

ISSN 1684-8853

ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

5(60)/2012

Учредитель

ОАО «Издательство «Политехника»»

Главный редактор

М. Б. Сергеев,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Зам. главного редактора

Г. Ф. Мощенко

Ответственный секретарь

О. В. Муравцова

Редакционный совет:

Председатель А. А. Оводенко,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. Н. Васильев,
чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. Н. Козлов,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Б. Мейер,
д-р наук, проф., Цюрих, Швейцария

Ю. Ф. Подолекин,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. В. Симаков,
д-р техн. наук, проф., Москва, РФ

Л. Фортуна,
д-р наук, проф., Катания, Италия

А. Л. Фрадков,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Л. И. Чубраева,
чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, С.-Петербург, РФ

Ю. И. Шокин,
акад. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф., Новосибирск, РФ

Р. М. Юсупов,
чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Редакционная коллегия:

В. Г. Анисимов,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Б. П. Безручко,
д-р физ.-мат. наук, проф., Саратов, РФ

Н. Блаунштейн,
д-р физ.-мат. наук, проф., Беэр-Шева, Израиль

А. Н. Дудин,
д-р физ.-мат. наук, проф., Минск, Беларусь

А. И. Зейфман,
д-р физ.-мат. наук, проф., Вологда, РФ

Е. А. Крук,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. Ф. Мелехин,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

А. В. Смирнов,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. И. Хименко,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

А. А. Шальто,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

А. П. Шепета,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

З. М. Юлдашев,
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Редактор: А. Г. Ларионова

Корректор: Т. В. Звертановская

Дизайн: С. В. Барашкова, М. Л. Черненко

Компьютерная верстка: С. В. Барашкова

Адрес редакции: 190000, Санкт-Петербург,

Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ

Тел.: (812) 494-70-02

E-mail: 80x@mail.ru

Сайт: www.i-us.ru

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати,

телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12412 от 19 апреля 2002 г.

Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов

и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные

результаты диссертации на соискание ученой степени доктора

и кандидата наук».

Журнал распространяется по подписке. Подписку можно оформить через

редакцию, а также в любом отделении связи по каталогу «Роспечать»:

№ 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс.

© Коллектив авторов, 2012

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ

- Васильев В. Н., Лившиц И. Л., Сергеев М. Б., Соколова Е. А.** Гибридный микрообъектив для оптико-информационных систем комбинационного рассеяния 2
- Волков В. Ю., Турнецкий Л. С., Онешко А. В.** Описание и выделение объектов на изображениях с использованием прямолинейных сегментов 7
- Обертов Д. Е., Бардов В. М.** Алгоритм идентификации классов транспортных средств при помощи акселерометров 15

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- Бажин С. А., Васильевский А. С., Лапшин К. В.** Стратегия проектирования антропоморфных систем 19

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

- Соллогуб А. В., Скобелев П. О., Симонова Е. В., Царев А. В., Степанов М. Е., Жилиев А. А.** Оценка эффективности кластера малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли 24
- Чеканин В. А., Чеканин А. В.** Эффективные модели представления ортогональных ресурсов при решении задачи упаковки 29

ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

- Лиманова Н. И., Седов М. Н.** Поиск реквизитов физических лиц в базах данных с использованием технологии Data Mining 33

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

- Лернер В. Д.** Криптографическое распределение ключей для защиты информации в иерархических системах 37

КОДИРОВАНИЕ И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ

- Семенов П. К.** Декодирование обобщенных каскадных кодов с внутренними полярными кодами 44

УПРАВЛЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ

- Мещеряков Р. В., Балацкая Л. Н., Чойнзонов Е. Ц.** Специализированная информационная система поддержки деятельности медицинского учреждения 51
- Романов С. П., Алексанян З. А.** Особенности активности нервной системы при управлении движением 57

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- Шилов Н. Г.** Групповые рекомендуемые системы для конфигурирования гибких сетевых организаций 69
- Кашевник А. М.** Интеллектуальная система управления логистической сетью при совместном использовании автотранспорта 75
- Разинкин Е. И.** Концепция обеспечения интероперабельности в области электронной коммерции 82

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Садыкова Е. В.** Информационные технологии систем поддержки принятия решений врача 89
- Балонин Н. А., Сергеев М. Б., Мироновский Л. А.** Вычисление матрицы Адамара — Мерсенна 92

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- 95

АННОТАЦИИ

- 101

УДК 681.45

ГИБРИДНЫЙ МИКРООБЪЕКТИВ ДЛЯ ОПТИКО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

В. Н. Васильев,

член-корр. РАН, доктор техн. наук, профессор

И. Л. Лившиц,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

М. Б. Сергеев,

доктор техн. наук, профессор

Е. А. Соколова,

доктор техн. наук, старший научный сотрудник

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Рассматриваются вопросы создания гибридных оптических систем, содержащих комбинацию рефракционных и дифракционных элементов. Сочетание таких элементов является средством повышения информативности оптико-информационных систем комбинационного рассеяния. Это достигается благодаря улучшению коррекции хроматических аберраций микрообъектива в расширенном спектральном диапазоне. При этом не используются проблемные для комбинационного рассеяния оптические материалы.

Ключевые слова — повышение информативности системы, комбинационное рассеяние, микрообъектив, спектральный диапазон, хроматические аберрации.

Введение

Явление комбинационного рассеяния широко используется при создании различных датчиков для оптико-информационных систем, работающих, например, в области биотехнологий. Повышение информативности таких систем, основной частью которых является микрообъектив, существенно и определяет точность и результативность их функционирования.

Важным аспектом увеличения информативности микрообъектива является коррекция хроматических аберраций в широком спектральном диапазоне, которая при реализации микрообъектива для других приложений решается за счет использования различных сортов оптического стекла для изготовления линз. Однако в случае приложений для комбинационного рассеяния есть ограничения на использование большинства сортов оптических стекол. Причину этих ограничений можно объяснить, если представить спектроскопию комбинационного рассеяния упрощенно как процесс, в котором фотон света взаи-

модельствует с образцом для инициирования рассеянного излучения различных длин волн (примерно только 10^{-7} падающих фотонов преобразуются в комбинационное рассеяние).

Разработка соответствующего объектива является ключом к обеспечению успешного измерения комбинационного рассеяния, поскольку она определяет объем материала, с которого собирается рассеянное излучение, а также эффективность этого сбора.

Современные объективы содержат несколько оптических элементов и тщательно оптимизированы для максимальной компенсации аберраций, поскольку известно, что степень их коррекции в микрообъективах ограничена пределом дифракционного разрешения.

Для повышения светопропускания и подавления паразитного отражения на линзы наносятся просветляющие покрытия. В ряде случаев такие линзы не подходят для измерения комбинационного рассеяния, так как покрытие может обладать свойствами комбинационного рассеяния или флуоресценции и создавать ложные частот-

ные полосы в измеряемых спектрах. Для наиболее чувствительных измерений даже собственное комбинационное рассеяние оптического стекла может вызывать проблемы.

Для микроскопии/спектроскопии комбинационного рассеяния сигнал, получаемый от линз, может быть сильнее, чем сигнал от образца (например, при диагностике кожи человека или других биологических материалов). Это, во-первых, ограничивает перечень оптических сред, которые могут быть использованы в микрообъективах для этого приложения. Во-вторых, ряд минералов, например CaF_2 , ZnS (Cleartran) и ZnSe являются дорогостоящими, часто не используются из-за трудности изготовления из них линз или ограничений, связанных с требованиями охраны труда. К тому же замена дорогих микрообъективов для подобных применений в случае их повреждения, как правило, занимает много времени. Поэтому из материалов, которые могут быть использованы, только плавленый кварц является относительно не дорогим, технологичным и применяется всеми производителями объективов.

Другой путь коррекции хроматических аберраций — включение в оптические схемы гибридных дифракционно-рефракционных элементов [1–11]. Такая коррекция основана на физическом явлении, состоящем в том, что хроматические аберрации, возникающие при преломлении света на рефракционной и дифракционной поверхностях, имеют противоположные знаки. Можно ожидать, что комбинация дифракционных и рефракционных поверхностей позволит достичь компенсации хроматических аберраций с использованием оптических элементов, сделанных из одного и того же сорта стекла, вместо применения линз из различных оптических материалов.

В большинстве существующих оптических систем линзы производятся из различных материалов, включая пластмассы, из которых изготовление дифракционных структур технологически проще. Обычно эти системы включают в себя асферические поверхности. В литературе найден лишь один пример [10] использования дифракционной поверхности в объективе микроскопа. Линзы этого объектива изготовлены из различных сортов оптического стекла, а сам он кроме дифракционной содержит асферические поверхности. Контроль последних является сложной процедурой, которая часто требует проектирования и изготовления специального оборудования (голограммы), что имеет смысл только для массового производства.

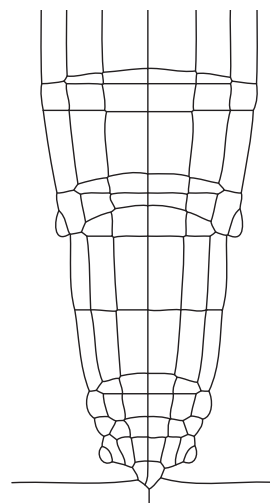
Объективы, все линзы которых изготовлены из одного и того же материала, предпочтительно плавленого кварца, и не содержат асферических поверхностей, могут решить проблему повыше-

ния информативности системы в приборах комбинационного рассеяния, которые обычно выпускаются небольшими сериями и имеют ограничения на использование большинства сортов стекол.

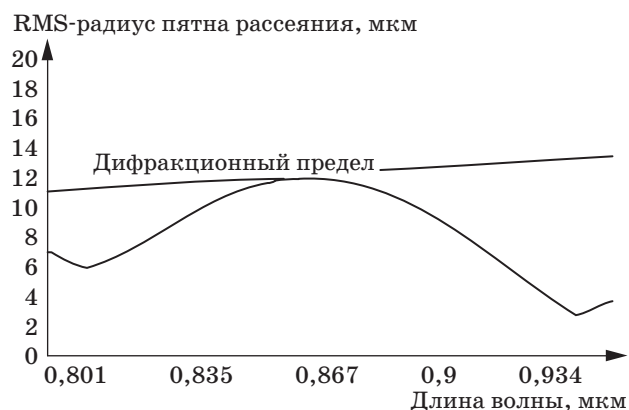
Классический конфокальный микрообъектив для микроскопии/спектроскопии комбинационного рассеяния

Одной из форм оценки информативности цифровых камер оптико-информационных систем является их моделирование с помощью специализированного программного обеспечения для проектирования оптических систем. С помощью соответствующих расчетов определяются аберрации оптической системы — конфокального микрообъектива.

В качестве примера рассмотрим конфокальный микрообъектив (рис. 1), содержащий линзы из



■ Рис. 1. Конфокальный микрообъектив для спектрометра комбинационного рассеяния



■ Рис. 2. Спектральная зависимость RMS-радиуса пятна рассеяния конфокального микрообъектива

разных сортов оптических материалов (одним из которых является ZnS), позволяющие обеспечить достаточно высокое качество его абберационной коррекции. Следует отметить, что представленная оптическая схема не была специально разработана для увеличения апертуры микрообъектива.

Для представленного конфокального микрообъектива, используемого с фокусирующим дублетом и имеющего фокусное расстояние 100 мм для рабочего диапазона длин волн, генерированный на компьютере график спектральной зависимости RMS-радиуса пятна рассеяния представлен на рис. 2. Здесь радиус RMS — это среднеквадратическое отклонение радиальных координат падающих на поверхность изображения лучей.

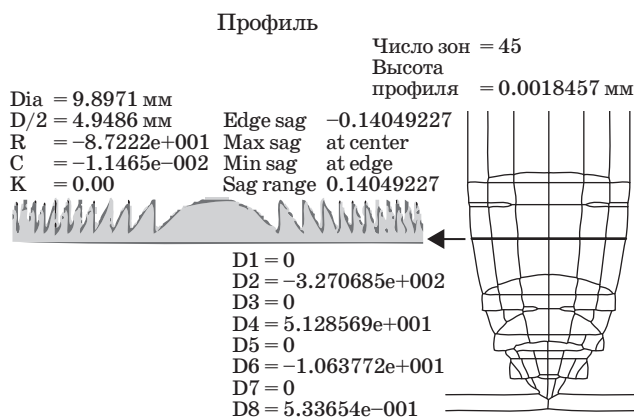
Оптимизация микрообъектива

В процессе оптимизации различные оптические материалы, использованные для изготовления линз объектива, представленного на рис. 1, были постепенно заменены плавленым кварцем, а дифракционная структура нанесена на одну из поверхностей линз. Результирующая оптическая схема и параметры дифракционной линзы представлены на рис. 3.

Коэффициенты D_n — это фазовые коэффициенты в радианах, нормированные к половине диаметра дифракционной поверхности. Эти коэффициенты равны бинарным коэффициентам, используемым в программе ZEMAX для случая, когда радиус нормализации равен половине диаметра бинарной поверхности, которая добавляет фазу в соответствии с полиномом [12]:

$$\Phi = M \sum_{i=1}^N A_i \rho^{2i}. \quad (1)$$

Здесь M — порядок дифракции; N — количество полиномиальных коэффициентов в разложении; A_i — коэффициент степени $2i$ нормализованной радиальной координаты ρ .



■ Рис. 3. Результирующая оптическая схема

В программе CODEV фазовый профиль в радианах описывается [13] уравнением

$$\Phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} \right) \sum C_n r^{2n}, \quad (2)$$

где C_n — полиномиальные коэффициенты; r — ненормированная радиальная координата.

Чтобы пересчитать коэффициенты ZEMAX A_i в коэффициенты CODEV C_n , надо сначала пересчитать их к нормализационному радиусу 1 мм, после чего использовать соотношение [14]

$$A_i = C_n 2\pi / \lambda, \quad (3)$$

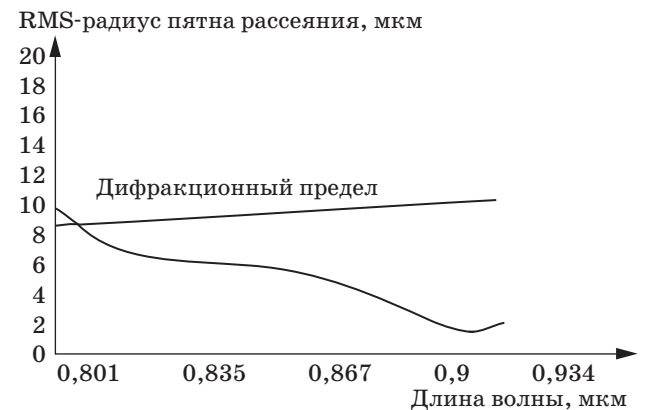
где $i = n$.

На компьютере генерирован график (рис. 4) спектральной зависимости RMS-радиуса пятна для рабочего диапазона длин волн оптимизированного гибридного микрообъектива (см. рис. 3), содержащего дифракционную линзу.

