузки «внешних» данных, с другой — необходимость специальной обработки данных о публикациях сотрудников НЦВО РАН.

На первом этапе работы по созданию ИС на основе анализа рассматриваемой предметной области был разработан (при активном участии ведущих ученых НЦВО РАН) двухуровневый рубрикатор по волоконной оптике. Рубрикатор содержит девять основных разделов и 108 подразделов. Каждый подраздел

характеризуется достаточно обширным набором ключевых терминов. Рубрикатор был направлен в ВИНТИ (главную организацию страны в области развития классификационных схем), получил одобрение специалистами и был рекомендован к использованию в практике работы Национального электронного информационного консорциума (НЭИКОН).

Технология наполнения ИС предусматривает два потока. Первый из них формируется на основе документов, полученных из внешних баз данных, второй — из данных о публикациях сотрудников НЦВО РАН. Информационные работники НЦВО РАН периодически обращаются к доступным им базам данных (в первую очередь к Web of Science и SCOPUS), осуществляя поиск документов по наборам ключевых терминов, соответствующих подразделам рубрикатора; просматривают найденные документы на предмет исключения информационного шума и выгружают в файлы структуры предусмотренной программной оболочкой соответствующей базы данных. В имени файла отражается код рубрики, которой соответствуют представленные в нем документы. Полученные файлы обрабатываются специальными программными средствами, обеспечивающими загрузку данных в Scirus с отнесением к соответствующим разделам рубрикатора. При разработке этих программных средств пришлось решать ряд нетривиальных задач:

- (а) по выделению из слабоструктурированных данных необходимых для загрузки в ИС элементов;
- (б) по идентификации персон и источников (в разных внешних базах данных используются различные сокращения наименований журналов и много вариантов транслитерации русскоязычных фамилий авторов статей).

В процессе пакетной загрузки данных информация проходит визуальный контроль информационными работниками, в результате которого исправляются «погрешности» программной обработки, а там, где это возможно, к описаниям публикаций добавляются ссылки на полные тексты (если они доступны через Интернет); полные тексты статей, имеющиеся в распоряжении сотрудников НЦВО РАН, загружаются непосредственно в ИС (такая возможность реализована в Scirus). Последнее возможно, естественно, при соблюдении законодательства об охране авторских прав.

Другим источником информации для ИС служат списки публикаций, представленные в ежегодных научных отчетах НЦВО РАН. Списки представляют собой текстовые файлы, включающие стандартные библиографические описания публикаций. Для их загрузки в ИС также потребовалась разработка специальных алгоритмов и программных средств, выделяющих из библиографических описаний нужные элементы данных и исключающих дублирование информации. При вводе данных о публикациях сотрудников НЦВО РАН для всех «распознанных» персон устанавливается связь с организацией, имеющей название

НЦВО РАН. Если персона новая (возможен соавтор не из НЦВО РАН), связь не устанавливается и система предлагает установить ее вручную.

Визуально представленная на сайте <http://scirus.benran.ru/forc2> ИС «Волоконная оптика» состоит из трех основных разделов: «Электронная библиотека», «Труды НЦВО РАН», «Производство и применение». Первые два раздела взаимодействуют с единой базой данных, о которой шла речь выше, третий раздел — статическая страница, на которой представлен список активных ссылок на сайты, поддерживающие ресурсы по указанному направлению.

Поиск информации в ИС может быть проведен по различным атрибутам авторов публикаций (фамилия на русском языке, фамилия, сопровождающая публикации, для сотрудников НЦВО РАН — ученая степень, лаборатория в НЦВО РАН и др.), по атрибутам публикаций и источников (по словам из заглавия статей, годам публикации, элементам описания журнала), по атрибутам организации. Необходимо отметить, что в настоящее время в ИС введены данные только об одной организации — НЦВО РАН, хотя принципиальная возможность ввода других организаций, сопровождающих информацию, выведенную из внешних баз данных, существует.

Благодаря разработанному рубрикатору в ИС имеется возможность тематического поиска — на заглавной странице «Электронная библиотека» представлены все разделы рубрикатора в виде активных кнопок, нажатие каждой из которых вызывает заполненную поисковую страницу системы, содержащую запрос на поиск данных по соответствующей рубрике. Пользователь может получить сразу все документы по этой рубрике или уточнить запрос, добавив любые атрибуты любой сущности.

Таким образом, в процессе работы пользователю предоставляется возможность произвести самостоятельно настройку критериев поиска и разработать собственную его стратегию.

Раздел «Электронная библиотека» не претендует на размещение абсолютно всех публикаций в области волоконной оптики, так как найденная информация существенно зависит от представленного в поисковых системах объема литературы.

Раздел базы данных «Труды НЦВО РАН» составляют публикации сотрудников Центра в зарубежных и отечественных журналах, трудах конференций и сборниках, а также монографии. Хотя НЦВО РАН был образован в 1993 г. (на базе Отдела волоконной оптики Института общей физики РАН), было признано целесообразным представить в базу данных более ранние труды основавших его ученых, которые закладывали фундамент будущих работ Центра.

В настоящее время в ИС загружены данные о более чем 90 000 публикациях и 65 000 их авторах, в том числе развернутая информация обо всех сотрудниках НЦВО РАН, имеющих публикации в отечественных и зарубежных изданиях. Просмотреть имеющийся в ИС список сотрудников НЦВО РАН можно, перейдя

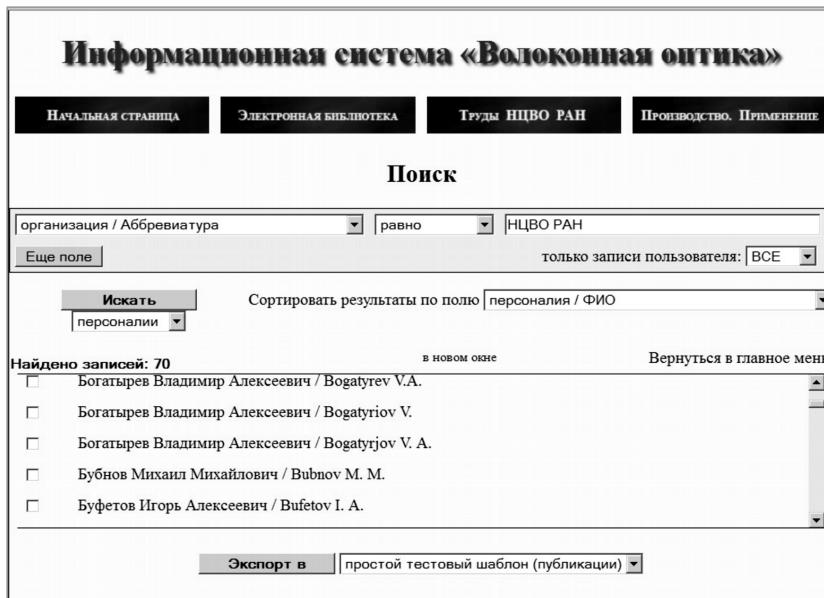


Рис. 1 Фрагмент результатов поиска данных о сотрудниках НЦВО РАН

по ссылке «Труды НЦВО РАН», выбрав в окне прокрутки «искать» строку «персоналии» (альтернативные варианты — «публикации», «организации», «источники») и нажав кнопку «искать». В полученный список выводятся все записи с указанием русского написания фамилии и через «/» варианта ее транслитерации, встреченного в публикациях. На рис. 1 представлен фрагмент полученного списка, из которого видно, что русская фамилия Богатырев в зарубежных базах данных встречается по крайней мере в трех разных вариантах (Bogatyrev, Bogatyriov, Bogatugrov).

Каждая запись выведенного списка является активной ссылкой, по которой можно перейти к описанию персоны, а перейдя в открывшемся окне (рис. 2) по ссылке «публикации... (просмотреть)» можно получить список публикаций выбранного автора (рис. 3), просмотреть их авторов, их публикации и т. д.

Заметим, что различный вид написания фамилий, представленных на рис. 3 (некоторые — прописными буквами, некоторые — строчными), определяется тем, как они представлены в получаемых файлах, однако на качество поиска это не влияет. Очевидно, что их можно привести к единообразному виду программным образом, что и будет сделано в ближайшем будущем.

В последнее время для оценки качества работы научной организации руководящие органы опираются на библиометрические показатели (публикационную

Информационная система «Волоконная оптика»

НАЧАЛЬНАЯ СТРАНИЦА ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА Труды НЦВО РАН Производство. Применение

персоналия

организация:	Научный центр волоконной оптики РАН
публикации, для которых персоналия — автор:	[Просмотреть]
ФИО:	Бубнов М. М.
Фамилия:	Бубнов
Имя:	Михаил
Отчество:	Михайлович
Ученая степень:	чл.-корр. РАН
Должность:	вед. научный сотрудник
E-mail:	bubnov@fo.gpi.ru
Лаборатория:	Технологии волоконных световодов
Автор записи:	admin
Дата/время последнего изменения:	2013-09-16 13:35:37

Вы не можете изменять эту запись.

Контакты: 119333, Москва, ул. Вавилова, 38 НЦВО РАН +7(499)5038289
Заказ литературы: tatyana@fo.gpi.ru

Рис. 2 Пример информации о сотрудниках НЦВО РАН

Информационная система «Волоконная оптика»

НАЧАЛЬНАЯ СТРАНИЦА ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА Труды НЦВО РАН Производство. Применение

Поиск

автор: Bubnov M. M.

Сортировать результаты по полю: публикация / Год издания

Найдено записей: 107

<input type="checkbox"/> ABRAMOV A.A., BORKINA G.Y., Bubnov M. M., Dianov E. M., GURYANOV A.N., MJAKOV V.N. FROST-RESISTANT COATED OPTICAL FIBERS. – 1985. – Т. 21.. – Вып.18.. – 805-806
<input type="checkbox"/> Bogatyrjov V. A., Bubnov M. M., GURYANOV A.N., VECHKANOV N.N., DEVYATYKH G.G., Dianov E. M., Semjonov S. L. INFLUENCE OF VARIOUS PH SOLUTIONS ON STRENGTH AND DYNAMIC FATIGUE OF SILICONE-RESIN-COATED OPTICAL FIBERS. – 1986. – Т. 22.. – Вып.19.. – 1013-1014
<input type="checkbox"/> ABRAMOV A.A., Bubnov M. M., TOMASHUK A.L. THE TEMPERATURE-DEPENDENCE OF GROUP DELAY IN FIBER LIGHTGUIDES. – 1988. – Т. 43.. – Вып.11.. – 146-150

Рис. 3 Фрагмент списка публикаций сотрудника НЦВО РАН

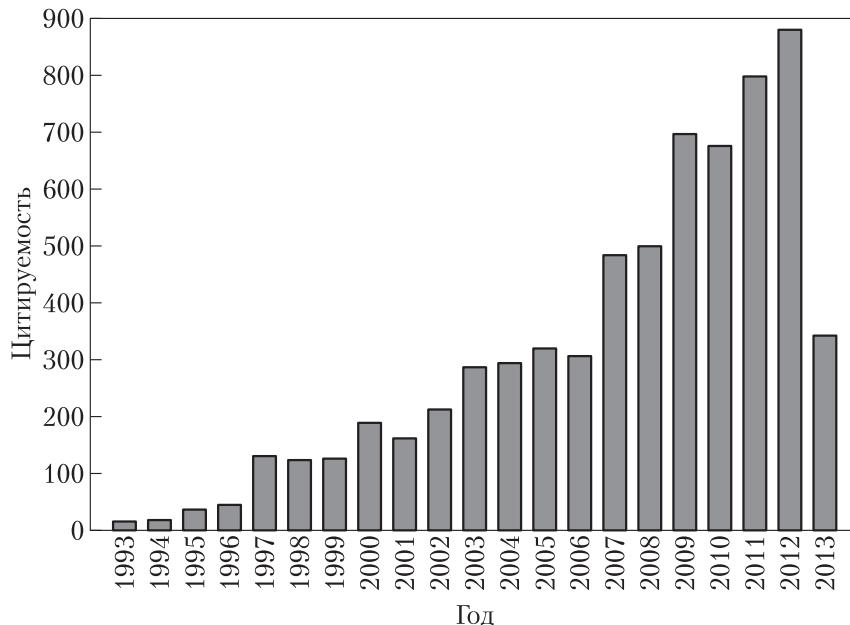


Рис. 4 Цитируемость работ НЦВО РАН за период 1993–2013 гг.

активность сотрудников и востребованность их работ мировым научным сообществом, выраженную в числе цитирований их публикаций).

Для оценки библиометрических показателей ученых НЦВО РАН было проанализировано количественное наполнение раздела ИС «Труды сотрудников НЦВО РАН» и качественные показатели их публикаций. Публикационная активность НЦВО РАН при численности научных сотрудников менее 40 человек составляет ежегодно 50–60 статей и 70–80 докладов на конференциях. Ежегодная публикация в среднем одной–двух статей каждым сотрудником Центра — достаточно хороший показатель для такой серьезной научной области, как волоконная оптика. Цитируемость работ сотрудников НЦВО РАН, оцененная на основе данных, представленных в Web of Science, достаточно уверенно растет год от года (рис. 4) и составила в 2012 г. около 900 ссылок (или в среднем 15 на статью), что также является высоким показателем.

Среди публикаций есть ряд работ с высокими (выше 100) индексами цитирования, например [6–9], принадлежащих к пионерским работам по волоконным лазерам, волоконным световодам и физике нелинейных эффектов в световодах. Следует отметить первенство работ Центра в области активированных висмутом волоконных световодов, а также в перспективных направлениях, являющихся

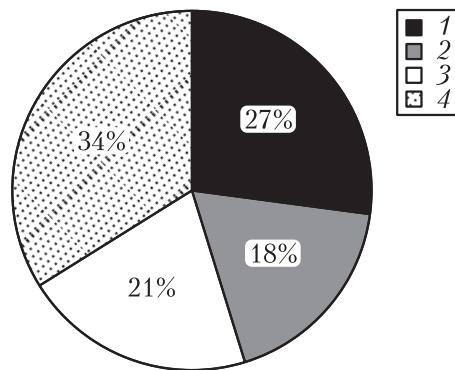


Рис. 5 Распределение трудов сотрудников НЦВО РАН по виду публикаций: 1 — Российские периодические издания (27%); 2 — иностранные периодические издания (18%); 3 — труды российских научных конференций (21%); 4 — труды иностранных научных конференций (34%)

приоритетными, по волоконным световодам на основе фотонных кристаллов, в том числе по волоконным световодам с воздушной сердцевиной и целиком кварцевым волоконным световодам с «одномерной» (брэгговские световоды) и «двумерной» отражающей оболочкой. Лидирует НЦВО РАН также и в создании волоконных усилителей и лазеров.

На рис. 5 представлено полученное на основе обработки данных, введенных в ИС, распределение публикаций сотрудников НЦВО РАН по виду изданий.

Из рис. 5 видно, что большая часть результатов научных исследований публикуется сотрудниками Центра в трудах научных конференций. При этом наибольшее число публикаций в области волоконной оптики относится к труда姆 конференций SPIE. Высока доля публикаций в трудах основополагающих международных конференций — Optical Fiber Communication (OFC), Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), European Conference on Optical Communication (ECOC) и др. Существенная часть работ Центра приходится на труды российских научных конференций, среди которых International Conference on Coherent and Nonlinear Optics, Lasers, Application and Technologies ICONO/LAT; Российский семинар по волоконным лазерам; «Высокочистые вещества и материалы. Получение, анализ, применение» (Нижний Новгород); Всероссийская конференция по волоконной оптике (Пермь), организаторами которой являются НЦВО РАН и Пермская научно-производственная приборостроительная компания (ПНППК).