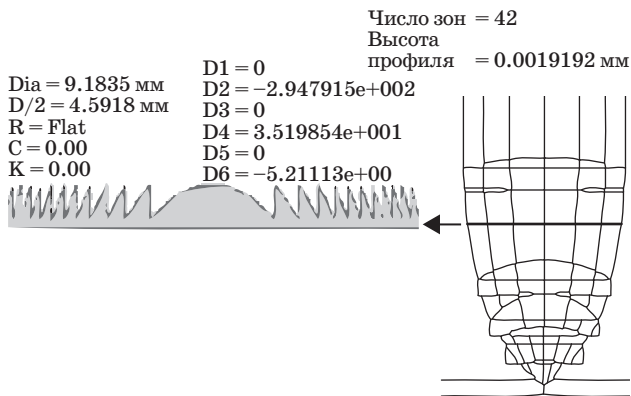
Радиус RMS в обоих случаях меньше, чем дифракционный предел. Это означает, что замена рефракционного объектива, содержащего линзы из разных оптических материалов, гибридным дифракционно-рефракционным объективом, все линзы которого изготовлены из плавленого кварца, произведена успешно.

Поскольку изготовление дифракционной линзы проще и дешевле на плоской поверхности, чем на сферической, был разработан еще один вариант гибридного дифракционно-рефракционного объектива (рис. 5).

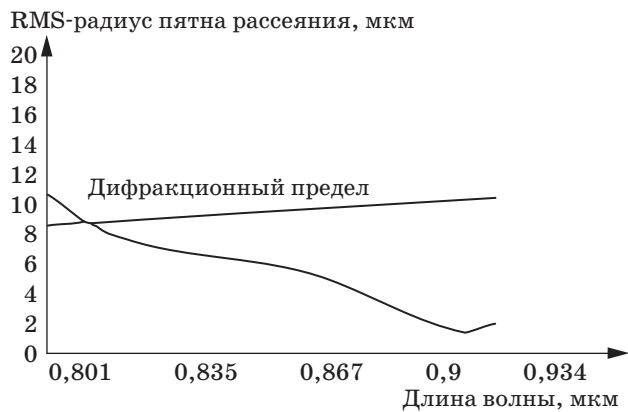
Данный объектив содержит на одну линзу больше, чем объектив, представленный на рис. 3, однако стоимость его изготовления ниже. Генерированный на компьютере график спектральной зависимости RMS-радиуса пятна рассеяния для данного объектива приведен на рис. 6.



■ Рис. 4. Спектральная зависимость RMS-радиуса пятна рассеяния конфокального оптимизированного гибридного микрообъектива



■ Рис. 5. Оптическая схема гибридного дифракционно-рефракционного объектива с дифракционной линзой на плоской поверхности



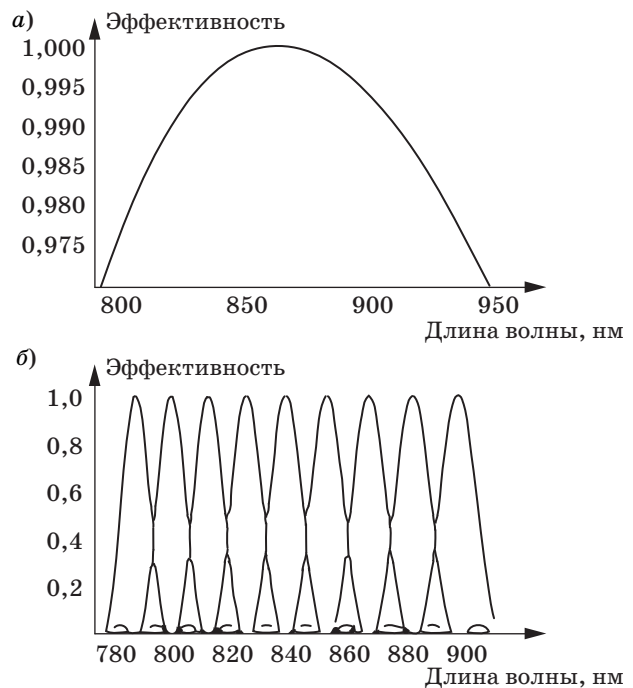
■ Рис. 6. Спектральная зависимость RMS-радиуса пятна рассеяния оптимизированного гибридного микрообъектива с дифракционной линзой на плоской поверхности

Дифракционная эффективность объектива, представленного на рис. 5, для рабочего диапазона длин волн была рассчитана с использованием формулы [15]

$$E = \left| \frac{\sin \left[\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} - 1 \right) \right]}{\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} - 1 \right)} \right|, \quad (4)$$

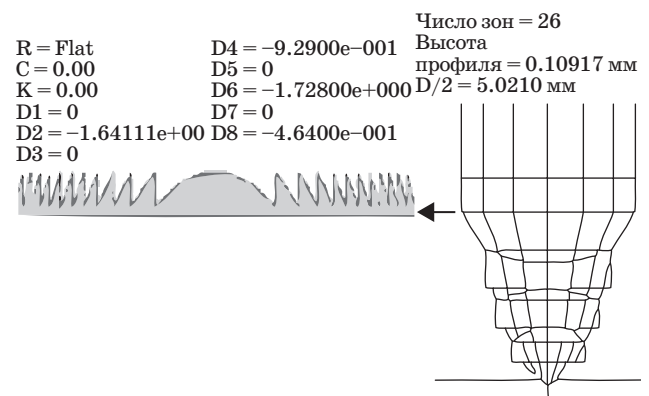
где λ_0 — длина волны, для которой дифракционная эффективность максимальна; λ — текущая длина волны. График зависимости эффективности от длины волны показан на рис. 7, а.

Для некоторых приложений спектроскопии комбинационного рассеяния необходимо регистрировать сигнал в нескольких узких спектральных диапазонах. В этом случае целесообразно использование дифракционной линзы, работающей в нескольких порядках [15, 16]. Такой объектив имеет высокую дифракционную эффективность только для ряда дискретных спек-



■ Рис. 7. Дифракционная эффективность линзы: а — в рабочем диапазоне длин волн; б — работающей в порядках 56–64

тральных диапазонов. В случае объектива для микроскопии/спектроскопии комбинационного рассеяния порядки могут быть выбраны таким образом, что объектив будет эффективным именно для спектральных интервалов, интересных для того или иного приложения. Например, для ряда приложений, связанных с измерением параметров кожи, наиболее интересны узкие полосы вблизи длин волн 837 нм (60-й порядок), 866 нм (58-й порядок), 881 нм (57-й порядок) и 897 нм (56-й порядок). При этом 64-й порядок используется для длины волны лазерного возбуждения 785 нм.



■ Рис. 8. Оптическая схема гибридного дифракционно-рефракционного объектива с дифракционной линзой на плоской поверхности, работающей в высоких порядках спектра



■ **Рис. 9.** Спектральная зависимость RMS-радиуса пятна рассеяния для объектива, представленного на рис. 8

График дифракционной эффективности линзы, которую можно использовать для этого приложения, показан на рис. 7, б.

Качество изображения, полученного при помощи объектива с дифракционной линзой, работающей в высоких порядках (рис. 8), будет хорошим только для тех же узких дискретных спектральных полос (рис. 9), и большая часть излучения длин волн вне этих полос не пройдет через конфокальную точечную диафрагму. Объектив, работающий с фокусирующим дублетом и имеющий фокусное расстояние 100 мм, в этом случае будет также играть роль дополнительного фильтра.

Заключение

Проведенные исследования и результаты моделирования подтверждают, что для рассмотренного в данной работе приложения гибридной дифракционно-рефракционной оптической системы все характеристики качества изображения по крайней мере не хуже, а некоторые — даже лучше, чем для чисто рефракционного прототипа.

Теоретическая дифракционная эффективность, что особенно важно для комбинационного рассеяния, также достаточно высока. Реальная эффективность дифракции будет зависеть от технологии изготовления, которая в данной работе не рассматривалась.

Возможность изготовления эффективной гибридной дифракционно-рефракционной линзы для конфокального микрообъектива уже подтверждена двумя потенциальными изготовителями.

На основании вышеизложенного авторы рекомендуют использовать рассмотренный подход к созданию гибридных оптических систем для повышения информативности оптико-информационных систем в целом.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта 11.519. 11.6014.

Литература

1. Swanson G. J., Scott M. Lens / zone plate combination for chromatic dispersion. US Patent 5442480, 1995.
2. Faklis D., Morris G. M. Polychromatic diffractive lens. US Patent 5589982, 1996.
3. Kreitzer M. H. Color corrected projection lenses employing diffractive optical surfaces. US Patent 6529336, 2003.
4. Ogawa H. Optical system having a diffractive optical element, and optical apparatus. US Patent 6825979, 2004.
5. Huang Y-C. Hybrid lens system. US Patent 6741403, 2004.
6. Huang Y-C. Hybrid lens system. US Patent 6490102, 2002.
7. Maruyama K. Triplet lens system with diffractive lens features. US Patent 6101035, 2000.
8. Foo L. D. Objective lens system utilizing diffractive optical element. US Patent 5880879, 1999.
9. Chen C. W. Athermalized and achromatized optical systems employing diffractive optical... . US Patent 5691847, 1997.
10. Liang C. Miniature microscope objective for an array microscope. US Patent 6950241, 2005.
11. O'Shea D. C., Suleski T. J., Kathman A. D., Prather D. W. Diffraction Optics: Design, Fabrication and Test. — Bellingham: SPIE Press, 2003. — 260 p.
12. ZEMAX 12 Optical Design Program User's Manual / Radiant Zemax LLC. May 10, 2012. P. 298.
13. Advanced topics in CODE V Training / Optical Research associates. Aachen, Germany, 2002. P. HOE-26.
14. Kalikmanov V. I., Sokolova E. A. Ill-posed inverse problem in diffractive optics. Tolerance analysis of diffractive lenses and gratings // JOSA. 2006. Vol. 23. N 2. P. 497.
15. Sweeney D. W., Sommargren G. E. Harmonic diffractive lenses // Applied Optics. 1995. Vol. 34. N 14. P. 2469.
16. Faklis D., Morris G. M. Spectral properties of multi-order diffractive lenses // Applied Optics. 1995. Vol. 34. N 14. P. 2462.

УДК 621.397:621.396.96

ОПИСАНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ СЕГМЕНТОВ

В. Ю. Волков,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Л. С. Турнецкий,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент

ОАО «НПП «Радар ммс», г. Санкт-Петербург

А. В. Онешко,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций

им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Развит новый метод описания объектов на цифровых изображениях, который применим для сравнения различных изображений одной и той же сцены, получаемых от одного или разных источников. Он может найти применение при обработке самолетных и спутниковых изображений, для описания категорий объектов, для автоматического выделения зданий, мостов и других сооружений на изображениях. Метод включает направленную фильтрацию градиентного изображения и выделение прямолинейных сегментов в каждом направлении с учетом знака градиента. Приводятся примеры описания объектов на реальных изображениях.

Ключевые слова — распознавание образов, геометрические примитивы, детектор кромки, совмещение изображений, группирование признаков, выделение зданий и дорог.

Введение

Выделение и распознавание объектов на изображениях представляет одну из центральных проблем компьютерного зрения. Она решается при слежении за объектами, восстановлении, индексации и совмещении различных изображений [1–15]. Ключевым моментом при распознавании объектов является описание различных категорий объектов. Для этого требуется набор надежных и повторяемых признаков параметров (дескрипторов), которые получаются из модели объекта либо из тестовых изображений. Локальные признаки и дескрипторы весьма полезны для компактного представления изображений при их сопоставлении и сравнении.

Различают три уровня дескрипторов. Дескрипторы нижнего уровня могут быть трех типов: основанные на точках изображения, основанные на кромках, или линейные, и основанные на областях [2, 14, 16]. Кромки, соединения линий и углы являются наиболее важными геометрическими признаками для последующего анализа. Такие

признаки называются геометрическими примитивами. Дескрипторы промежуточного, или среднего, уровня получают путем группирования геометрических примитивов с учетом набора ограничений, вытекающих из свойств объектов, интересных с точки зрения восприятия. Дескрипторы верхнего уровня вытекают из сравнительного анализа полученных структур и могут содержать информацию, достаточную для интерпретации, понимания и сравнения рассматриваемого изображения с другим изображением или шаблоном.

Существует два класса методов для выделения признаков. Первые основаны на интенсивности и часто не обеспечивают требуемой надежности воспроизведения. Вторые используют геометрические свойства, что влечет более сложную обработку, однако позволяют сравнивать изображения от различных источников. При сравнении изображений между собой или с эталоном можно выделить три ступени обработки. На первой «детектор признаков» формирует набор точек и областей «интереса». Вторая ступень содержит опи-

сание выделенных областей с помощью векторов параметров (дескрипторов). Сравнение полученных векторов (признаков) осуществляется на третьей ступени с использованием соответствующей метрики: данный признак на изображении ассоциируется с одним или несколькими признаками на других изображениях. В результате идентифицируются объекты с близкими метриками [2, 15–17].

Значительное число факторов негативно влияет на качество идентификации. В большинстве случаев объекты на сравниваемых изображениях наблюдаются на разных расстояниях и под разными ракурсами, что приводит к различиям в масштабах и формах объектов. В этих условиях инвариантность и робастность дескрипторов представляется весьма ценным свойством обеспечения устойчивой идентификации. Вторая проблема заключается в том, что один объект закрывает другой, что приводит к искажениям формы. Фон и зашумленность также являются причинами значительных искажений признаков, основанных на выделении границ и кромок.

Состояние проблемы выделения и группирования линейных признаков на изображениях

Существует большое количество объектов, отличительными признаками которых являются кромки (перепады интенсивности) и геометрические соотношения между ними. Практически важные задачи включают обнаружение и классификацию искусственных объектов, таких как здания, сооружения, дороги, мосты; оценивание использования земных угодий при обработке земли; выделение рек и водоемов. Прямолинейные сегменты кромок играют большую роль, поскольку почти все контуры локально прямолинейны, а многие искусственные объекты имеют прямолинейные границы [1–12, 18–20].

В настоящее время существуют многочисленные наборы детекторов и дескрипторов, позволяющие решать задачи описания объектов и сравнения изображений. Недостатки детектора Канни, известного алгоритма выделения кромок в комбинации с преобразованием Хафа для получения отрезков прямых линий, обсуждались в работе [10]. Алгоритм Хафа строит прямую линию по изображению в параметрическом пространстве без учета пространственной связи между точками. В результате такие детекторы часто дают фрагментацию не совсем ровных прямолинейных кромок на короткие отрезки, что практически разрушает геометрическую структуру объекта.

Для получения четких прямолинейных отрезков в случае не совсем ровных кромок на изобра-

жении предлагается использовать пространственно ориентированные фильтры с последующим формированием профиля градиента в направлении, обеспечивающем максимум на выходе фильтра [8, 17, 21]. При этом появляется возможность выделять пересечения сегментов и их соединения, чего не позволяет сделать комбинация Канни — Хафа.

Координаты линейных сегментов в совокупности с углами ориентации и величинами выхода фильтра представляют низший уровень описания для объектов [8, 17, 22]. Важным свойством каждого сегмента является наличие пересекающих его других линий, причем эти линии также упорядочены по выходному сигналу фильтра.