Значительное число публикаций приходится на российские научные журналы, среди которых лидерами являются «Квантовая электроника», «Неорганические материалы» и Laser Physics. Однако в последние годы прослеживается



Рис. 6 География научного сотрудничества НЦВО РАН (карта построена с использованием Researcher ID — Web of Science)

тенденция к увеличению доли публикаций в зарубежных журналах, таких как Optics Letters, Optics Express, IEEE Photonics Technology Letters, Journal of Non-Crystalline Solids и др. Одной из причин этого являются более высокие импакт-факторы зарубежных журналов по сравнению с отечественными: например, IEEE Journal of Quantum Electronics имеет импакт-фактор 1,913, а «Квантовая электроника» — 0,781; для Journal of Non-Crystalline Solids и «Неорганических материалов» эти величины соответственно равны 1,510 и 0,480.

Результаты библиометрического анализа публикаций научных организаций, в сотрудничестве с которыми сотрудники НЦВО РАН выполняют исследования в перспективных направлениях, свидетельствуют о постоянном расширении географии научного сотрудничества Центра (рис. 6).

Среди российских научных учреждений наибольшее число работ выполнено в сотрудничестве с институтами РАН. Среди них особое место занимает Институт химии высокочистых веществ РАН им. Г. Г. Девятых, многолетнее сотрудничество с которым плодотворно как в области фундаментальных исследований, так и по линии новых разработок в области технологии волоконных световодов. Традиционными являются научные связи с Институтом общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Физическим институтом им. П. Н. Лебедева РАН и др.; среди зарубежных институтов — Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne (Switzerland), University of Southampton (U.K.), Aston University (U.K.), Tampere University of Technology (Finland) и University of Limoges (France). В процессе подготовки высококвалифицирован-

ных специалистов по волоконной оптике, выполняющих как дипломные, так и диссертационные работы в НЦВО РАН, ежегодно увеличивается число совместных публикаций с высшими учебными заведениями страны. Следует отметить, что НЦВО РАН выполняет фундаментальные исследования и технологические разработки в настоящее время по контрактам с зарубежными компаниями и исследовательскими центрами, такими как: Corning Inc., Fianium, Air Force Research Laboratory, Belgian Nuclear Research Centre SCK*CEN и многими другими, ранее выполнялись работы в сотрудничестве с AT&T Bell Labs, Nortel, Samsung Electronics, Alcatel, Pirelli, Allied Telesyn International.

Результаты научных исследований НЦВО РАН, составляющие контент рассматриваемой ИС, направлены на решение таких важных задач, как развитие сферы информационно-коммуникационных технологий для создания информационного общества, повышения качества жизни и формирование современной информационной и телекоммуникационной инфраструктуры.

Следует подчеркнуть, что в такой динамично развивающейся области, как волоконная оптика, ресурс, подобный ИС «Волоконная оптика», будет представлять ценность и приносить пользу только при его систематическом пополнении новыми материалами и постоянной поддержке программно-технического комплекса, на что требуется выделение соответствующих ресурсов.

Литература

1. Дианов Е. М., Прохоров А. М. Волоконно-оптическая связь: состояние дел и роль в экономике // Вестник РАН, 1998. Т. 68. № 5. С. 393–399.
2. Исхакова Л., Каленов Н., Васильев С., Полякова Т., Чешков Д., Якишин М. Разработка интерактивной информационной системы «Волоконная оптика» // Информационные ресурсы России, 2011. № 5. С. 19–25.
3. Якишин М. М. Web-интерфейс системы «Наука России» // Современные технологии в информационном обеспечении науки: Сборник научных трудов / Под ред. Н. Е. Каленова. — М.: Научный мир, 2003. С. 47–52.
4. Каленов Н. Е., Савин Г. И., Сотников А. Н. Электронная библиотека «Научное наследие России»: технология наполнения // Современные технологии в информационном обеспечении науки: Сборник научных трудов / Под ред. Н. Е. Каленова. — М.: Научный мир, 2007. С. 40–48.
5. Малахова И. Г., Шиолашвили Л. Н. Информационная система «История геологии» // Современные технологии в информационном обеспечении науки: Сборник научных трудов / Под ред. Н. Е. Каленова. — М.: Научный мир, 2011. С. 250–253.
6. Chernikov S. V., Dianov E. M., Richardson D. J., et al. Soliton pulse-compression in dispersion-decreasing fiber // Opt. Lett., 1993. Vol. 18. No. 7. P. 476–478.
7. Neustroev V. B. Color-centers in germanosilicate glass and optical fibers // J. Phys. Condens. Matter, 1994. Vol. 6. No. 35. P. 6901–6936.

8. Rego G., Okhotnikov O., Dianov E., et al. High-temperature stability of long-period fiber gratings produced using an electric arc // J. Lightwave Technol., 2001. Vol. 19. No. 10. P. 1574–1579.
 9. Dianov E. M., Dvoyrin V. V., Mashinsky V. M., et al. CW bismuth fibre laser // Quantum Electronics, 2005. Vol. 35. No. 12. P. 1083–1084.
-
-

DATABASE “FORC STAFF PROCEEDINGS” AS A PART OF THE “FIBER OPTICS INFORMATION SYSTEM”

T. A. Kochergina¹, L. D. Iskhakova², N. E. Kalenov³, and M. M. Yakshin⁴

¹Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences (FORC RAS),
Moscow, Russia, tatyana@fo.gpi.ru

²Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences (FORC RAS),
Moscow, Russia, ldisk@fo.gpi.ru

³Library for Natural Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
nek@benran.ru

⁴Library for Natural Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
greycat.na.kor@gmail.com

Abstract: The paper describes Fiber optics information system (IS). Its purpose is to provide scientific digital resources for basic and applied research in this area. Information system allows users to have access to bibliographic information and full texts of articles. Access to full-text articles is carried out using the appropriate links to the site publishers (if user has a subscription). Content of IS is being provisioned by experts using scientific databases and FORC staff publications. The main possibilities of IS software and some practical examples are considered. The section of IS, which is called “Proceedings FORC” and practical approaches when working with the database (DB) are shown. The characterization of the content DB “Proceedings FORC” is described. The results of some bibliometric research on the quoting of the FORC are presented.

Keywords: database; fiber optics; information technology; scientific electronic resources

DOI: 10.14357/08696527130218

Acknowledgments

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grants Nos. 10-07-00142a and 13-07-00051-a).

References

1. Dianov, E. M., and A. M. Prohorov. 1998. Volokonno-opticheskaja svjaz': Sostojanie del i rol' v jekonomike [Fiber-optic communication: Status and role in the economy]. *Vestnik RAN [Herald of the RAS]* 68(5):393–99.
2. Ishakova, L., N. Kalenov, S. Vasil'ev, T. Poljakova, D. Cheshkov, and M. Jakshin. 2011. Razrabotka interaktivnoj informacionnoj sistemy «Volokonnaja optika» [Development of the Fiber optics interactive information system]. *Informacionnye Resursy Rossii [Information Resources of Russia]* 5:19–25.
3. Jakshin, M. M. 2003. Web-interfejs sistemy “Nauka Rossii” [Web-interface of “Science of Russia”]. *Sbornik nauchnyh trudov “Sovremennye tehnologii v informacionnom obespechenii nauki”* [Modern Technologies in the Information Support of Science Proceedings]. Ed. N. E. Kalenov. Moscow. 47–52.
4. Kalenov, N. E., G. I. Savin, and A. N. Sotnikov. 2007. Jelektronnaja biblioteka “Nauchnoe nasledie Rossii:” Tehnologija napolnenija [Electronic Library “The scientific heritage of Russia:” The technology of filling]. *Sbornik nauchnyh trudov “Novye tehnologii v informacionnom obespechenii nauk”* [“New Technologies in Information Support of Science” Proceedings]. Ed. N. E. Kalenov. Moscow. 40–48.
5. Malahova, I. G., and L. N. Shiolashvili. 2011. Informacionnaja sistema “Istoriya geologii” [The information system “History of Geology”]. *Sbornik nauchnyh trudov “Informacionnoe obespechenie nauki: Novye tehnologii”* [“Information Support of Science, New Technologies” Proceedings]. Ed. N. E. Kalenov. Moscow. 250–53.
6. Chernikov, S. V., E. M. Dianov, D. J. Richardson, et al. 1993. Soliton pulse-compression in dispersion-decreasing fiber. *Opt. Lett.* 18(7):476–78.
7. Neustruev, V. B. 1994. Color-centers in germanosilicate glass and optical fibers. *J. Phys. Condens. Matter* 6(35):6901–36.
8. Rego, G., O. Okhotnikov, E. Dianov, et al. 2001. High-temperature stability of long-period fiber gratings produced using an electric arc. *J. Lightwave Technol.* 19(10):1574–79.
9. Dianov, E. M., V. V. Dvoyrin, V. M. Mashinsky, et al. 2005. CW bismuth fibre laser. *Quantum Electronics* 35(12):1083–84.