В работе [19] предложен другой алгоритм получения прямолинейных сегментов, основанный на выравнивании точек путем объединения пикселей в соответствии с локальными ориентациями вектора градиента и позволяющий контролировать ложные обнаружения кромок. Он не дает фрагментации линий и обладает адаптивными свойствами при выделении кромок различной протяженности. Однако на границах выделяемых отрезков и в точках пересечений сегментов наблюдается большой разброс локальных ориентаций, эти участки не попадают в область поддержки линии и теряются. В результате алгоритм не позволяет выделить точки пересечений прямолинейных сегментов.

Идея использовать прямолинейные кромки и геометрические соотношения между ними обсуждалась в работе [9]. Авторы применяли термин антипараллельность для линий, введенный Неватия и Бабу, и рассматривали антипараллельные пары (APARS). Такие пары имеют противоположные ориентации кромок, поскольку одна из них образована изменением интенсивности от черного к белому, а другая — от белого к черному. Нахождение таких парных линий, расположенных достаточно близко друг к другу, позволяет убрать из рассмотрения лишние сегменты, находящиеся в данной области.

Группирование линейных сегментов в целях описания объектов рассматривалось в работе [22]. Изображение трактовалось как набор объектов и геометрических соотношений между ними. На низшем уровне точки объединяются в линейные сегменты, которые могут формировать узкие полосы, соединения, пересечения и кривые. Группирование линейных сегментов базируется на некоторых геометрических ограничениях, таких как непрерывность, параллельность, симметрия, перекрытие, совпадение и др. Для построения связных структур из большого набора линейных сегментов разработана иерархическая

система комбинирования линий и описания объектов, использующая указанные выше свойства. В результате на следующем уровне получается комбинация связанных линейных сегментов, которая представляет описание для объекта в данной области изображения. Такое описание представляется в виде дерева или графа. Задача сравнения и распознавания объектов сводится, таким образом, к сравнению графов для выбранных объектов.

Авторы работы [11] разработали новую структурную конструкцию, названную кластером согласованных линий. Она предназначена в основном для распознавания зданий и включает проверку ряда соотношений для линейных сегментов. В частности, проверяются перекрытие сегментов и их пересечения. Однако предложенный алгоритм не позволяет решать более общие задачи выделения и распознавания объектов. Не ясно, как следует группировать выделенные сегменты для формирования признаков на верхнем уровне описания.

Поиск связанных пар линий осуществлялся путем сравнения углов [8]. Предложена мера такой связи, включающая взвешенное суммирование признаков. Однако из-за недостаточного количества используемых ограничений метод давал низкую вероятность совпадений признаков. Другой набор ограничений на линейные сегменты рассмотрен в работе [15]. Связывание линейных сегментов одинаковой длины рассматривается как оригинальный метод группирования и получения структур [20]. Группирование смежных сегментов [12, 23] позволяет получать структуры с заданной сложностью, определяемой количеством связанных сегментов.

Другие подходы группирования основаны на активных контурах, змеях, деревьях и графах [6, 12, 24, 25]. Смежные области для данного исследования включают выделение значимых кривых на изображениях [18], формирование инвариантных к масштабу дескрипторов [1, 16], обнаружение объектов, состоящих из отдельных частей [26, 27], выделение текстурных признаков для локальных областей и векторное представление формы объектов [2, 16].

Постановка задачи и метод решения

Целью исследования является разработка нового метода группирования прямолинейных сегментов для описания и выделения объектов искусственного происхождения на изображениях. Метод предназначен для получения структур промежуточного уровня описания объектов. Далее полученные структуры и геометрические соотношения между ними могут анализироваться

для трактовки и сравнения изображений на верхнем уровне описания.

Лучшее выделение линейных сегментов, достигнутое путем ориентированной фильтрации [17, 21, 28], дало возможность определять по ним точки пересечения и углы между сегментами. Это позволило усовершенствовать известные алгоритмы группирования [8, 22] добавлением новых признаков, основанных на пересечениях сегментов.

На низшем уровне описания линейные сегменты упорядочены по выходному сигналу ориентированного фильтра, но не имеют связей между собой. На промежуточном уровне каждая пара линий объединяется в систему, если линии пересекаются. Возможны различные варианты группирования для получения простейших структур, некоторые из которых будут представлены далее. Варианты различаются числом учитываемых линий, которые пересекают данную линию, и числом линий, пересекающих эти второстепенные учитываемые линии. При этом объекты на изображении получают различное описание.

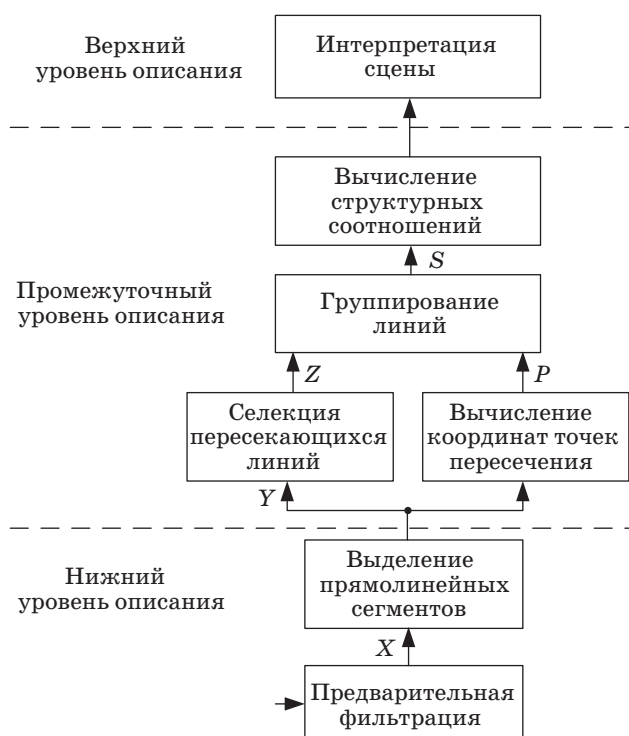
Простейшие структуры, основанные на анализе пересечений, могут содержать большое количество лишних сегментов, которые должны быть удалены после проверки ряда геометрических ограничений, таких как антипараллельность, смежность и достаточная близость отрезков.

Выделенные конструкции из трех линий уже могут представлять треугольники, т. е. самостоятельные замкнутые структуры. В ряде случаев данный метод приводит к замыканию структур, состоящих из четырех линий, что дает прямоугольники, параллелограммы и трапеции на изображении.

Задачей исследования является разработка способов группирования прямолинейных сегментов и анализ свойств получающихся структур для описания реальных объектов. Группируются сегменты, имеющие точки пересечения или примыкания. При этом важно практическое применение указанного метода к описанию объектов на реальных самолетных и спутниковых изображениях, получаемых на выходе радара с синтезированной апертурой, лидарной системы, инфракрасной и телевизионной систем наблюдения.

Описание структуры процедуры обработки изображений

Структура процедуры обработки цифровых изображений, включающая описание и выделение объектов, представлена на рис. 1. Предвари-



■ Рис. 1. Структура обработки изображений

тельная фильтрация и выделение прямолинейных сегментов представляют нижний уровень описания изображения. Алгоритм выделения сегментов в деталях описан в работах [10, 21, 28]. Вместе с координатами Y конечных точек каждого сегмента определяется его угол ориентации и максимальное выходное значение ориентированного фильтра. Все прямолинейные сегменты оказываются упорядоченными в соответствии с этим значением.

Основной операцией на промежуточном уровне описания является селекция отрезков, пересекающих выбранный сегмент. Каждую линию могут пересекать несколько отрезков, и финальная таблица Z в строке для этой линии содержит номера пересекающих ее сегментов. Углы и примыкания также включаются в эту таблицу. Алгоритм позволяет получить до 17 упорядоченных номеров линий, пересекающих или примыкающих к данной линии. Координаты точек пересечения P также вычисляются и используются при вычислении параметров получаемых структур.

Группирование сегментов позволяет получить простые структуры, содержащие выбранную линию, некоторое число пересекающих ее отрезков и определенное число линий, пересекающих последние. Для исключения из рассмотрения «лишних» линий применяется проверка условий антипараллельности, смежности и близости. Наи-

больший интерес среди результирующих структур S представляют замкнутые структуры, не содержащие других отрезков внутри структуры. Для таких структур нетрудно вычислить параметры локализации, эквивалентный прямоугольник или эллипс, эксцентриситет и другие внутренние параметры. Эти параметры и соответствующие структуры представляют промежуточный уровень описания изображения.

Верхний уровень описания достигается после вычисления относительных геометрических соотношений для выбранной совокупности структур промежуточного уровня. Эти соотношения должны обеспечивать инвариантность относительно масштаба, сдвига и поворота изображений. Результаты используются для интерпретации сцены и сравнения изображений.

Алгоритмы группирования прямолинейных сегментов

Рассмотрим задачу конструирования структур на базе выделенных упорядоченных прямолинейных сегментов. Один из простых способов иерархического группирования уже был рассмотрен [17]. Две линии считаются связанными в структуру, если они имеют точку пересечения или примыкания. Третья линия добавляется в структуру, если она пересекает хотя бы одну из первых двух. На этом уровне появляются простейшие замкнутые структуры в виде треугольников, которые являются областями интереса. На следующем уровне рассматриваются замкнутые структуры из четырех линий, причем каждая пара почти параллельных линий должна обладать свойством антипараллельности. Процесс добавления сегментов в структуру и анализ полученных более сложных структур может быть продолжен.

Другой способ группирования на основе пересечений предложен в работе [28]. Линейные сегменты представляют первый иерархический уровень. На втором уровне каждая данная линия объединяется с определенным числом других линий, которые ее пересекают. На следующем уровне объединяются структуры второго уровня, имеющие общие линии, причем можно учитывать заданное число общих линий. В результате получают замкнутые конфигурации для объектов, форма которых близка к прямоугольной. Дальнейшая обработка включает проверку условий антипараллельности для соответствующих главных отрезков в целях исключения линий, не обладающих этим свойством. Этап удаления отрезков, имеющих только одну точку пересечения, также позволяет очистить выделяемую структуру от лишних линий. Оценивание центров распо-

ложения и ориентации выделенных структур четвертого уровня позволяет получить координаты и дескрипторы для упорядоченных областей интереса для выделяемых объектов прямоугольной формы. Эти параметры в дальнейшем используются для расчета геометрических соотношений, которые в свою очередь позволяют решать задачи распознавания объектов и сравнения изображений.

Для достижения наилучших результатов при выделении и распознавании объектов следует иметь широкий выбор различных алгоритмов группирования и способ сравнения их эффективности для выбора конструктивного решения. Задача сравнения различных алгоритмов выделения и распознавания объектов на данный момент не имеет однозначного решения, поскольку качество работы алгоритма существенно зависит от характера самого изображения и вида объектов. Поэтому основным средством сравнения является качественное экспериментальное исследование алгоритма на изображениях различных типов.

Здесь рассмотрен вариант группирования прямолинейных сегментов, развивающий и дополняющий предыдущие варианты и обеспечивающий, на наш взгляд, более удачную селекцию сегментов для описания объектов и лучшее разделение структур по сравнению с предыдущими алгоритмами. Количественный анализ сравнительных характеристик еще предстоит сделать.

После формирования упорядоченного набора прямолинейных сегментов из них формируются простейшие структуры $C_k = \{L_k, L_m, L_n, L_p, \dots\}$, включающие для каждой данной линии L_k определенное число первых пересекающих ее отрезков. Если брать одну пересекающую прямую, то получаются простые структуры X - и L -типов. Учитывая две линии, пересекающие данную линию, получаем замкнутые треугольники и структуры H -, Z -, K - и Π -типов. Некоторые пары сегментов могут обладать свойством антипараллельности и удовлетворять условиям смежности и близости, т. е. являться близкими соседями, находящимися на малом расстоянии друг от друга по сравнению с длиной каждого из отрезков. Они также должны иметь малый сдвиг друг относительно друга (это означает, что проекция одного из почти параллельных отрезков на направление другого занимает существенную часть этого второго отрезка). Применение этих ограничений позволяет провести существенную селекцию простых структур перед их объединением в более сложную структуру.

Сложная структура $S_k = \{C_k, C_m, C_n, C_p, \dots\}$ представляет совокупность простых структур

для данной линии и для пересекающих ее линий с учетом упомянутых ограничений. Некоторые из простых структур исключаются из набора, если входящий в них сегмент L_m имеет слишком малое значение выхода ориентированного фильтра M_m по сравнению со значением M_k для главного отрезка L_k . Результирующая сложная структура представляет сжатое описание соответствующего объекта (или области интереса) наряду с параметрами всех входящих в структуру прямолинейных сегментов.

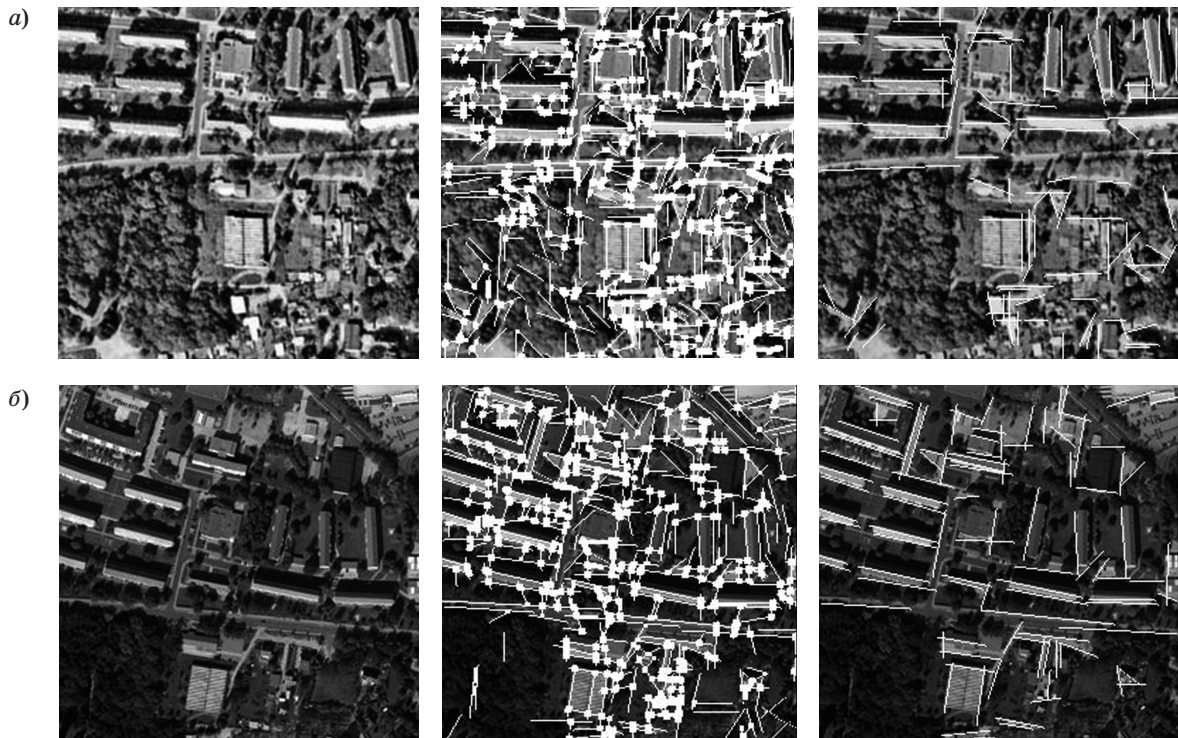
Среди получаемых таким образом сложных структур первоочередной интерес представляют замкнутые структуры в виде параллелограммов и многоугольников. Метод может быть развит применительно к группированию не только прямолинейных сегментов, но и отрезков кривых с учетом соответствующих ограничений и с использованием идей из работы [22].