ОБ АВТОРАХ

Буроменский Николай Григорьевич (р. 1937) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Филиала ФГКУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, г. Мытищи, Московской области

Гаранин Александр Иванович (р. 1951) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИПИ РАН

Гридин Владимир Николаевич (р. 1944) — доктор технических наук, профессор, директор Центра информационных технологий в проектировании РАН (ЦИТП РАН)

Грушо Александр Александрович (р. 1946) — доктор физико-математических наук, член-корреспондент Академии криптографии РФ; ведущий научный сотрудник ИПИ РАН; профессор кафедры математической статистики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Грушо Николай Александрович (р. 1982) — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИПИ РАН

Гудков Владимир Юльевич (р. 1959) — доктор физико-математических наук, доцент Челябинского государственного университета

Драницына Маргарита Александровна (р. 1983) — аспирант кафедры математической статистики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Дулин Сергей Константинович (р. 1950) — доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник ИПИ РАН

Дулина Наталья Георгиевна (р. 1947) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Вычислительного центра им. А. А. Дородницына РАН

Ермаков Петр Вячеславович (р. 1985) — младший научный сотрудник ИПИ РАН

Захарова Татьяна Валерьевна (р. 1967) — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник кафедры математической статистики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Зацаринный Александр Алексеевич (р. 1951) — доктор технических наук, профессор, заместитель директора ИПИ РАН

Зацман Игорь Моисеевич (р. 1952) — доктор технических наук, заведующий отделом ИПИ РАН

Ионенков Юрий Сергеевич (р. 1956) — старший научный сотрудник ИПИ РАН

Исхакова Людмила Дмитриевна (р. 1942) — кандидат химических наук, заведующая аналитическим центром Научного центра волоконной оптики РАН (НЦВО РАН)

Калёнов Николай Евгеньевич (р. 1945) — доктор технических наук, профессор, директор Библиотеки по естественным наукам РАН

Кириков Игорь Александрович (р. 1955) — кандидат технических наук, директор Калининградского филиала ИПИ РАН

Колесников Александр Васильевич (р. 1948) — доктор технических наук, профессор Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, старший научный сотрудник Калининградского филиала ИПИ РАН

Конушин Антон Сергеевич (р. 1980) — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры автоматизации систем вычислительных комплексов факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Конушин Вадим Сергеевич (р. 1985) — программист лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Кочергина Татьяна Андреевна (р. 1986) — заведующая библиотекой Научного центра волоконной оптики РАН (НЦВО РАН)

Кухаренко Артем Игоревич (р. 1990) — программист лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Лукина Татьяна Михайловна (р. 1988) — программист лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Меркулов Александр Алексеевич (р. 1959) — аспирант Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта

Минин Владимир Александрович (р. 1941) — доктор физико-математических наук, начальник управления РФФИ

Павельева Елена Александровна (р. 1986) — ассистент кафедры математической физики факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Румовская София Борисовна (р. 1985) — программист 1-й категории Калининградского филиала ИПИ РАН

Рыбинцев Андрей Владимирович (р. 1991) — студент факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова

Солодовников Владимир Игоревич (р. 1977) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра информационных технологий в проектировании РАН (ЦИТП РАН)

- Степченков Юрий Афанасьевич** (р. 1951) — кандидат технических наук, заведующий отделом ИПИ РАН
- Сучков Александр Павлович** (р. 1954) — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИПИ РАН
- Тимонина Елена Евгеньевна** (р. 1952) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник ИПИ РАН
- Ушмаев Олег Станиславович** (р. 1981) — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИПИ РАН
- Хавансков Валерий Александрович** (р. 1950) — научный сотрудник ИПИ РАН
- Хилько Дмитрий Владимирович** (р. 1987) — аспирант, инженер-исследователь ИПИ РАН
- Шабанов Александр Петрович** (р. 1949) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИПИ РАН
- Шубников Сергей Константинович** (р. 1955) — старший научный сотрудник ИПИ РАН
- Якшин Михаил Михайлович** (р. 1982) — научный сотрудник Библиотеки по естественным наукам РАН

ABOUT AUTHORS

- Buromenskii Nikolai G.** (b. 1937) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Branch of the Federal State Government Institution “46 Central Research Institute of Defense Ministry of Russia”
- Dranitsyna Margarita A.** (b. 1983) — PhD student, Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University
- Dulin Sergey K.** (b. 1950) — Doctor of Science in technology, professor, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Dulina Natalia G.** (b. 1947) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Dorodnicyn Computing Center, Russian Academy of Sciences
- Ermakov Peter V.** (b. 1985) — junior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Garanin Alexander I.** (b. 1951) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Gridin Vladimir N. (b. 1944) — Doctor of Science in technology, Director, Center of Information Technologies in Design, Russian Academy of Sciences

Grusho Alexander A. (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics, Corresponding member of the Russian Academy of Cryptography; leading scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences; professor, Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University

Grusho Nikolai A. (b. 1982) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Gudkov Vladimir Yu. (b. 1959) — Doctor of Science in physics and mathematics, associate professor, Chelyabinsk State University

Havanskov Valerij A. (b. 1950) — scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Ionenkov Yurij S. (b. 1956) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Iskhakova Liudmila D. (b. 1942) — Candidate of Science (PhD) in chemistry, Head of the Analytical Center, Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences (FORC RAS)

Kalenov Nikolay E. (b. 1945) — Doctor of Science in technology, professor, Director, Library for Natural Sciences, Russian Academy of Sciences

Khilko Dmitri V. (b. 1987) — PhD student, engineer-researcher, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Kirikov Igor A. (b. 1955) — Candidate of Science (PhD) in technology, Director, Kaliningrad Branch of Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Kochergina Tatyana A. (b. 1986) — Head of Library, Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences (FORC RAS)

Kolesnikov Alexander V. (b. 1948) — Doctor of Science in technology, professor, Immanuel Kant Baltic Federal University; senior scientist, Kaliningrad Branch of Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

Konushin Anton S. (b. 1980) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, associate professor, Department of Automation of Computational Systems, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University

Konushin Vadim S. (b. 1985) — programmer, Computer Graphics and Multimedia Laboratory, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University

Kuharenko Artyom I. (b. 1990) — programmer, Computer Graphics and Multimedia Laboratory, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University

- Lukina Tatiana M.** (b. 1988) — programmer, Computer Graphics and Multimedia Laboratory, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University
- Merkulov Alexander A.** (b. 1959) — PhD student, Immanuel Kant Baltic Federal University
- Minin Vladimir A.** (b. 1941) — Doctor of Science in physics and mathematics, Head of Department, Russian Foundation for Basic Research
- Pavelyeva Elena A.** (b. 1986) — assistant professor, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University
- Rumovskaya Sophiya B.** (b. 1985) — programmer I, Kaliningrad Branch of Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Rybintsev Andrey V.** (b. 1991) — student, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University
- Shabanov Alexander P.** (b. 1949) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Shubnikov Sergej K.** (b. 1955) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Solodovnikov Vladimir I.** (b. 1977) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Center of Information Technologies in Design, Russian Academy of Sciences
- Stepchenkov Yuri A.** (b. 1951) — Candidate of Science (PhD) in technology, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Suchkov Alexander P.** (b. 1954) — Doctor of Science in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Timonina Elena E.** (b. 1952) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Ushmaev Oleg S.** (b. 1981) — Doctor of Science in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Yakshin Mikail M.** (b. 1982) — scientist, Library for Natural Sciences, Russian Academy of Sciences
- Zakharova Tatyana V.** (b. 1967) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, Department of Mathematical Statistics, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, M. V. Lomonosov Moscow State University
- Zatsarinnyy Alexander A.** (b. 1951) — Doctor of Science in technology, professor, Deputy Director, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences
- Zatsman Igor M.** (b. 1952) — Doctor of Science in technology, Head of Department, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2013 г.

	№ Стр.
Беззубцев С. О. см. Самойлов М. Н.	
Булгаков М. А. см. Самойлов М. Н.	
Буроменский Н. Г. см. Зацаринный А. А.	
Гамаюнов Д. Ю. см. Самойлов М. Н.	
Гаранин А. И. см. Зацаринный А. А.	
Гаранин А. И. см. Зацаринный А. А.	
Гридин В. Н., Солодовников В. И. Предобработка данных и выявление логических закономерностей на основе генетического алгоритма	2 244
Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е. Скрытые каналы, порожденные метками, в дейтаграммах	2 6
Грушо А. А. см. Соколов И. А.	
Грушо Н. А. Скрытые каналы, порожденные метками	1 7
Грушо Н. А. см. Грушо А. А.	
Гудков В. Ю. Метод параллельных цепей для распознавания изображений отпечатков пальцев	2 35
Гудков В. Ю., Ушмаев О. С. Топологическая модель изображений отпечатков пальцев	2 22
Драницына М. А., Захарова Т. В. Дискриминантный анализ для классификации и прогнозирования результатов лечения	2 89
Дулин С. К., Дулина Н. Г., Ермаков П. В. Агрегирование геоконцепций при генерализации карты с учетом логической согласованности и семантической точности	2 115
Дулина Н. Г. см. Дулин С. К.	
Ермаков П. В. см. Дулин С. К.	
Забежайло М. И. К задаче анализа вложимости подслов в заголовки пакетов данных	1 58
Захаров В. Н., Хорошилов А. А. Автоматическое формирование визуального представления смыслового содержания документа	1 143
Захарова Т. В. см. Драницына М. А.	
Зацаринный А. А., Буроменский Н. Г., Гаранин А. И. Методические вопросы формирования системы технического обеспечения информационно-телекоммуникационных сетей	2 154
Зацаринный А. А., Гаранин А. И., Козлов С. В., Кондрашев В. А. Особенности расчета комплектов ЗИП в автоматизированных информационных системах в защищенном исполнении	1 113

	№ Стр.
Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С., Шабанов А. П. К вопросу о сравнительной оценке эффективности ситуационных центров	2 170
Зацман И. М. см. Минин В. А.	
Ионенков Ю. С. см. Зацаринный А. А.	
Исхакова Л. Д. см. Кочергина Т. А.	
Калёнов Н. Е. см. Кочергина Т. А.	
Кириков И. А., Колесников А. В., Румовская С. Б. Исследование сложной задачи диагностики артериальной гипертензии в методологии искусственных гетерогенных систем	2 96
Козлов С. В. см. Зацаринный А. А.	
Колесников А. В., Меркулов А. А. Программный продукт «Ситуационный центр VSM Cenose»	2 223
Колесников А. В., Меркулов А. А. Универсальный паттерн организации ситуационных центров	2 198
Колесников А. В. см. Кириков И. А.	
Кондрашев В. А. см. Зацаринный А. А.	
Конушин А. С. см. Конупшин В. С.	
Конушин А. С. см. Рыбинцев А. В.	
Конушин В. С., Лукина Т. М., Кухаренко А. И., Конушин А. С. Классификация людей по изображению лица на основе сравнительных признаков внешности	2 50
Конушин В. С. см. Рыбинцев А. В.	
Корепанов Э. Р. Некоторые подходы к разработке технологий тонкого клиента для защищенных информационных систем	1 105
Королев В. Ю. Некоторые критерии проверки надежности программного обеспечения	1 132
Кочергина Т. А., Исхакова Л. Д., Калёнов Н. Е., Якшин М. М. База данных «Труды сотрудников НЦВО РАН» как часть информационно-поисковой системы «Волоконная оптика»	2 284
Кулемцов А. А. см. Синицын И. Н.	
Кухаренко А. И. см. Конушин В. С.	
Левыкин М. В. Новые принципы моделирования автономных самораспространяющихся систем	1 14
Лукина Т. М. см. Конушин В. С.	
Лукина Т. М. см. Рыбинцев А. В.	
Меркулов А. А. см. Колесников А. В.	
Меркулов А. А. см. Колесников А. В.	
Минин В. А., Зацман И. М., Хавансков В. А., Шубников С. К. Архитектурные решения для систем вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий	2 260

	№ Стр.
Мищенко А. И. Механизмы поиска уязвимостей в операционных системах, построенных на базе ядра Linux	1 27
Павельева Е. А. Поиск соответствий между ключевыми точками изображений радужных оболочек глаз с помощью метода проекционной фазовой корреляции	2 74
Писковский Е. В. Об одном методе достоверной доставки и верификации информации в рамках клиент-серверного взаимодействия по открытому коммуникационному каналу	1 43
Рацеев С. М. Об оптимальных кодах аутентификации	1 53
Румовская С. Б. см. Кириков И. А.	
Рыбинцев А. В., Лукина Т. М., Конушин В. С., Конушин А. С. Возрастная классификация людей по изображению лица на основе метода ранжирования и локальных бинарных шаблонов	2 62
Самойлов М. Н., Гамаюнов Д. Ю., Беззубцев С. О., Булгаков М. А. Особенности реализации анализатора сетевого трафика с целью обнаружения вредоносного исполнимого кода на реконфигурируемом вычислителе	1 69
Синицын И. Н., Шаламов А. С., Кулешов А. А. Нелинейное корреляционное моделирование и анализ надежности систем послепродажного обслуживания изделий научноемкой продукции	1 80
Соколов И. А., Грушо А. А. Предисловие	1 3
Солодовников В. И. см. Гридин В. Н.	
Степченков Ю. А. см. Хилько Д. В.	
Сучков А. П. Формирование системы целей для ситуационного управления	2 187
Тимонина А. А., Тимонина Е. Е. Атаки на централизованные системы обнаружения вторжений	1 33
Тимонина Е. Е. см. Грушо А. А.	
Тимонина Е. Е. см. Тимонина А. А.	
Ушмаев О. С. см. Гудков В. Ю.	
Хавансков В. А. см. Минин В. А.	
Хилько Д. В., Степченков Ю. А. Теоретические аспекты разработки методологии программирования рекуррентной архитектуры.	2 133
Хорошилов А. А. см. Захаров В. Н.	
Шабанов А. П. см. Зацаринный А. А.	
Шаламов А. С. см. Синицын И. Н.	
Шубников С. К. см. Минин В. А.	
Якшин М. М. см. Кочергина Т. А.	