Практическое применение метода описания и выделения объектов к реальным изображениям

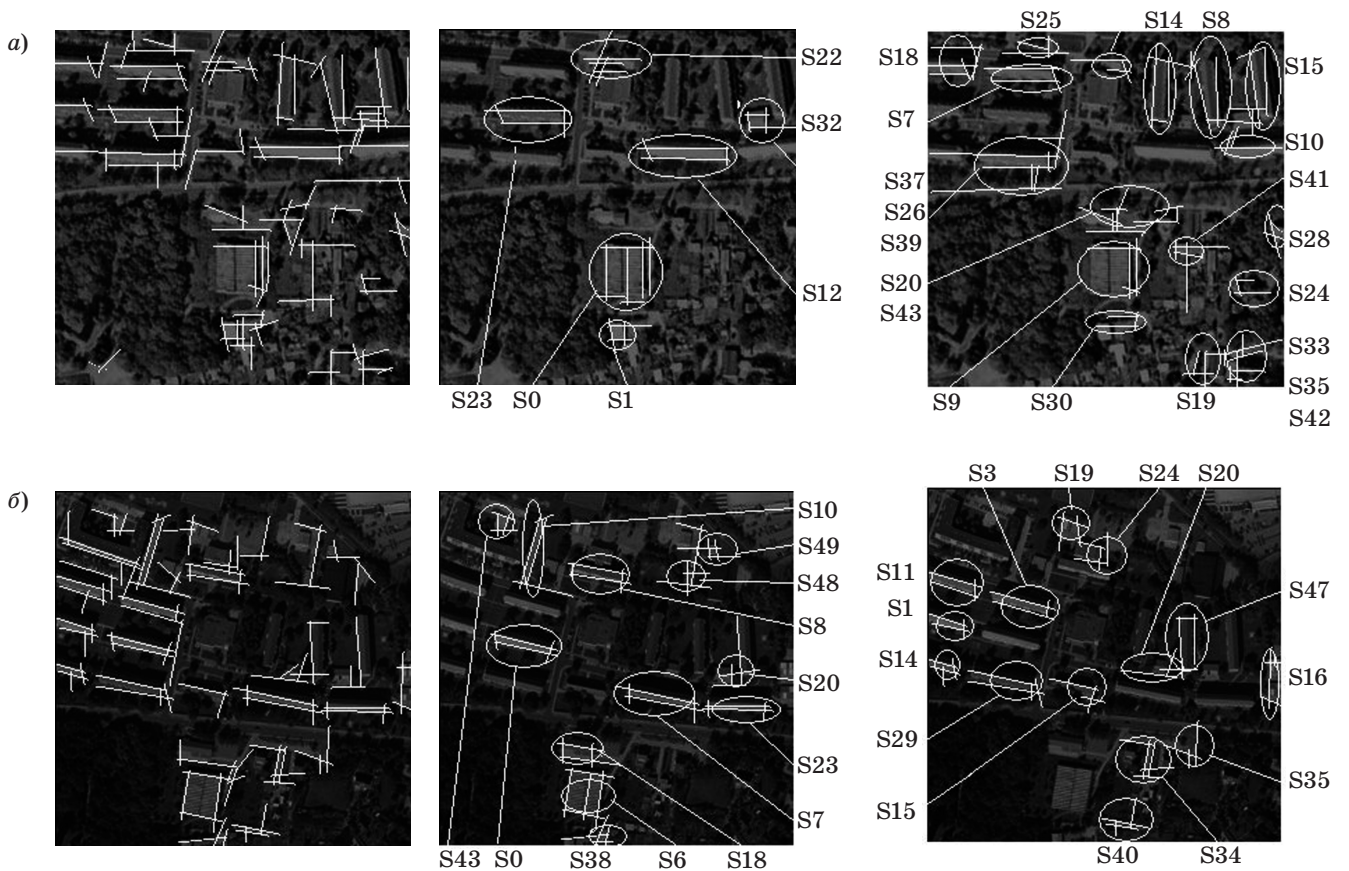
Оригинальные изображения для одной сцены, полученные от разных систем наблюдения, показаны на рис. 2. Изображение в верхней части рис. 2, *а* представляет снимок местности со спутника, а сверху рис. 2, *б* — с самолета. Выделение прямолинейных сегментов позволяет локализовать кромки и получить отчетливые точки пересечения, показанные справа от исходных снимков. В крайних правых частях обоих рисунков изображены первые 100 прямолинейных сегментов для каждого из изображений. Дальнейшее формирование структур осуществлялось в соответствии с уже изложенными принципами. Результаты группирования показаны на рис. 3, *а, б* соответственно.

При формировании простых структур учитывались только две первые точки пересечения для каждого данного сегмента, поэтому каждая простая структура $C_k = \{L_k, L_m, L_n\}$ содержит до двух отрезков, пересекающих данный сегмент. Первые 50 простых структур для обоих изображений показаны в левой части рис. 3.

Вместе с главной структурой C_k принимались во внимание все простые структуры $C_i = \{L_i, L_j, L_p\}$, $i = m, n, \dots$ для всех пересекающих главный сегмент отрезков. На следующем шаге простые структуры объединялись с учетом принятых ограничений. Свойства антипараллельности, смежности и близости анализировались, и производилась соответствующая селекция в целях удаления «лишних» структур. Сложная структура S_k могла включать исходную простую структуру C_k , а могла и не включать ее, что привело к соответ-



■ Рис. 2. Выделение прямолинейных сегментов на спутниковом (а) и самолетном (б) изображении



■ Рис. 3. Первые 50 простых структур на спутниковом (а) и самолетном (б) изображении после группирования прямолинейных сегментов и результирующие сложные структуры с учетом принятых ограничений

ствующему разделению полученных сложных структур. Изображения в средней части рис. 3 содержат только результирующие замкнутые структуры, которые представляют первостепенный интерес. Спутниковое изображение содержит шесть, а самолетное — 12 замкнутых структур. Пять найденных структур на первом изображении ($S_0, S_1, S_{12}, S_{23}, S_{32}$) соотносятся с теми же объектами, которые выделены на втором изображении ($S_6, S_{38}, S_7, S_0, S_{20}$). Другие (незамкнутые) структуры показаны в правой части рис. 3. Девять структур снова соотносятся с одними и теми же объектами, так что 14 объектов данной сцены оказываются корректно выделенными на обоих изображениях.

Дальнейшее сравнение изображений требует установления геометрических отношений уже между выделенными структурами. Требуется решить, по крайней мере, еще две важные задачи. Первая — локализация выделенных структур, т. е. нахождение координат их центров, определение размеров и ориентации. Вторая — вычисление геометрических соотношений, которые были бы инвариантны к изменениям масштаба, сдвига и ориентации всего изображения.

Литература

1. Shao J., Mohr R., Fraser C. Multi-image matching using segment features // *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*. Amsterdam. 2000. Vol. XXXIII. Pt. B3. P. 837–844.
2. Mikolajczyk K., Zisserman A., Schmid C. Shape recognition with edge-based features: *Proc. Brit. Mach. Vision Conf.*, Norwich UK, Sept. 9–11, 2003. P. 779–788.
3. Sohn G., Dowman I. J. Extraction of buildings from high resolution satellite data // *Autom. Extract. of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*. The Netherlands: Sweets&Zeitlinger, 2001. P. 345–355.
4. Lavigne D. A. et al. Automatic building detection and 3D shape recovery from single monocular electro-optic imagery // *SPIE Defence&Security Symp.*, Florida, USA, 6567-38, 2007.
5. Tretyak E., Barinova O., Kohli P., Lempitsky V. Geometric image parsing in man-made environment // *Comp. Vision*. 2011. Vol. 67. P. 1–17.
6. Theng L. B. Automatic building extraction from satellite imagery // *Engineering Letters*. Nov. 2006. 13:3. P. 1–5.
7. Jin X., Davis C. H. Automated building extraction from high-resolution satellite imagery in urban areas using structural, contextual, and spectral information // *EURASIP J. on Applied Signal Processing*. 2005. Vol. 14. P. 2196–2206.
8. Fu Z., Sun Z. An algorithm of straight line features matching on aerial imagery // *Int. Arch. Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Inf. Sciences*, Beijing, 2008. Vol. XXXVII. Pt. B3b. P. 97–102.
9. Medioni G., Nevatia R. Matching images using linear features // *IEEE Trans.* 1984. Vol. PAMI-6. P. 675–685.
10. Volkov V., Germer R. Straight edge segments localization on noisy images: *Proc. of the IPCV'10*. Las Vegas, Nevada, USA, 2010. Vol. II. P. 512–518.
11. Kim S. K., Ranganah H. S. Efficient algorithms to extract geometric features of edge images: *Proc. IPCV'10*. Las Vegas, Nevada, USA, 2010. Vol. II. P. 519–525.
12. Bernstein E. J., Amit Y. Part-Based Statistical Models for Object Classification and Detection: *Proc. CVPR*. 2005. P. 1–7.
13. Ferrari V., Fevrier L., Schmid C. Groups of Adjacent Contour Segments for Object Detection // *IEEE Trans.* 2008. Vol. PAMI-30. N 1. P. 36–51.
14. Mikolajczyk K., Schmid C. A Performance Evaluation of Local Descriptors // *IEEE Trans.* 2005. Vol. PAMI-27. N 10. P. 1615–1630.
15. Tuytelaars T., Mikolajczyk K. Local Invariant Feature Detectors: A Survey // *Computer Graphics and Vision*. 2007. Vol. 3. N 3. P. 177–280.

Заключение

Рассмотрена проблема конструирования признаков для описания и выделения объектов на изображениях различной природы. Предложен новый метод построения геометрических структур на основе выделенных упорядоченных прямолинейных сегментов, соответствующих краям изображений.

Метод использует пересечения и примыкания сегментов и включает группирование отрезков для получения простых структур. Далее эти структуры селективируются с учетом введенных ограничений антипараллельности отрезков, смежности и близости, а также средней интенсивности на выходе соответствующего ориентированного фильтра. Получение сложных структур связано с объединением простых, содержащих хотя бы одну одинаковую линию, и окончательным разделением структур по их свойствам, в частности, отбором замкнутых структур.

Применение данного метода к обработке реальных изображений показало эффективность использования группирования прямолинейных сегментов для устойчивого описания и выделения искусственных объектов на изображениях.

16. Volkov V., Germer R., Oneshko A., Oralov D. Object description and extraction by the use of straight line segments in digital images: Proc. of the IPCV'11. Las Vegas, Nevada, USA, 2011. Vol. II. P. 588–594.
17. Horaud R., Veillon F., Skordas T. Finding geometric and relational structures in an image // First European Conf. Computer Vision, France, Apr. 23–27, 1990. P. 374–384.
18. Li Yi, Shapiro L. G. Consistent Line Clusters for Building Recognition in CBIR: Proc. IPCR. 2002. P. 1–5.
19. Kadir T., Brady M. Saliency, Scale and Image Description // Intern. J. of Computer Vision. 2001. N 45(2). P. 83–105.
20. Moreels P., Perona P. Evaluation of features detectors and descriptors based on 3D Objects // J. of Computer Vision. July 2007. Vol. 73. N 3. P. 263–284.
21. Волков В. Ю., Турнецкий Л. С., Онешко А. В. Выделение прямолинейных кромок на зашумленных изображениях // Информационно-управляющие системы. 2011. № 4(53). С. 13–17.
22. Bergevin R., Bernier J.-F. Detection of unexpected multi-part objects from segmented contour maps // Pattern Recognition. Nov. 2009. Vol. 42. Iss. 11. P. 2403–2420.
23. Zhao Y., Chen Y. Q. Connected Equi-Length Line Segments for Curve and Structure Matching // J. Pattern Rec. and Artificial Intel. 2004. Vol. 18. P. 1019–1037.
24. Ettarid M., Rouchdi M., Labouab L. Automatic extraction of buildings from high resolution satellite images: Proc. ISPRS 2008. Vol. XXXVII, VIII. P. 61–65.
25. Von Gioi R., Grompone, Jakubovich J., Morel J.-M., Randall G. LSD: A Line Segment Detector // IEEE Trans. 2010. Vol. PAMI-32. N 4. P. 722–732.
26. Cao F., Muse P., Sur F. Extracting Meaningful Curves from Images // J. of Mathematical Imaging and Vision. 2005. Vol. 22. P. 159–181.
27. Srinivasan P., Wang L., Shi J. Grouping Contours via a Related Image // IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2010. P. 17–36.
28. Волков В. Ю., Анцев Г. В., Турнецкий Л. С., Бойкова Е. Б. Метод описания и выделения объектов с использованием прямолинейных сегментов на цифровых изображениях // Цифровая обработка сигналов и ее применение: тр. 14-й Междунар. конф. М., 2011. С. 319–322.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Национальная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, в том числе добавлять публикации, которых нет в базе данных НЭБ, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.

УДК 004.93 + 62.51 + 625.03

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КЛАССОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПОМОЩИ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Д. Е. Обертов¹,

аспирант

В. М. Бардов²,

аспирант

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Рассматриваются проблемы идентификации классов транспортных средств с помощью акселерометров. Реализуется алгоритм определения классов автомобилей, основанный на измерениях с акселерометров. Последовательность действий алгоритма включает в себя фильтрацию полосовым фильтром, возведение в квадрат, сглаживание скользящим окном и фильтром нижних частот, а также удаление помех путем сравнения с порогом. Приведены результаты обработки данных с помощью алгоритма, демонстрирующие его эффективность.

Ключевые слова — акселерометр, идентификация, классы транспортных средств, интеллектуальные транспортные системы.

Введение

В последнее десятилетие все большее внимание уделяется построению интеллектуальных транспортных систем, в том числе интеллектуальных дорог, которые снабжены средствами, позволяющими обеспечивать взаимодействие и связь между транспортной инфраструктурой и транспортными средствами (ТС).

Применение таких средств дает возможности для контроля дорожного движения в целях повышения безопасности, уменьшения заторов и пробок на дорогах, ведения статистики дорожного движения, идентификации классов ТС, контроля скорости и других приложений [1, 2].

Идентификация классов ТС является важным компонентом безопасности дорожного движения. Поэтому разработка системы и алгоритма, который с большой производительностью и надежно-

стью мог бы работать в различных погодных условиях, в любое время суток является актуальной. Также необходимо по возможности обеспечить бесконтактность измерений, что позволит продлить срок эксплуатации системы, уменьшить количество переустановок оборудования и вмешательства людей в дорожное движение, приводящее к нарушению движения во время установки.