2013 AUTHOR INDEX

	No.	Page
Bezzubtsev S. see Samoylov M.		
Bulgakov M. see Samoylov M.		
Buromenskii N. G. see Zatsarinnyy A. A.		
Dranitsyna M. A. and Zakharova T. V. Discriminant Analysis for Classification and Forecasting Outcomes of the Treatment.....	2	95
Dulin S. K., Dulina N. G., and Ermakov P. V. Aggregation Geo-concepts for Generalization Maps, Appropriate Logical Consistency and Semantic Accuracy	2	131
Dulina N. G. see Dulin S. K.		
Ermakov P. V. see Dulin S. K.		
Gamayunov D. see Samoylov M.		
Garanin A. I. see Zatsarinnyy A. A.		
Garanin A. I. see Zatsarinnyy A. A.		
Gridin V. N. and Solodovnikov V. I. Data Preprocessing and Extraction of Logical Rules Based on the Genetic Algorithm ...	2	258
Grusho A. A., Grusho N. A., and Timonina E. E. Covert Channels Generated by Tags in Datagrams	2	19
Grusho N. A. Covert Channels Generated by Tags	1	7
Grusho N. A. see Grusho A. A.		
Gudkov V. Yu. Method of Parallel Circuits for Fingerprint Image Recognition	2	48
Gudkov V. Yu. and Ushmaev O. S. Topological Model of Fingerprint Image	2	33
Havanskov V. A. see Minin V. A.		
Ionenkov Y. S. see Zatsarinnyy A. A.		
Iskhakova L. D. see Kochergina T. A.		
Kalenov N. E. see Kochergina T. A.		
Khilko D. and Stepchenkov Yu. Theoretical Aspects of Programming Methodology Development for Recurrent Architecture....	2	151
Khoroshilov A. A. see Zakharov V. N.		
Kirikov I. A., Kolesnikov A. V., and Rumovskaya S. B. Study of the Complex Problem of Arterial Hypertension Diagnostics in the Methodology of Artificial Heterogeneous Systems.....	2	113
Kochergina T. A., Iskhakova L. D., Kalenov N. E., and Yakshin M. M. Database “FORC STAFF PROCEEDINGS” as a Part of the “Fiber Optics Information System”	2	295

	No.	Page
Kolesnikov A. V. and Merkulov A. A. Situational Center VSM Cenose	2	241
Kolesnikov A. V. and Merkulov A. A. Universal Pattern of Organizations for the Situational Centers	2	219
Kolesnikov A. V. see Kirikov I. A.		
Kondrashev V. A. see Zatsarinnyy A. A.		
Konushin A. S. see Konushin V. S.		
Konushin A. S. see Rybintsev A. V.		
Konushin V. S., Lukina T. M., Kuharenko A. I., and Konushin A. S. Person Classification upon Face Image Based on Simile Classifiers	2	59
Konushin V. S. see Rybintsev A. V.		
Korepanov E. Some Approaches to Developing Thin Client Technologies for Secure Information Systems	1	105
Korolev V. Yu. Some Tests for Software Reliability	1	132
Kozlov S. V. see Zatsarinnyy A. A.		
Kuharenko A. I. see Konushin V. S.		
Kuleshov A. A. see Sinitsyn I. N.		
Levykin M. V. New Principles of Modeling of Autonomous Self-Propagating Malware	1	14
Lukina T. M. see Konushin V. S.		
Lukina T. M. see Rybintsev A. V.		
Merkulov A. A. see Kolesnikov A. V.		
Merkulov A. A. see Kolesnikov A. V.		
Minin V. A., Zatsman I. M., Havanskov V. A., and Shubnikov S. K. Information System Conceptual Decisions for Assessment of Linkages Between Science and Technologies	2	281
Mishchenko A. I. Linux-Based Operating Systems Vulnerabilities Searching Methods	1	27
Pavelyeva E. A. The Search for Matches Between the Iris Key Points Using Hermite Projection Phase-Only Correlation Method	2	86
Piskovskiy E. V. On a Method of Reliable Delivery and Data Source Verification Within a Client-Server Interaction Over an Open Communication Channel	1	43
Ratseev S. M. On Optimal Authentication Code	1	53
Rumovskaya S. B. see Kirikov I. A.		
Rybintsev A. V., Lukina T. M., Konushin V. S., and Konushin A. S. Age Estimation upon Face Image Based on Local Binary Patterns and a Ranking Approach	2	72

	No.	Page
Samoylov M., Gamayunov D., Bezzubtsev S., and Bulgakov M. Characteristics of Hardware-Based Field-Programmable Gate Array Implementation of Network Traffic Analyzer for Malicious Code Detection	1	69
Shabanov A. P. see Zatsarinnyy A. A.		
Shalamov A. S. see Sinitsyn I. N.		
Shubnikov S. K. see Minin V. A.		
Sinitsyn I. N., Shalamov A. S., and Kuleshov A. A. Nonlinear Correlational Modeling and Aftersale Product Service Systems Reliability Analysis	1	80
Solodovnikov V. I. see Gridin V. N.		
Stepchenkov Yu. see Khilko D.		
Suchkov A. P. Formation of the Goals System for Situational Control	2	196
Timonina A. A. and Timonina E. E. Attacks on the Centralized Systems of Intrusion Detection	1	33
Timonina E. E. see Grusho A. A.		
Timonina E. E. see Timonina A. A.		
Ushmaev O. S. see Gudkov V. Yu.		
Yakshin M. M. see Kochergina T. A.		
Zabeshailo M. I. On the Problem of Subsequences Inclusion into the Data Packages Headers	1	58
Zakharov V. N. and Khoroshilov A. A. Automatic Generation of Vizual Representation of the Document's Semantic Content	1	143
Zakharova T. V. see Dranitsyna M. A.		
Zatsarinnyy A. A., Buromenskii N. G., and Garanin A. I. Methodological Questions of Formation of the System Technical Support of Information-Telecommunication Networks	2	166
Zatsarinnyy A. A., Garanin A. I., Kozlov S. V., and Kondrashov V. A. About Some Particularities of Spare Parts Sets Calculation for Secured Information Systems	1	113
Zatsarinnyy A. A., Ioninkov Y. S., and Shabanov A. P. On a Comparative Evaluation of Situational Centers Efficiency	2	184
Zatsman I. M. see Minin V. A.		

Правила подготовки рукописей статей для публикации в журнале «Системы и средства информатики»

Журнал «Системы и средства информатики» публикует теоретические, обзорные и дискуссионные статьи, посвященные научным исследованиям и разработкам в области информационных технологий.

Журнал издается на русском языке. По специальному решению редколлегии отдельные статьи могут печататься на английском языке.

Тематика журнала охватывает следующие направления:

- информационно-телекоммуникационные системы и средства их построения;
- архитектура и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и сетей;
- методы и средства защиты информации.

1. В журнале печатаются статьи, содержащие результаты, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях.

Публикация не должна нарушать закон об авторских правах.

Направляя рукопись в редакцию, авторы сохраняют все права собственников данной рукописи и при этом передают учредителям и редколлегии неисключительные права на издание статьи на русском языке (или на языке статьи, если он отличен от русского) и на ее распространение в России и за рубежом. Авторы должны представить в редакцию письмо в следующей форме:

Соглашение о передаче права на публикацию:

«Мы, нижеподписавшиеся, авторы рукописи «...», передаем учредителям и редколлегии журнала «Системы и средства информатики» неисключительное право опубликовать данную рукопись статьи на русском языке как в печатной, так и в электронной версиях журнала. Мы подтверждаем, что данная публикация не нарушает авторского права других лиц или организаций.

Подписи авторов: (ф. и. о., дата, адрес)».

Это соглашение может быть представлено в бумажном виде или в виде отсканированной копии (с подписями авторов).

Редколлегия вправе запросить у авторов экспертное заключение о возможности публикации представленной статьи в открытой печати.

2. К статье прилагаются данные автора (авторов) (см. п. 8). При наличии нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией.
3. Редакция журнала осуществляет экспертизу присланных статей в соответствии с принятой в журнале процедурой рецензирования.

Возвращение рукописи на доработку не означает ее принятия к печати.