Транспортные средства могут быть классифицированы по различным критериям в зависимости от задач. Наиболее очевидным является применение идентификации классов ТС для мониторинга дорожного движения и набора статистики [3, 4]. Статистика необходима как характеристика описания движения транспорта в одном определенном месте в определенное время: времени суток, дня недели, времени года. В дальнейшем эта информация может быть использована для планирования ремонта дорог, организации других эксплуатационных мероприятий и принятия мер по разгрузке транспортной сети.

В данной работе исследуется возможность использования акселерометров для идентификации классов автомобилей. Узлы-датчики, состоящие из одного акселерометра и магнитометра, устанавливаются на дорожную разметку. Расстояние между соседними узлами 50 м. Датчики обмениваются информацией по беспроводной сети между собой и серверами, расположенными

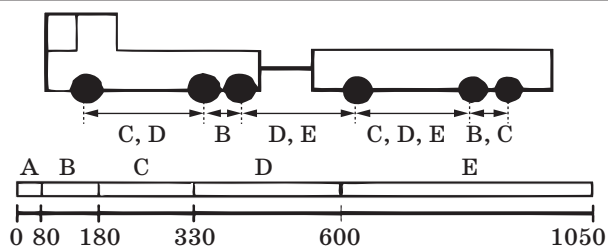
¹ Научный руководитель — доктор технических наук, профессор кафедры СУиИ Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики *Б. Р. Андриевский*.

² Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент кафедры СУиИ Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики *С. В. Арановский*.

вдоль дороги. Установка датчиков на дорожную разметку позволит повысить время их эксплуатации благодаря меньшему количеству наездов ТС, а также позволит обеспечить бесконтактность измерений. Акселерометры измеряют вибрации дороги, за счет чего отсутствует непосредственный контакт датчиков с автомобилями. Магнитометры измеряют магнитные поля, создаваемые автомобилями. Планируется использовать их в будущем для измерения скорости автомобилей. Сейчас скорость считается известной.

Идентификация классов автомобилей

Существует 5 типов осей по международной классификации в зависимости от расстояния между соседними колесами: А, В, С, D, Е (рис. 1).



■ Рис. 1. Классификация колесных баз автомобилей

Если колесная база (расстояние между соседними осями автомобиля) от 80 до 180 см, то ТС относится к мотоциклам, от 180 до 330 см — к легковым автомобилям и т. д. Возможны и более сложные комбинации осей (см. рис. 1).

На основе анализа колесной базы автомобилей — продольного расстояния между соседними осями автомобиля — разработана классификация ТС (таблица).

Реализация алгоритма и результаты экспериментальных исследований

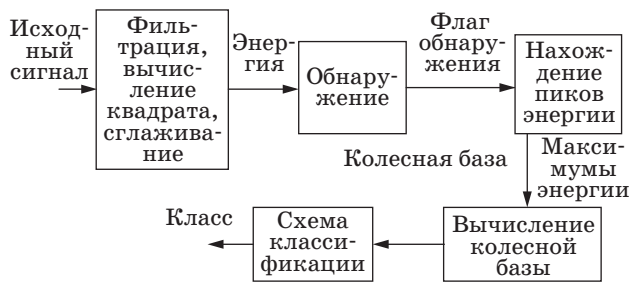
Обработка данных с акселерометров показана на рис. 2. Изначально идет предварительная обработка, обнаружение автомобилей. Только затем следует обработка данных в целях нахождения классов автомобилей. Предварительная обработка данных осуществляется согласно представленным шагам.

Последовательность операций для определения классов ТС с использованием акселерометров (рис. 3) состоит из следующих операций.

1. Первоначальные данные, полученные с акселерометров, фильтруются полосовым фильтром (ПФ), потому что рассматриваем частотный диапазон, соответствующий области максимальных амплитуд сигнала. Предварительная обработ-

■ Классификация автомобилей по колесной базе

| Класс автомобиля | Классы осей | Условное изображение класса | Обозначение автомобиля |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Мотоцикл | В | | МС |
| Легковой автомобиль | С | | Р20 |
| Легковой автомобиль с прицепом | С-С, D | | Р21 |
| | С-В, С, D-А | | Р22 |
| Грузовик (2 оси) | D, E | | L20 |
| Грузовик (2 оси) с прицепом | D, E-C | | L21 |
| | D, E-D, E | | L22 |
| | D, E-B | | L23 |
| Грузовик (2 оси) с прицепом | D, E-C, D, E-B, C, D, E | | L24 |
| | D, E-B, C, D, E-B, C, D, E | | L25 |
| Грузовик (2 оси) с прицепом | D, E-D, E-B, C-B, C | | L26 |
| | D, E-B, C-C, D, E-B, C | | L27 |
| | C, D-B | | L30 |
| Грузовик (3 оси) с прицепом | C, D-B-C | | L31 |
| | C, D-B-D, E | | L32 |
| | C, D-B-B | | L33 |
| | C, D-B-C, D, E | | L34 |
| | C, D-B-C, D, E-B, C, D, E | | L35 |
| | C, D-B-D, E-B, C-B, C | | L36 |
| | C, D-B-B, C-C, D, E-B, C | | L37 |



■ Рис. 2. Последовательность действий по обработке данных с акселерометров

ка сигналов с помощью быстрого преобразования Фурье и короткооконного преобразования Фурье выявила частотный диапазон от 850 до 1750 Гц. Такая обработка необходима для исключения низкочастотных и высокочастотных помех. Используется эллиптический фильтр, который обеспечивает максимальное затухание сигнала в полосе задерживания [5]. Частоты среза ПФ выбираются на основе предварительной обработки данных и анализа спектральных характеристик.

2. Данные, полученные на выходе ПФ, возводятся в квадрат: $z(iT) = y(iT)^2$, где $i = 0, 1, 2, \dots$ — дискретное время; T — интервал квантования (частота дискретизации датчика).

3. Сигнал сравнивается с порогом, все значения, которые меньше порога, обнуляются:

$$\text{threshold} = 0,02 \cdot \text{maximum}(z);$$

$$z(iT)^* = \begin{cases} z(iT), & \text{если } z(iT) \geq \text{threshold}; \\ 0, & \text{иначе } z(iT) < \text{threshold}, \end{cases}$$

$$z(iT) < \text{threshold}, \text{ тогда } z(iT) = 0.$$

4. Сглаживание с помощью скользящего окна с временем сглаживания t .

5. Сигнал $z(i)$ фильтруется эллиптическим фильтром нижних частот (ФНЧ), частота среза выбирается в зависимости от скорости ТС: $w = f(V)$ [Гц], где V — скорость ТС, км/ч.

6. Значения сигнала сравниваются с порогом, если они меньше порога, то обнуляются:

$$\text{suma}(i)^* = \begin{cases} \text{suma}(i), & \text{если } \text{suma}(i) \geq \text{threshold}; \\ 0, & \text{иначе } \text{suma}(i) < \text{threshold}; \end{cases}$$

$$\text{threshold} =$$

$$= \begin{cases} 0,33 \cdot \text{maximum}(\text{suma}), & \text{если } yf > 0,00005; \\ 0,22 \cdot \text{maximum}(\text{suma}), & \text{иначе } yf \leq 0,00005, \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, k,$$

где yf — сигнал на выходе ФНЧ. Числа 0,33; 0,22 получены экспериментальным путем.

7. Алгоритм поиска максимумов кривой y_i : этот алгоритм анализирует производную y_i для поиска максимумов.

8. Для удаления «плохих» пиков (максимумов) используется порог. Мы не анализируем колесную базу меньше 60 см (0,6 м). Колесная база может быть найдена согласно оператору: $(\text{time}2(i + 1) - \text{time}2(i))V$.

9. Амплитудный и временной порог используются для удаления пиков с малой амплитудой и маленькой шириной импульса (временной порог). Порог амплитуды составляет 8 % от максимального значения амплитуды пика.

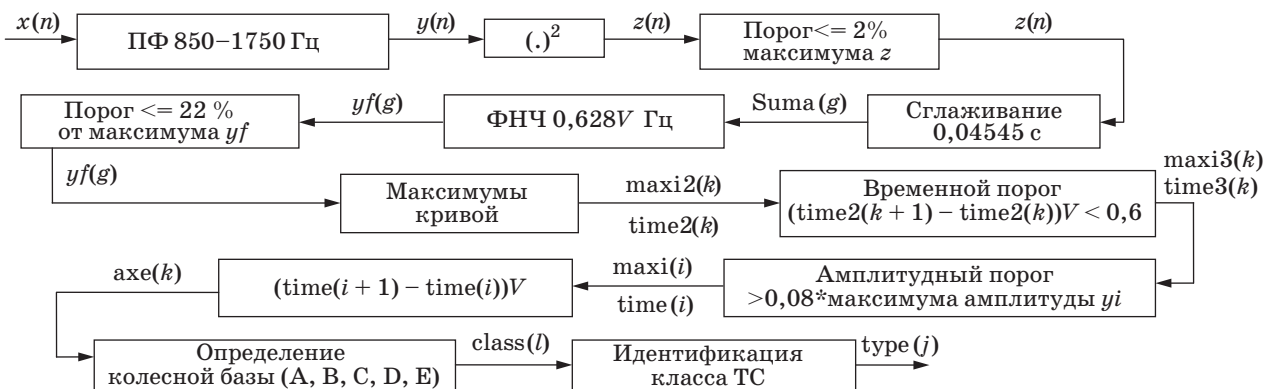
Временной порог пересчитывается в расстояние, аналогично расчету колесной базы. Ширина импульса умножается на скорость. Не анализируются импульсы шириной меньше 70 см.

10. Алгоритм определения колесной базы (А, В, С, D, E). Этот алгоритм реализован в соответствии с рис. 1.

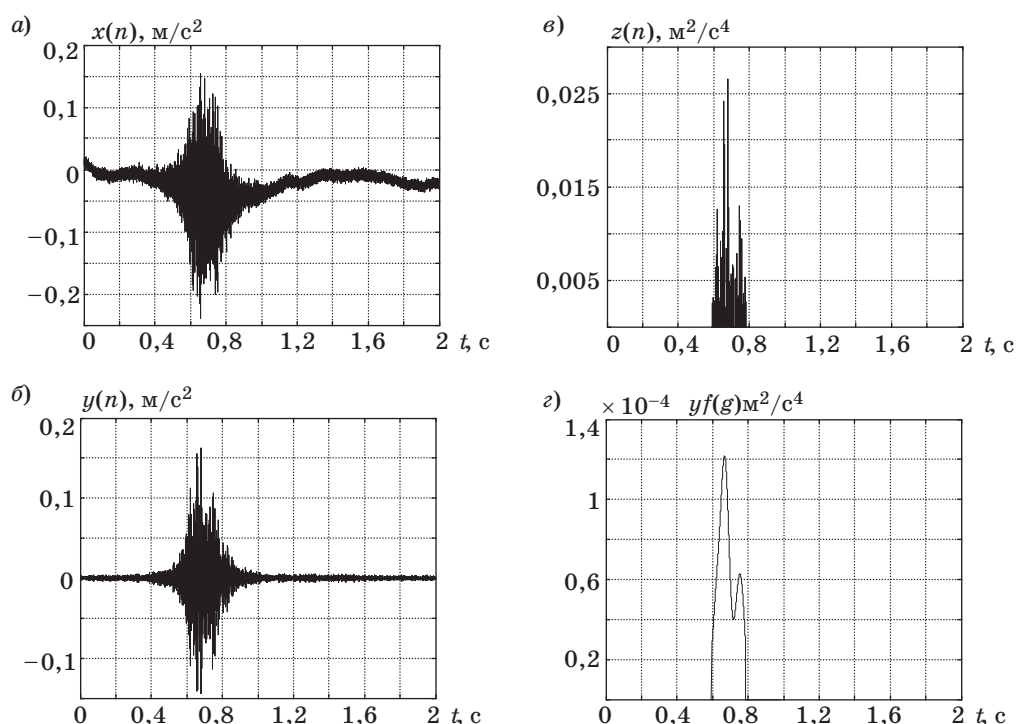
11. Алгоритм классификации ТС осуществляется в соответствии с рис. 1 и 2.

Графики сигналов в важнейших точках алгоритма для идентификации классов ТС представлены на рис. 4.

Алгоритм был протестирован на основе серии экспериментов, проведенных на дорогах в окрест-



■ Рис. 3. Последовательность действий для идентификации классов ТС с использованием акселерометров (использованы фрагменты программы)



■ **Рис. 4.** Графики сигналов в важных точках последовательности действий: *a* — $x(n)$ (исходный сигнал с акселерометра); *б* — $y(n)$ (после ПФ); *в* — $z(n)$ (после возведения в квадрат и сравнения с порогом); *г* — $yf(g)$ (после сглаживания скользящим окном и ФНЧ и после удаления помех)

ности города Лулео (Швеция). В результате экспериментов были найдены следующие параметры:

- нижняя частота среза $f_H = 850$ Гц;
- верхняя частота среза $f_B = 1750$ Гц;
- частота среза для ФНЧ $\omega = 0,628V$ Гц;
- для скользящего окна $t = 0,045$ с. Коэффициент 0,045 получен эмпирически для акселерометров с частотой дискретизации 22 000 Гц.

Заключение

Были рассмотрены алгоритмы идентификации классов ТС с использованием акселерометров. Клас-

сы автомобилей идентифицируются достаточно точно, но для этого необходимо знать скорость ТС. Эти результаты могут быть использованы в реальных системах дорожного хозяйства для построения интеллектуальных систем дорожного движения, идентификации классов ТС, для подсчета количества ТС, для мониторинга скорости ТС. В последнем случае необходимо использовать два датчика, что является предметом последующих исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (соглашение № 14.В37.21.0421).

Литература

1. Birk W., Osipov E., Eliasson J. iRoad — cooperative road infrastructure systems for driver support // 16th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems 2009, Stockholm, Sweden, 21–25 Sept. 2009. Red Hook: Curran, 2009.
2. Birk W. et al. Road Surface Networks Technology Enablers for Enhanced ITS // 2010 IEEE Vehicular Networking Conf., VNC 2010: Jersey City, NJ, 13–15 Dec. 2010. Piscataway, NJ: IEEE, 2010. P. 152–159.
3. Hostettler R. Traffic Counting Using Measurements of Road Surface Vibrations // Master's thesis. — Lu-lea University of Technology, 2009. <http://pure.ltu.se/> (дата обращения: 10.03.2011).
4. Hostettler R., Birk W., Nordenvaad L. M. On the Feasibility of Road Vibrations-based Vehicle Property Sensing // (I E T) Intelligent Transport Systems 4, (4), 2010. P. 356–364. <http://pure.ltu.se/> (дата обращения: 10.03.2011).
5. Лем Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация: пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 592 с.

УДК 004.896

СТРАТЕГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНТРОПОМОРФНЫХ СИСТЕМ

С. А. Бажин,

старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

А. С. Васильевский,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

К. В. Лапшин,

начальник научно-исследовательской лаборатории

ОАО «Высокие технологии», г. Санкт-Петербург

Рассматриваются основные подходы и методы создания систем интеллектуального проектирования антропоморфных объектов. Показано, что проблема сокращения сроков проектирования сложных технических объектов является актуальной научно-практической задачей, а создание основ интеллектуальной технологии проектирования на базе методов алгоритмизации ранних этапов проектирования наряду с разработкой и включением в технологический контур проектирования гибридных экспертных систем — эффективный путь ее решения.