Доработанный вариант с ответом на замечания рецензента необходимо прислать в редакцию.

4. Решение редколлегии о публикации статьи или ее отклонении сообщается авторам. Редколлегия может также направить авторам текст рецензии на их статью. Дискуссия по поводу отклоненных статей не ведется.

5. Редактура статей высыпается авторам для просмотра. Замечания к редактуре должны быть присланы авторами в кратчайшие сроки.
6. Рукопись предоставляется в электронном виде в форматах MS WORD (.doc или .docx) или L^AT_EX (.tex), дополнительно — в формате .pdf, на дискете, лазерном диске или электронной почтой. Предоставление бумажной рукописи необязательно.
7. При подготовке рукописи в MS Word рекомендуется использовать следующие настройки.

Параметры страницы: формат — А4; ориентация — книжная; поля (см): внутри — 2,5, снаружи — 1,5, сверху — 2, снизу — 2, от края до нижнего колонтитула — 1,3.

Основной текст: стиль — «Обычный», шрифт — Times New Roman, размер — 14 пунктов, абзацный отступ — 0,5 см, 1,5 интервала, выравнивание — по ширине.

Рекомендуемый объем рукописи — не свыше 20 страниц указанного формата.

Сокращения слов, помимо стандартных, не допускаются. Допускается минимальное количество аббревиатур.

Все страницы рукописи нумеруются.

Шаблоны примеров оформления представлены в Интернете: <http://www.ipiran.ru/publications/collected/template.doc>

8. Статья должна содержать следующую информацию на **русском и английском языках**:

- Название статьи.
- Ф.И.О. авторов, на английском можно только имя и фамилию.
- Место работы, с указанием города и страны и электронного адреса каждого автора.
- Сведения об авторах, в соответствии с форматом, образцы которого представлены на страницах:
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012_22_02_rus/authors.asp и
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012_22_02_eng/authors.asp
- Аннотация (не менее 100 слов на каждом из языков). Аннотация — это краткое резюме работы, которое может публиковаться отдельно. Она является основным источником информации в информационных системах и базах данных. Английская аннотация должна быть оригинальной, может не быть дословным переводом русского текста и должна быть написана хорошим английским языком. В аннотации не должно быть ссылок на литературу и, по возможности, формул.
- Ключевые слова — желательно из принятых в мировой научно-технической литературе тематических тезаурусов. Предложения не могут быть ключевыми словами.

9. Требования к спискам литературы.

Ссылки на литературу в тексте статьи нумеруются (в квадратных скобках) и располагаются в каждом из списков литературы в порядке первых упоминаний.

Списки литературы представляются в двух вариантах:

- (1) **Список литературы к русскоязычной части.** Русские и английские работы — на языке и в алфавите оригинала;
- (2) **References.** Русские работы и работы на других языках — в латинской транслитерации с переводом на английский язык; английские работы и работы на других языках — на языке оригинала.

Рекомендуется для составления списка “References” пользоваться размещённой на сайте <http://www.translit.ru/> бесплатной программой транслитерации русского текста в латиницу.

Список литературы “References” приводится полностью отдельным блоком, повторяя все позиции из списка литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке литературы к русскоязычной части есть ссылки на иностранные публикации, набранные латиницей, они полностью повторяются в списке “References”.

Ниже приведены примеры ссылок на различные виды публикаций в списке “References”.

Описание статьи из журнала:

Zagurenko, A. G., V. A. Korotovskikh, A. A. Kolesnikov, A. V. Timonov, and D. V. Kardymon. 2008. Tehniko-ekonomiceskaya optimizaciya dizaina gidrorazryva plasta [Technical and economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyajstvo [Oil Industry]* 11:54–57.

Описание статьи из электронного журнала:

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B. P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed April 28, 2011).

Описание статьи с DOI:

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Rus. J. Electrochem.* 44(8):926–30. doi:10.1134/S10231935080077.

Описание статьи из продолжающегося издания (сборника трудов):

Astakhov, M. V., and T. V. Tagantsev. 2006. Jeksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenij “stal’–kompozit” [Experimental study of the strength of joints “steel–composite”]. *Trudy MGTU “Matematicheskoe modelirovanie slozhnyh tekhnicheskikh sistem” [Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems” Proceedings]*. 593:125–30.

Описание материалов конференций:

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya

razrabotki mestorozhdenij s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tehnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [6th Symposium (International) "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact" Proceedings]. Moscow. 267–72.

Sen'kin, A. V. 1997. Voprosy vibrodiagnostiki uprugogo kosmicheskogo appara [Issues of vibration diagnostics of elastic spacecraft]. *Problemy teorii i praktiki v inzhenernyh issledovaniyah. Trudy 33-j nauchnoj konferencii RUDN* [33rd Scientific Conference "Problems of Theory and Practice of Engineering Research" Proceedings]. M.: Russ. Univ. People's Friendship. 223–25.

Описание книги (монографии, сборники):

Nenashev, M. F. 1993. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. M.: Krom Publ. 221 p.

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikonants, eds. 1972. *Jeksploataciya turbogeneratorov s neposredstvennym ohlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. M.: Energy Publs. 352 p.

Latyshev, V. N. 2009. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Frikcionnye prosessy pri rezanii metallov* [Tribology of cutting. Vol. 1: Frictional processes in metal cutting]. Ivanovo: Ivanovskii State Univ. 108 p.

Описание переводной книги (в списке литературы к русскоязычной части необходимо указать: / Пер. с англ. — после названия книги, а в конце ссылки указать оригинал книги в круглых скобках):

1. В русскоязычной части:

Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1985. 472 с. (Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W. Vibration problems in engineering. — 4th ed. — N.Y.: Wiley, 1974. 521 p.)

2. В англоязычной части:

Timoshenko, S. P., D. H. Young, and W. Weaver. 1974. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. N.Y.: Wiley. 521 p.

Описание неопубликованного документа:

Latypov, A. R., M. M. Khasanov, and V. A. Baikov. 2004. Geology and production (NGT GiD). Certificate on official registration of the computer program No. 2004611198. (In Russian, unpubl.)

Описание интернет-ресурса:

APA Style. 2011. Available at: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (accessed February 5, 2011).

Pravila citirovaniya istochnikov [Rules for the citing of sources]. Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed February 7, 2011).

Описание диссертации или автореферата диссертации:

Semenov, V. I. 2003. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyj tor. [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus]. D.Sc. Diss. Moscow. 272 p.

Kozhunova, O. S. 2009. Tehnologiya razrabotki semanticeskogo slovarya informacionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. PhD Thesis. M.: IPI RAN. 23 p.

Описание ГОСТа:

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmerenii. Izmerenie rashoda i kolichestva zhidkostej i gazov s pomoshh'yu standartnyh suzhayushhih ustrojstv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. M.: Standardinform Publs. 10 p.

Описание патента:

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo appara s opticheskoy golovkoj samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

10. Присланные в редакцию материалы авторам не возвращаются.
11. При отправке файлов по электронной почте просим придерживаться следующих правил:
 - указывать в поле subject (тема) название журнала и фамилию автора;
 - использовать attach (присоединение);
 - в состав электронной версии статьи должны входить: файл, содержащий текст статьи, и файл(ы), содержащий(е) иллюстрации.
12. Журнал «Системы и средства информатики» является некоммерческим изданием. Плата за публикацию не взимается, гонорар авторам не выплачивается.

Адрес редакции журнала «Системы и средства информатики»:

Москва 119333, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, ИПИ РАН

Тел.: +7 (499) 135-86-92 Факс: +7 (495) 930-45-05

e-mail: rust@ipiran.ru (Сейфулль-Мулюков Рустем Бадриевич)

<http://www.ipiran.ru/journal/collected>

Requirements for manuscripts submitted to Journal “Systems and Means of Informatics”

Journal “Systems and Informatics” publishes theoretical, review, and discussion articles on the research and development in the field of information technology.