Ключевые слова — интеллектуальное проектирование, экспертная система, система управления.

Введение

Антропоморфные приборы и системы (подобные человеку по принципам и механизмам обработки данных и знаний) занимают стремительно расширяющийся сегмент мирового рынка высоких технологий. На сегодняшний день в распоряжении разработчиков таких систем имеется некоторый набор методов и моделей, описывающих проектные процедуры и этапы. Достаточно подробно разработаны схемы их реализации. Однако известные попытки формализовать процессы проектирования (особенно на ранних этапах) в целях их алгоритмизации до сих пор успеха не имели, что отрицательно сказывается на сроках разработки и качестве конечного продукта. Проблема сокращения сроков проектирования антропоморфных систем (АС), относящихся к классу сверхсложных технических объектов, является актуальной научно-практической задачей, лежащей в русле критических технологий федерального значения. Эффективный путь решения данной проблемы — создание основ интеллектуальной технологии проектирования АС на базе методов алгоритмизации ранних этапов проектирования и на базе разработки и включения в технологический контур проектирования гибридных экспертных систем.

Методология интеллектуального проектирования

Структура АС в значительной мере определяет ее облик, под которым обычно понимается перечень ее основных элементов (составных частей); взаимное расположение составных частей в пространстве; способы и средства соединения и связи составных частей между собой; последовательность взаимодействия составных частей во времени; особенности конструктивного исполнения составных частей; принципиально важные соотношения параметров для системы в целом или ее отдельных составных частей [1].

Техническое решение (ТР) проектируемой системы представляет собой ее агрегированное описание, которое в процессе проектирования должно быть дополнено параметрическим описанием и графическим представлением. В качестве параметров объекта проектирования выступают его конструктивно-технические характеристики (КТХ), расчет и уточнение которых составляют основную задачу эскизного проектирования. В дальнейшем проектирование заключается в построении графического образа изделия, подготовке рабочих чертежей и конструкторской документации (технического и рабочего проектов).

Определение структуры изделия — наиболее творческая задача. Ее формализация должна учитывать следующую особенность традиционных подходов к проектированию. Приступая к синтезу облика АС, проектировщик обычно уже имеет ее функциональное представление (описание) и, исходя из этого, формирует структуру или единое функционально-структурное представление. Отсюда, формализация ранних стадий проектирования, так или иначе, должна коснуться и функционального представления проектируемой системы.

В основе функционального представления лежит система целей, предпочтений, потребностей и степень их удовлетворения проектируемой системой. Под функцией понимается действие, направленное на удовлетворение какой-либо потребности, на достижение определенной цели. Чтобы подчеркнуть многозначность понятия функции, интерпретируем его как пригодность или способность выполнять действие, поскольку АС могут быть пригодны к выполнению действий, для которых они и не предназначены. Более того, функции АС сами сложны и могут быть разделены на составляющие их подфункции. С любым объектом проектирования явно или неявно связывается также его основная функция (функциональное назначение), которая является системовыделяющей, вычлняющей подмножество сходных систем, к которому принадлежит и проектируемая АС.

Исходя из этого предлагаем следующую последовательность фаз интеллектуального проектирования (ИП):

$$F \rightarrow S \rightarrow P \rightarrow G,$$

где F — функциональное представление проектируемой АС в соответствии с системой предпочтений проектировщика; S — структурное представление проектируемой АС с учетом ее функционального представления на основе решения задачи формирования (синтеза) облика; P — отображение облика проектируемой системы в пространство параметров при помощи расчетно-логических процедур; G — графическое представление проектируемой системы, структура и параметры которой определены.

С информационной точки зрения, проектирование — это процесс последовательного преобразования входной информации об объекте проектирования (его функционального представления) в выходную в виде проектно-конструкторской и технологической документации (описания, необходимого для производства). В процессе составления и преобразования описаний объекта проектирования используются также знания о рас-

сматриваемой области и информация об опыте проектирования объектов аналогичного назначения.

Задачи составления параметрического P и графического G представлений АС иногда выводят за рамки ИП как чисто технические, не требующие особых творческих усилий. Вместе с тем расчет параметров или графическое представление облика проектируемой системы могут показать несостоятельность выбранного ТР, послужить причиной пересмотра структуры проектируемой системы, подсказать принципиально новое ТР.

Рассматривая ИП как единый процесс, выделим три его основные задачи: формирование требований, синтез облика, анализ элементов. Эти задачи соответствуют ранним стадиям проектирования: требования к объекту проектирования формируются на стадии разработки технического задания (ТЗ), облик АС и ее техническая концепция — на стадии предварительного проектирования, наконец, основная задача эскизного проектирования — анализ элементов, уточнение параметров и характеристик проектируемой АС, связанное с проектно-конструкторской проработкой ее основных составных частей и формированием их облика. Анализ элементов осуществляется на основе иерархической структуризации и сопровождается комплексными расчетами и экспериментальными исследованиями.

Дадим рабочие определения ряду основных понятий, отражающих особенности предметной области и выдвигающих требования к средствам автоматизации ИП.

Объект проектирования — это АС в виде технического объекта, который выполняет определенные функции, состоит из элементов (составных частей), характеризуется показателями (характеристиками) и зависит от внешних условий (среды). В основе описания технического объекта лежат функции, реализующие некоторые потребности (цели).

Функции. Выделяются общие и частные функции O , частные функции представляют собой декомпозицию общих. Все функции образуют иерархическую структуру (дерево), изоморфную дереву целей O .

Составные части. АС состоит из элементов, которые часто естественным образом группируются в относительно самостоятельные составные части (подсистемы, агрегаты, блоки, узлы). Основным признаком выделения элементов и их группирования при формировании облика АС является функциональный — каждая составная часть выполняет одну или несколько самостоятельных функций, для каждой функции можно определить одну или несколько выполняющих ее составных частей.

Структура АС представляется в виде многоуровневого дерева, взаимосвязанного с деревом функций, но не повторяющего его. В вырожденном случае функция может быть отнесена к системе в целом, которая при этом считается функционально неделимой. При формировании облика рассматриваемая структура АС является функциональной (зависящей от выделенных функций) и может не включать ряд составных частей, имеющих самостоятельные, но исключенные из рассмотрения функции.

Характеристики. С каждой функцией связано некоторое подмножество показателей, характеризующих эффективность ее выполнения, — тактико-технических (ТТХ), технико-экономических (ТЭХ), экологических и других характеристик. С каждой системой или ее составной частью связано также подмножество показателей или параметров, характеризующих их состав, ТР, взаимосвязь с другими системами или составными частями — КТХ.

Характеристики могут быть определенным образом связаны (аналитически — теорией расчета, статистически, эвристически и т. д.), каждая характеристика имеет некоторую шкалу измерения.

Критерии. В зависимости от конкретной постановки задач проектирования те или иные характеристики могут учитываться при формировании облика и, таким образом, выступать в качестве критериев оценки вариантов облика АС. Критерии образуют свою иерархию, соответствующую системе предпочтений проектировщика.

Условия функционирования. Параметры внешней среды, определяющие конкретные значения характеристик АС, выступают в роли условий ее функционирования (эксплуатации). Учет условий функционирования обеспечивается при помощи расчетно-логических процедур — пересчета типовых значений характеристик.

Облик. Целью ИП является формирование облика АС. Описание облика включает перечень функциональных элементов (составных частей) с указанием их технической реализации, а также значения характеристик в требуемых условиях функционирования. Предполагается, что техническая реализация составной части однозначно определяет ее конструктивное исполнение, положение в пространстве, взаимодействие с другими составными частями и т. д., если это необходимо для описания ТР объекта проектирования.

Требования. ТЗ формулирует требования к облику АС в виде ограничений на возможные значения ее характеристик (параметров) в конкретных условиях функционирования. Требования определяют в пространстве характеристик допустимую область, соответствующую уровню тех-

нического совершенства (эффективности) на момент начала изготовления АС, а также конкретным представлениям о допустимости или реализуемости используемых ТР.

Знания. В задачах ИП знания выступают в декларативной, продукционной и процедурной формах, каждая из которых имеет свои особенности приобретения (извлечения), представления и использования. Знания группируются в информационные структуры, соответствующие различным аспектам предметной области (структуре, функциям, характеристикам и т. д.).

Процесс проектирования. ИП носит итеративный (поисковый) характер, что проявляется в его цикличности: исходный вариант требований к АС в ходе решения задач синтеза облика и анализа элементов может быть скорректирован, формирование облика АС в целом может быть приостановлено для формирования облика ее отдельных составных частей, пополнения имеющихся знаний и т. д.

Если задаться целью классифицировать по определенным признакам задачи некоторой предметной области, в том числе задачи ИП, то следует иметь в виду непосредственную связь классификационных признаков с атрибутами задач, среди которых выделяются первичные: исходные данные («что дано») и требуемый результат («что найти»), а также вторичные: методы решения и используемые алгоритмы (зависят от первичных). В зависимости от первичных атрибутов задача может быть более или менее сложной, тривиальной или неразрешимой; иметь одно, несколько, бесконечно много или ни одного решения. Соответственно, метод решения может быть простым или сложным (включать ряд самостоятельных этапов), точным или приближенным, единственно возможным или охватывающим группу альтернативных подходов.

Под этим углом зрения можно рассматривать и задачи формирования облика АС на ранних стадиях проектирования и соответствующим образом их классифицировать. Прежде всего, выделим некоторый «максимальный» вариант задачи, когда требуется «с нуля» сформировать ТЗ, техническое предложение и разработать эскизный проект системы. Такая задача является наиболее сложной, она включает в себя все остальные постановки задач формирования облика как частные случаи [2]. В такой задаче явно имеются самостоятельные этапы: разработка ТЗ, технического предложения и эскизного проекта.

Проанализировав информацию, привлекаемую для решения этой задачи, мы получаем сводный перечень исходных данных, которые в конкретных постановках могут быть частично известны или заданы. В зависимости от этого дан-

ная задача в ее полном объеме (включающая все три основных этапа) может выглядеть по-разному. При этом исходные данные включают сведения о функциях, возложенных на проектируемую систему; условиях функционирования (эксплуатации) проектируемой системы; аналогах проектируемой системы (с точки зрения выполняемых функций) и классе систем, которому принадлежит объект проектирования; структуре, которая обеспечивает выполнение функций проектируемой системы; конструктивных параметрах и характеристиках (ТТХ, ТЭХ) объектов класса, которому принадлежит проектируемая система; требуемых и предельно допустимых значениях характеристик проектируемой системы; основных расчетно-логических соотношениях между характеристиками и параметрами проектируемой системы; ТР, которые могут быть использованы в проектируемой системе (их параметры, место и опыт применения); сочетаниях различных ТР (их совместимости, реализуемости, эффективности); критериях оценки и сравнения проектных решений (и вообще о системе предпочтений проектировщика); освоенном промышленностью базовом образце, заменить который должна проектируемая система.

Требуемый результат рассматриваемой «максимальной» задачи — это облик проектируемой АС, оформленный в виде эскизного проекта, который включает уточненные ТЗ и техническое предложение, проектно-конструкторскую проработку подсистем и агрегатов проектируемой системы, а также компоновочную и конструктивную схемы системы в целом, результаты экспериментальных исследований моделей ее функционирования. Таким образом, в полном объеме результаты ранних стадий проектирования включают: требуемые значения характеристик (ТТХ и ТЭХ); предлагаемый состав проектируемой АС; ТР, используемые в составных частях проектируемой системы (реализации составных частей, их КТХ, параметры и т. д.); значения характеристик проектируемой системы, полученные в результате экспериментальных исследований (в том числе в различных условиях функционирования), и их сравнение с требованиями ТЗ; другую проектную документацию согласно отраслевым нормативным материалам (компоновочные решения, графические образы, технико-экономическое обоснование требований ТЗ и проектных решений и т. п.).

Для частных задач проектирования можно ограничиться получением лишь части перечисленных сведений, имея в виду необходимость в дальнейшем продолжить проектирование и получить остальные сведения или сделать вывод о нецелесообразности его продолжения.

Подчеркнем особенности процесса ИП, которые необходимо учесть для создания методов, алгоритмов и средств автоматизированной поддержки работы проектировщика.

1. Проблема формирования облика имеет большое количество различных постановок, которое отражает многообразие конкретных задач формирования облика.

2. ИП характеризуется отсутствием жесткой схемы решения задач. Практически любая процедура решения частной задачи может быть приостановлена из-за недостаточности исходных данных (тогда потребуется ввести в действие процедуры получения необходимых данных), некорректности данных (в таком случае необходимо выявить причины некорректности и устранить их путем выполнения соответствующих процедур) и т. д. В связи с этим ИП требует большой гибкости программного обеспечения [3].

3. Решение задач проектирования АС предполагает работу с большим объемом данных о предметной области. Простое перечисление наименований составных частей сложной системы, способов их соединения и характеристик может занимать десятки мегабайт.

4. Эффективная поддержка процесса проектирования невозможна без использования знаний о предметной области и самом процессе проектирования. При этом необходимы знания, которые разнообразны по форме представления и по семантике. Так, одна часть знаний имеет вид теорий расчета, связывающих формулами характеристики предметной области, другая часть представляется условными высказываниями типа «если — то», третья описывает существующие и потенциально возможные структуры объектов и процедур, четвертая — схемы объединения оценок вариантов по локальным критериям качества в глобальную скалярную оценку.

5. В ходе проектирования разработчик пользуется различными способами обоснования решений. Однако фактически эти способы сводятся к хранению и поиску информации, вычислениям, логическому выводу и многокритериальному анализу.

6. Практически во всех организациях уже существуют программные системы, автоматизирующие работу проектировщика. Эти системы часто разрознены и обеспечивают помощь при решении отдельных задач: доступ к данным, выполнение расчетов по заранее разработанным схемам вычислений для того или иного узла. В связи с тем, что развитие таких пакетов программ, как правило, невозможно из-за замкнутости, а их объединение все-таки необходимо для повышения эффективности процесса проектиро-

вания, возникает проблема создания надсистемы, которая обеспечит как объединение, так и развитие существующих средств.

7. Для ранних стадий проектирования неизбежна неполная определенность части знаний и данных, которая может выражаться по-разному: в виде неполноты описания; недоопределенности значений параметров; неточности результатов измерений; нечеткости информации, сообщаемой экспертами; случайности результатов того или иного действия, обусловленной невозможностью точного предсказания последствий реализации принимаемых решений.

Заключение

Проведенный в статье анализ процесса проектирования АС и современного состояния упомянутых областей знания показывает, что при интеллектуализации проектирования должны быть обеспечены возможность использования всех способов представления знаний (процедурного, продукционного, семантического); реализация хранения и доступа к знаниям в рамках банка знаний; многокритериальный анализ альтернатив (аналогов при выборе прототипа, вариантов облика после генерации альтернативных ТР) на

всех этапах проектирования; построение заключений (о возможности сочетаний реализаций составных частей, о значениях характеристик реализации в нетиповых условиях функционирования) на основе логического вывода; реализация расчетно-логической процедур; обработка не полностью определенной информации в ходе проектирования; взаимодействие перечисленных процедур обоснования решений (так, на основе многокритериального анализа могут быть выбраны для выполнения правила из конфликтного множества, сделан выбор варианта реализации плана вычислений по критериям времени и точности вычислений при наличии нескольких вариантов и т. д.).