The journal is published in Russian. By a special decision of the editorial board, some articles can be published in English.

Topics covered include the following areas:

- information and communication systems and tools of their design;
- architecture and software of computational complexes and networks; and
- methods and tools of information protection.

1. The Journal publishes original articles which have not been published before and are not intended for publication in other editions. An article submitted to the Journal must not violate the Copyright law. Sending the manuscript to the Editorial Board, the authors retain all rights of the owners of the manuscript and transfer the nonexclusive rights to publish the article in Russian (or the language of the article, if not Russian) and its distribution in Russia and abroad to the Founders and the Editorial Board. Authors should submit a letter to the Editorial Board in the following form:

Agreement on the transfer of rights to publish:

“We the undersigned authors of the manuscript “. . .”, pass to the Founder and the Editorial Board of the Journal “Systems and Means of Informatics” the nonexclusive right to publish the manuscript of the article in Russian (or in English) in both print and electronic versions of the Journal. We affirm that this publication does not violate the Copyright of other persons or organizations.

Author(s) signature(s): (name(s), address(es), date).

This agreement should be submitted in paper form or in the form of a scanned copy (signed by the authors).

The Editorial Board has the right to request from the authors an official expert conclusion that the submitted article has no secret data prohibited for publication.

2. A submitted article should be attached with **the data on the author(s)** (see item 8). If there are several authors, the contact person should be indicated who is responsible for correspondence with the Editorial Board and other authors about revisions and final approval of the proofs.
3. The Editorial Board of the Journal examines the article according to the established reviewing procedure. If authors receive their article for correction after reviewing it does not mean that the article is approved to be published. The corrected article should be sent to the Editorial Board for the subsequent review and approval.
4. The decision on the article publication or its rejection is communicated to the authors. The Editorial Board may also send the reviews on the submitted articles to the authors. Any discussion upon the rejected articles is not possible.
5. The edited articles will be sent to the authors for proofread. The comments of the authors to the edited text of the article should be sent to the Editorial Board as soon as possible.
6. The manuscript of the article should be presented electronically in the MS WORD (.doc or .docx) or L^AT_EX (.tex) formats, and additionally in the .pdf format. All documents may be sent by e-mail or provided on a CD or diskette. A hard copy submission is not necessary.

7. The recommended typesetting instructions for manuscript.

Pages parameters: format A4, portrait orientation, document margins (cm): left — 2.5, right — 1.5, above — 2.0, below — 2.0, footer 1.3.

Text: font —Times New Roman, font size — 14, paragraph indent — 0.5, line spacing — 1.5, justified alignment.

The recommended manuscript size: not more than 20 pages of the specified format.

Use only standard abbreviations. Avoid abbreviations in the title and abstract. The full term for which an abbreviation stands should precede its first use in the text unless it is a standard unit of measurement.

All pages of the manuscript should be numbered.

The templates for the manuscript typesetting are presented on site: <http://www.ipiran.ru/publication/collected/template.doc>

8. Articles should enclose data both in **Russian and English**:

- title;
- author's name and surname;
- affiliation — organization, its address with ZIP code, city, country, and official e-mail address;
- data on authors according to the format: (see site)
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012_22_02_rus/authors.asp and
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2012_22_02_eng/authors.asp;
- abstract (not less than 100 words) both in Russian and in English. Abstract is a short summary of the article that can be published separately. The abstract is the main source of information on the article and it could be included in leading information systems and data bases. The abstract in English has to be an original text and should not be an exact translation of the Russian one. Good English is required. In abstracts, avoid references and formulae.
- Indexing is performed on the basis of keywords. The use of keywords from the internationally accepted thematic Thesauri is recommended.

Important! Keywords must not be sentences.

9. References. Russian references have to be presented both in English translation and Latin transliteration.

Please take into account the following examples of Russian references appearance:

Article in journal:

Zagurenko, A. G., V. A. Korotovskikh, A. A. Kolesnikov, A. V. Timonov, and D. V. Kardymon. 2008. Tehniko-ekonomiceskaya optimizaciya dizaina gidrorazryva plasta [Technical and economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyajstvo [Oil Industry]* 11:54–57.

Journal article in electronic format:

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B. P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (Accessed April 28, 2011).

Article with DOI:

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Rus. J. Electrochem.* 44(8):926–30. doi:10.1134/S1023193508080077.

Article from the continuing publication (collection of works, proceedings):

Astakhov, M. V., and T. V. Tagantsev. 2006. Jeksperimental'noe issledovanie prochnosti soedinenij "stal'-kompozit" [Experimental study of the strength of joints "steel-composite"]. *Trudy MGTU "Matematicheskoe modelirovanie slozhnyh tekhnicheskikh sistem"* [Bauman MSTU "Mathematical Modeling of Complex Technical Systems" Proceedings]. 593:125–30.

Conference proceedings:

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdenij s primenieniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [6th Symposium (International) "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact" Proceedings]. Moscow. 267–72.

Sen'kin, A. V. 1997. Voprosy vibrodiagnostiki uprugogo kosmicheskogo apparata [Issues of vibration diagnostics of elastic spacecraft]. *Problemy teorii i praktiki v inzhenernyh issledovaniyah. Trudy 33-j nauchnoj konferencii RUDN* [33rd Scientific Conference "Problems of Theory and Practice of Engineering Research" Proceedings]. M.: Russ. Univ. People's Friendship. 223–25.

Books and other monographs:

Nenashev, M. F. 1993. *Poslednee pravitel'stvo SSSR* [Last government of the USSR]. M.: Krom Publ. 221 p.

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikonants, eds. 1972. *Jeksploataciya turbogeneratorov s neposredstvennym ohlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. M.: Energy Publs. 352 p.

Latyshev, V. N. 2009. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Frikcionnye prosessy pri rezaniyu metallov* [Tribology of cutting. Vol. 1: Frictional processes in metal cutting]. Ivanovo: Ivanovskii State Univ. 108 p.

Translated book:

Timoshenko, S. P., D. H. Young, and W. Weaver. 1974. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. N.Y.: Wiley. 521 p.

Unpublished material:

Latypov, A. R., M. M. Khasanov, and V. A. Baikov. 2004. Geology and production (NGT GiD). Certificate on official registration of the computer program No. 2004611198. (In Russian, unpubl.)

Internet-source:

APA Style. 2011. Available at: <http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx> (accessed February 5, 2011).

Pravila citirovaniya istochnikov [Rules for the citing of sources]. Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed February 7, 2011).

Dissertation and Thesis:

Semenov, V. I. 2003. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyj tor. [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus]. D.Sc. Diss. Moscow. 272 p.

Kozhunova, O. S. 2009. Tehnologiya razrabotki semanticeskogo slovarya informacionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. PhD Thesis. M.: IPI RAN. 23 p.

State standards:

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmerenii. Izmerenie rashoda i kolichestva zhidkostej i gazov s pomoshh'yu standartnyh suzhayushhih ustrojstv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. M.: Standardinform Publs. 10 p.

Patent:

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoj golovkoj samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

References in Latin transcription are presented in the original language.

References in the text are numbered according to the order of their first appearance; the number is placed in square brackets. All items from the reference list should be cited.

10. Manuscripts and additional materials are not returned to Authors by the Editorial Board.
11. Submissions of files by e-mail must include:
 - the journal title and author's name in the "Subject" field;
 - an article and additional materials have to be attached using the "attach" function;
 - an electronic version of the article should contain the file with the text and a separate file with figures.
12. "System and Means of Informatics" journal is not a profit publication. There are no charges for the authors as well as there are no royalties.

Editorial Board address:

IPI RAN, Vavilova Str., 44, block 2, Moscow 119333, Russia

Ph.: +7 (499) 135 86 92, Fax: +7 (495) 930 45 05

e-mail: rust@ipiran.ru (to Prof. Rustem Seyfouli-Mulyukov)

http://www.ipiran.ru/english/journal_systems.asp