Из вышеизложенного следует, что современные средства проектирования антропоморфных систем должны создаваться и функционировать на основе технологии гибридных экспертных систем, обеспечивающих наиболее полное воплощение принципов интеллектуализации проектирования. Уровень интеллектуальности средств проектирования должен соответствовать уровню интеллектуальности объекта проектирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 11-07-00240).

Литература

1. **Васильевский А. С., Лапшин К. В., Шепета А. П.** Методологические основы создания и использования интеллектуальных систем управления динамическими объектами // Научная сессия ГУАП: Сб. докл. СПб.: ГУАП, 2010. Ч. 2. С. 46–51.
2. **Виньков М. М., Лапшин К. В., Фоминых И. Б.** Проектирование систем управления сложными динамическими объектами // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте:

Тр. V Междунар. науч.-практ. конф., Коломна, 28–30 мая 2009 г. М.: Физматлит, 2009. Т. 2. С. 123–132.

3. **Коржавин Г. А., Лапшин К. В.** Моделирование интеллектуальных систем управления в нечетком информационном пространстве // Корабельные и бортовые информационно-управляющие системы: Сб. СПб.: Судостроение, 2009. Вып. № 10. С. 87–93.

УДК 629.78

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАСТЕРА МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

А. В. Соллогуб,

доктор техн. наук, профессор
«ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

П. О. Скобелев,

доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник
Институт проблем управления сложными системами РАН, г. Самара

Е. В. Симонова,

канд. техн. наук, доцент

А. В. Царев,

генеральный директор

М. Е. Степанов,

разработчик

А. А. Жиляев,

разработчик

ООО «Научно-производственная компания «Разумные решения», г. Самара

Предлагаются модели оценки эффективности при формировании кластера малых космических аппаратов для мониторинга поверхности Земли в целях обеспечения требований по оперативности доставки информации потребителю и надежности решения функциональных задач.

Ключевые слова — эффективность, кластер малых космических аппаратов, оперативность доставки информации, надежность решения функциональных задач.

Введение

Задачи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) возникают в широком спектре предметных областей: мониторинг окружающей среды, поиск движущихся объектов, контроль состояния технических объектов и сооружений, наблюдение за объектами в околоземном пространстве и т. п. К недостаткам ДЗЗ, выполняемого одиночными крупногабаритными космическими аппаратами (КА), следует отнести дороговизну производства, требующего одномоментных крупных вложений, недостаточную точность изображения, длительный анализ изображений, ограниченные условия передачи информации, централизованное управление с Земли. Поэтому наиболее современной тенденцией является использование для решения задач ДЗЗ группировок (кластеров) малоразмерных космических аппаратов (МКА), оснащенных аппаратурой различного назначения, напри-

мер, видимого, инфракрасного, радиационного спектра [1–6]. Основными преимуществами кластера МКА ДЗЗ перед одиночными КА являются улучшение целевых показателей по оперативности наблюдения за процессами, происходящими на поверхности Земли, возможности более эффективного наблюдения за быстропротекающими процессами, а также повышение надежности наблюдения при параллельно функционирующих КА кластера.

Формирование кластера МКА в зависимости от показателя старения наблюдаемого процесса

Эффективность систем КА ДЗЗ с точки зрения оперативности доставки необходимой потребителю информации во многом зависит от степени старения наблюдаемого на поверхности Земли процесса. Интуитивно понятно, что для быстро-

протекающих процессов периодичность наблюдения должна быть выше, чем для медленно протекающих процессов. Задержка в доставке информации по быстроизменяющемуся процессу может привести в ряде случаев к тому, что потребитель вместо информации получит фактически дезинформацию.

В качестве простейшей модели рассмотрим экспоненциальный закон старения [7]

$$p(t) = e^{-\beta t},$$

где $p(t)$ — вероятность того, что по истечении времени t поступившая потребителю информация не устарела; β — показатель старения. Величину $p(t)$ можно принять за уровень достоверности информации, а $(1 - p(t))$ — за уровень ее недостоверности. Показатель β зависит от динамики изменения состояния объекта или процесса, который наблюдается. В связи с этим различают группировки КА для планово-периодического наблюдения (для относительно мало изменяющихся процессов) и группировки КА для оперативного наблюдения (для быстропротекающих процессов).

Существуют различные методы повышения оперативности наблюдения и доставки информации. К ним относятся: увеличение числа пунктов приема информации (ППИ) и равномерное их территориальное распределение, использование для доставки информации спутников-ретрансляторов, совмещение во времени при пролете над ППИ режимов наблюдения и передачи информации на ППИ, увеличение количества КА в группировке. Рассмотрим последний из методов.

Интервал времени $[0, \infty)$ изменения $p(t)$ можно разбить на два участка — участок быстрого изменения $p(t)$ и участок, на котором $p(t)$ приближается к оси абсцисс и изменяется незначительно. Можно полагать, что если время задержки соответствует второму участку, то потребитель получит информацию с довольно значительным уровнем недостоверности. Предположим, что по истечении времени T_{dz} полученную информацию с вероятностью $1 - p_{dz}$, где $p_{dz} = p(T_{dz})$, можно рассматривать как дезинформацию. Отсюда

$$p_{dz} = e^{-\beta T_{dz}} \text{ и } \beta = -\ln p_{dz} / T_{dz}.$$

Оценим допустимое время задержки для случая, когда потребителю необходима информация, уровень достоверности которой не ниже

$$p_{dop}. \text{ Из уравнения } p_{dop} = e^{-\frac{\ln p_{dz}}{T_{dz}} \cdot t_{dop}} \text{ получим}$$

$$t_{dop} = \frac{\ln p_{dop}}{\ln p_{dz}} \cdot T_{dz}.$$

За время наблюдения за процессом (T_{dz}) число циклов доставки, которое обеспечивает заданный уровень достоверности, равно

$$n = \frac{T_{dz}}{t_{dop}} = \frac{\ln p_{dz}}{\ln p_{dop}}.$$

Рассмотрим пример. Пусть требуется контролировать экологическую обстановку в весенний период, например, в районах разлива рек. В качестве интервала наблюдения примем интервал продолжительностью в одну неделю (7 сут).

Если потребитель получит информацию о паводке через неделю с момента последнего его наблюдения и информация будет на 30 % не соответствовать действительности, то уровень ее старения $\beta_1 = -\ln(0,7)/7$ или $\beta_1 = 0,051$.

Оценим теперь периодичность и число циклов доставки информации потребителю, если требуемый уровень достоверности получаемой информации должен быть не ниже $p_{dop} = 0,95$. В этом случае, если принять $T_{dz} = 7$, получим $t_{dop} = 1,007$, $n = 6,951$.

Таким образом, для достижения требуемого уровня достоверности информация должна обновляться один раз в сутки. Для этого достаточно иметь один низкоорбитальный КА.

В случае если наводнение угрожает затопить густонаселенные районы или прорвать плотину, необходимо обеспечить наблюдение за процессом с более высоким уровнем старения, т. е. более быстро протекающим процессом. Если принять, что по истечении 7 дней мы потеряем 50 % информации, то уровень старения $\beta_2 = -\ln(0,5)/7$ или $\beta_2 = 0,099$. В этом случае $t_{dop} = 0,518$, $n = 13,514$. Для наблюдения за этим процессом система должна включать два низкоорбитальных КА ДЗЗ.

При наличии на орбите кластера МКА ДЗЗ существующая парадигма планирования их работы состоит в составлении расписания функционирования КА в наземных условиях, при этом наибольшим приоритетом, с точки зрения оперативности, обладают быстропротекающие процессы. Перечень и порядок съемки целей для каждого КА определяется и задается с Земли.

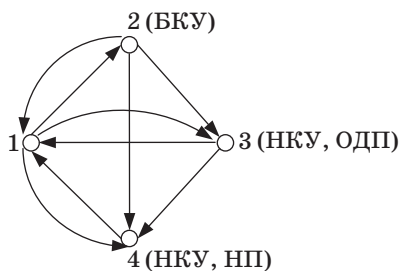
Перспективным направлением в вопросах планирования работы малых КА является применение мультиагентных технологий и технологий представления и обработки знаний [1–6]. Здесь с каждым КА и с каждой целью связывается программа-агент, которая представляет соответствующий КА или цель в интеллектуальной среде и «действует» от их имени. КА-агенты ассоциируются с возможностями орбитальной группировки КА, а агенты-цели — с потребностями или заказами на информацию зондирования. В результате появляется возможность построить

в реальном масштабе времени глобально распределенную в космическом пространстве виртуальную сеть потребностей и возможностей (ПВ-сеть [8]). Связи между КА-агентами могут устанавливаться в результате переговорного процесса. В базе знаний каждого КА хранится список целей, передаваемый с Земли, с их координатами, приоритетами и показателями старения. Если приоритеты не задаются, то показатели старения могут использоваться для определения приоритетности зондирования целей. Каждый КА-агент «знает» координаты других КА. Все это дает возможность планировать в бортовых условиях работу каждого из КА по целям в соответствии с установленными приоритетами. Таким образом, задача целеуказаний в значительной своей части может быть возложена непосредственно на кластер. Рассмотренная парадигма является важным элементом «встроенной самоорганизации», которая реализуется автономно в бортовых условиях. Для случая, когда группировка малых КА представляет собой плотно расположенную в пространстве «стаю» КА-агентов, это дает возможность задействовать значительную часть КА на зондирование кратковременных быстропротекающих процессов.

Вероятности состояний отдельных элементов кластера МКА в процессе функционирования

В процессе функционирования каждый МКА в кластере может находиться в различных состояниях. Выделим четыре основных состояния: 1 — состояние работоспособности МКА; 2 — состояние восстановления работоспособности МКА средствами бортового комплекса управления (БКУ); 3 — состояние восстановления работоспособности МКА средствами наземного контура управления (НКУ) с нахождением МКА в режиме ориентированного дежурного полета (ОДП); 4 — состояние восстановления работоспособности МКА средствами НКУ с нахождением МКА в режиме неориентированного полета (НП).

Граф переходных вероятностей состояний МКА представлен на рис. 1.



■ Рис. 1. Граф переходных вероятностей состояний МКА

Уравнения Колмогорова для переходных вероятностей имеют вид

$$\frac{dp1(t)}{dt} = \lambda_{21}p2(t) + \lambda_{31}p3(t) + \lambda_{41}p4(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14})p1(t);$$

$$\frac{dp2(t)}{dt} = \lambda_{12}p1(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24})p2(t);$$

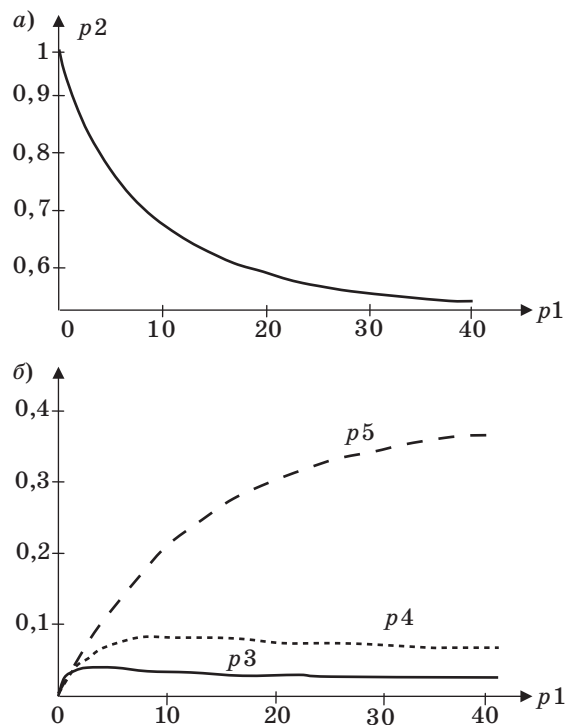
$$\frac{dp3(t)}{dt} = \lambda_{23}p2(t) + \lambda_{13}p1(t) - (\lambda_{31} + \lambda_{34})p3(t);$$

$$\frac{dp4(t)}{dt} = \lambda_{14}p1(t) + \lambda_{24}p2(t) + \lambda_{34}p3(t) - \lambda_{41}p4(t).$$

Здесь $p1(t)$, $p2(t)$, $p3(t)$, $p4(t)$ — вероятности нахождения МКА соответственно в состояниях 1, 2, 3, 4; λ_{ij} — интенсивность перехода МКА из состояния i в состояние j ($i, j = 1, 2, 3, 4$).

В качестве примера приводятся графики (рис. 2, а, б) решения системы дифференциальных уравнений для значений интенсивностей переходов: $\lambda_{12} = 0,05$, $\lambda_{21} = 1,0$, $\lambda_{23} = 0,01$, $\lambda_{24} = 0,01$, $\lambda_{31} = 0,2$, $\lambda_{13} = 0,03$, $\lambda_{34} = 0,05$, $\lambda_{41} = 0,05$, $\lambda_{14} = 0,03$ и начальных условий: $p1(0) = 1$, $p2(0) = 0$, $p3(0) = 0$, $p4(0) = 0$.

Расчеты выполнены путем численного интегрирования системы дифференциальных уравне-



■ Рис. 2. Графики изменения переходных вероятностей: а — в состоянии работоспособности МКА; б — в различных состояниях восстановления работоспособности МКА

ний в пакете MathCad методом Рунге–Кутты для интервала $t \in [0, 10]$ с шагом $\Delta t = 0,2$.

Стационарные вероятности состояний МКА

Представляет интерес получение конечных зависимостей для стационарных вероятностей нахождения КА в рассматриваемых состояниях ($t \rightarrow \infty$).

Приравняем правые части дифференциальных уравнений к нулю:

$$\lambda_{21}p_2 + \lambda_{31}p_3 + \lambda_{41}p_4 - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14})p_1 = 0;$$

$$\lambda_{12}p_1 - (\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24})p_2 = 0;$$

$$\lambda_{23}p_2 + \lambda_{13}p_1 - (\lambda_{31} + \lambda_{34})p_3 = 0;$$

$$\lambda_{14}p_1 + \lambda_{24}p_2 + \lambda_{34}p_3 - \lambda_{41}p_4 = 0.$$

К этим уравнениям в качестве условия нормировки добавим пятое уравнение

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = 1.$$

Решение системы уравнений позволяет получить конечные формулы для стационарных вероятностей состояний КА, выраженных через интенсивности переходов системы из состояния в состояние:

$$p_1 = \frac{ab}{1 + b(1 + a + e)}; \quad p_2 = \frac{b}{1 + b(1 + a + e)};$$

$$p_3 = \frac{1}{1 + b(1 + a + e)}; \quad p_4 = \frac{be}{1 + b(1 + a + e)},$$

где

$$a = \frac{\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{24}}{\lambda_{12}}; \quad b = \frac{\lambda_{31} + \lambda_{34}}{\lambda_{23} + a\lambda_{13}};$$

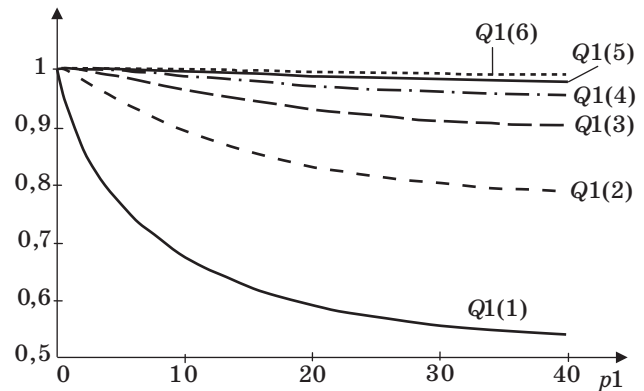
$$c = [\lambda_{21} - (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14})a]b + \lambda_{13};$$

$$e = \frac{\lambda_{14}a + \lambda_{24}}{\lambda_{34} + \lambda_{41} + \lambda_{41}}.$$

Для приведенных выше интенсивностей переходов получим стационарные вероятности: $p_1 = 0,526$, $p_2 = 0,026$, $p_3 = 0,064$, $p_4 = 0,385$.

Оценка работоспособности системы из нескольких МКА

Выше выведены соотношения для определения вероятностей нахождения отдельного МКА в различных состояниях. Из приведенных мате-



■ Рис. 3. Надежность кластеров МКА, включающих от 1 до 6 МКА

риалов следует, что вероятность того, что какой-то объект на поверхности Земли может быть снят одиночным МКА, равна $p_1(t)$. Представляет интерес оценка вероятности съёмки объекта не одним МКА, а кластером, включающим n однотипных МКА. В этом случае отказ одного из МКА не влечет отказ всего кластера, так как кластер сохраняет работоспособность до тех пор, пока функционирует хотя бы один из МКА. Здесь можно воспользоваться расчетом надежности системы, состоящей из n параллельных элементов, каждый из которых имеет надежность $p_1(t)$ [9].

Вероятность отказа одного i -го МКА равна $g_i(t) = p_2(t) + p_3(t) + p_4(t)$, вероятность одновременного отказа всех элементов кластера, состоящего из n однотипных элементов: $Q(t) = (p_2(t) + p_3(t) + p_4(t))^n$. Надежность кластера равна $Q_1(t) = 1 - Q(t)$.

Значения надежности для кластеров, включающих от 1 до 6 МКА, показаны на графиках (рис. 3).

Заключение

Приведенный гипотетический пример показывает, что при достаточно низкой надежности одиночного МКА применение кластера из параллельно функционирующих МКА позволяет значительно повысить надежность системы. В рассматриваемом случае при стационарной вероятности $p_1 = 0,526$ безотказной работы одного МКА формирование кластера, состоящего из 6 МКА, позволяет довести вероятность безотказной работы системы до 0,99.

Приведенные выше модели позволяют решать большое количество задач, связанных с формированием кластеров МКА ДЗЗ, задач планирования и управления групповыми операциями, выполняемыми кластером МКА.

Литература

1. Скобелев П. О., Соллогуб А. В., Иващенко А. В., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Решение задач дистанционного зондирования Земли с применением мультиагентных технологий // Вестник Самарского государственного технического университета. 2010. № 7(28). С. 47–54.
2. Скобелев П. О., Соллогуб А. В., Иващенко А. В., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Мультиагентные системы для исследования методов взаимодействия космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Перспективные информационные технологии для авиации и космоса (ПИТ-2010): тр. Междунар. конф. с элементами научной школы для молодежи. Самара: СГАУ, 2010. С. 226–230.
3. Скобелев П. О., Соллогуб А. В., Иващенко А. В., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Мультиагентные технологии в задачах дистанционного зондирования Земли // Тр. XIII Междунар. конф. по проблемам управления и моделирования в сложных системах / Сам. НЦ РАН, ИПУСС РАН. Самара, 2011. С. 426–434.
4. Соллогуб А. В., Симонова Е. В., Степанов М. Е. Применение мультиагентной системы коллективного управления группировкой малоразмерных космических аппаратов при решении задач дистанционного зондирования Земли // Управление большими системами-2011 (УБС'2011): тр. Междунар. науч.-практ. конф. / ИПУ РАН. М., 2011. Т. 3. С. 259–262.
5. Соллогуб А. В., Скобелев П. О., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Модели для решения сетевых задач планирования и управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов // Информационно-управляющие системы. 2012. № 1(56). С. 33–38.
6. Соллогуб А. В., Скобелев П. О., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Проблемы автономного согласованного межспутникового взаимодействия в гетерогенных мультиагентных системах МКА ДЗЗ // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2012. № 4. С. 65–70.
7. Ахметов Р. Н. Управление живучестью космических аппаратов // Полет. 2006. № 9. С. 16–20.
8. Виттих В. А., Скобелев П. О. Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // Автоматика и телемеханика. 2003. № 1. С. 177–185.
9. Васильев А. И. Основы надежности транспортных сооружений: учеб. пособие. — М.: МАДИ, 2008. — 46 с.

УДК 004.94

ЭФФЕКТИВНЫЕ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ УПАКОВКИ

В. А. Чеканин,

канд. техн. наук, доцент

А. В. Чеканин,

доктор техн. наук, профессор

Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Описана NP-полная задача ортогональной упаковки объектов произвольной размерности в общем виде. Предлагается новая модель «виртуальные объекты» представления ортогональных объектов в контейнерах. Разработан унифицированный декодер строки размещения. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова — задача ортогональной упаковки, распределение ресурсов, модель представления объектов, декодер, вычислительный эксперимент.

Введение

Решение задачи ортогональной упаковки имеет широкий спектр применения в различных сферах экономической деятельности, что объясняет повышенный интерес исследователей к совершенствованию методов оптимального распределения ортогональных ресурсов.

Сложность решения задачи упаковки обусловлена ее принадлежностью к классу NP-полных задач [1]. Практическое применение методов решения задач упаковки, использующих полный перебор вариантов, оказывается неэффективным из-за больших затрат временных ресурсов. Работы многих исследователей посвящены разработке эвристических методов оптимизации решения задачи упаковки, представленного в виде последовательности подачи объектов к размещению. Большую роль играет выбор эффективного способа конструирования упаковки при решении задач ортогональной упаковки различной размерности.

Постановка задачи упаковки

В общем виде задача ортогональной упаковки объектов размерности D описывается следующим образом: имеются набор N ортогональных контейнеров (D -мерных параллелепипедов) с габаритными размерами $\{W_j^1, W_j^2, \dots, W_j^D\}$, $j = 1, \dots, N$ и набор n ортогональных объектов (D -мерных

параллелепипедов) с габаритными размерами $\{w_i^1, w_i^2, \dots, w_i^D\}$, $i = 1, \dots, n$. Обозначим положение объекта i в j -м контейнере следующим образом: $(x_{ij}^1; x_{ij}^2; \dots; x_{ij}^D)$. Необходимо разместить все объекты в минимальном числе контейнеров при выполнении следующих условий:

1) ребра размещенных в контейнере ортогональных объектов параллельны ребрам этого контейнера;

2) упакованные объекты не перекрывают друг друга, т. е.

$$\forall j = 1 \dots N, \forall d = 1, \dots, D, \forall i, k = 1, \dots, n, i \neq k$$

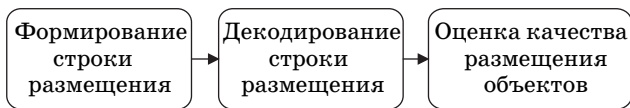
$$(x_{ij}^d \geq x_{kj}^d + w_k^d) \vee (x_{kj}^d \geq x_{ij}^d + w_i^d);$$

3) упакованные объекты не выходят за границы контейнеров, т. е.

$$\forall j = 1 \dots N, \forall d = 1, \dots, D; \forall i = 1, \dots, n$$

$$(x_{ij}^d \geq 0) \wedge (x_{ij}^d + w_i^d \leq W_j^d).$$

Решение задачи упаковки объектов произвольной размерности может быть закодировано строкой размещения, содержащей последовательность выбора размещаемых объектов. Каждый размещаемый объект i в строке размещения описывается кортежем $c_i = \langle i, b_i \rangle$, где b_i — номер варианта ориентации этого объекта в пространстве контейнера.



■ Рис. 1. Процесс решения задачи упаковки

Процесс решения задачи упаковки можно представить в виде схемы (рис. 1).

Формирование решений, как правило, осуществляется с помощью алгоритмов многокритериальной оптимизации, например, эволюционных алгоритмов [2, 3]. Конструирование упаковки по заданной в строке размещения последовательности объектов выполняется блоком декодирования. Для оценки качества полученной упаковки используется целевая функция, в качестве которой предлагается отношение суммарного объема размещенных в контейнере объектов к объему V^* описанного вокруг полученной D -мерной упаковки D -мерного ортогонального контейнера:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^{n_t} \prod_{d=1}^D w_i^d}{V^*}, \quad (1)$$

где n_t — число размещенных в контейнере объектов. Наиболее плотной упаковке соответствует значение целевой функции, равное единице.

Модели представления объектов в контейнерах

Для решения задачи упаковки обычно используются блочная [4] и узловая [5] модели представления объектов. В узловой модели выполняется присоединение объектов к особым точкам, расположенным в пространстве контейнера, называемым узлами. Каждый узел описывается кортежем

$$U_k = \langle \mathbf{X}_k, a, b \rangle, \quad (2)$$

где k — номер узла; $\mathbf{X}_k = \{x_k^1, x_k^2, \dots, x_k^D\}$ — вектор, описывающий положение этого узла в D -мерном ортогональном контейнере; a — присоединенный к узлу k ортогональный объект; b — вариант ориентации этого объекта в контейнере. Присоединение объектов возможно только к так называемым свободным узлам (т. е. не содержащим присоединенные объекты).

Разработанная авторами модель «виртуальные объекты» является производной от узловой модели. В этой модели все узлы содержат дополнительную информацию о наибольших габаритах ортогональных объектов, которые могут быть присоединены к узлам (так называемых виртуальных объектов). Каждый узел контейнера описывается кортежем

$$U_k^* = \langle \mathbf{X}_k, \mathbf{P}_k, a, b \rangle, \quad (3)$$

где $\mathbf{P}_k = \{p_k^1, p_k^2, \dots, p_k^D\}$ — вектор, описывающий виртуальный объект узла и содержащий габаритные размеры ортогонального объекта наибольшего объема, который может быть присоединен к узлу k без перекрытий с размещенными в контейнере объектами и выхода за границы контейнера. Например, при размещении в точке $\{0, 0\}$ пустого двухмерного контейнера с габаритными размерами $L \times W$ прямоугольника с габаритными размерами $l \times w$ в его углах формируются новые узлы, содержащие виртуальные объекты, описываемые векторами $\mathbf{P} = \{L - l; W\}$, $\mathbf{P} = \{L - l; W - w\}$ и $\mathbf{P} = \{L; W - w\}$.

Декодирование строки решения и конструирование упаковки выполняет декодер. Разработанный унифицированный декодер размещения может быть применен при декодировании любой строки, содержащей последовательность размещаемых ортогональных объектов произвольной размерности при использовании узловых и производных от нее моделей представления объектов в контейнерах.

Алгоритм работы декодера размещения.

1. Выбрать очередной объект i из строки размещения. Выбрать первый контейнер j , содержащий, как минимум, один свободный узел. Если выбраны все объекты, выполнить переход к п. 4.

2. Произвести последовательный поиск свободного узла k текущего контейнера j , к которому возможно присоединить текущий объект i (для модели «виртуальные объекты» должно выполняться условие $w_i^d \leq p_k^d \forall d = 1, \dots, D$). Если искомым узел не найден, выполнить переход к следующему контейнеру $j: = j + 1$ и повтор п. 2. Если среди всех контейнеров не найден искомым узел, выполнить переход к п. 1.

3. Присоединить объект i к найденному узлу k контейнера j . Образовать в углах размещенного объекта новые узлы контейнера и определить векторы их виртуальных объектов. Выполнить сортировку узлов контейнера в порядке убывания приоритета присоединения к ним объектов, т. е. для любого узла k контейнера j должно выполняться следующее неравенство:

$$\sum_{h=1}^D \left(x_k^h \prod_{d=h+1}^D w_j^d \right) \leq \sum_{h=1}^D \left(x_{k+1}^h \prod_{d=h+1}^D w_j^d \right).$$

Выполнить переход к п. 1.

4. Завершить работу декодера.

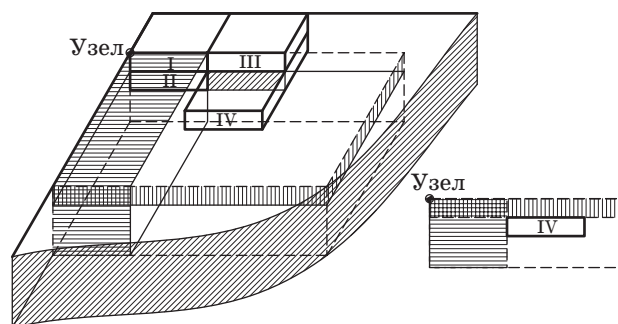
Описанный алгоритм размещения объектов позволяет динамически заполнять контейнеры объектами в порядке, определяемом положением узлов контейнеров. Декодер при размещении объектов учитывает все свободные области контей-

нера и размещает новые объекты максимально близко к основанию контейнера благодаря упорядочиванию узлов после добавления каждого объекта в контейнер.

Реализация модели «виртуальные объекты» при размещении заданной последовательности объектов в одном контейнере представлена в виде блок-схемы (рис. 2).

Использование модели «виртуальные объекты» позволяет повысить скорость размещения объектов за счет оптимизации процедуры определения возможности присоединить объект к узлу, поскольку вместо проверки на перекрытие со всеми размещенными в контейнере объектами необходимо выполнить единственную проверку нахождения размещаемого объекта целиком внутри виртуального объекта узла k , к которому он присоединяется: $(w_k^d \leq p_k^d) \forall d = 1, \dots, D$.

При решении задач упаковки объектов размерности выше двух возможно возникновение неоднозначности в определении габаритов виртуального объекта узла. Пример такой неоднозначности, которая возникла после размещения в контейнере объекта IV, в результате чего одному узлу могут соответствовать сразу два виртуальных объекта, приведен на рис. 3. При выборе для узла области, которую занимает один виртуальный объект, недоступной для размещения



- — виртуальный объект узла до размещения в контейнере объекта IV
- ==== — первый виртуальный объект узла после размещения в контейнере объекта IV
- ||||| — второй виртуальный объект узла после размещения в контейнере объекта IV

■ Рис. 3. Виртуальные объекты узла в трехмерном контейнере

становится другая область контейнера, которую занимает второй виртуальный объект, в результате чего в контейнере возможно образование локальных пустот.

Вычислительные эксперименты

Сравнение эффективности различных моделей представления объектов в контейнере проводилось при решении частной задачи трехмерной упаковки 90 параллелепипедов пяти различных видов, габариты которых приведены в таблице. Для каждой тестируемой модели представления объектов была проведена серия из 100 вычислительных экспериментов.

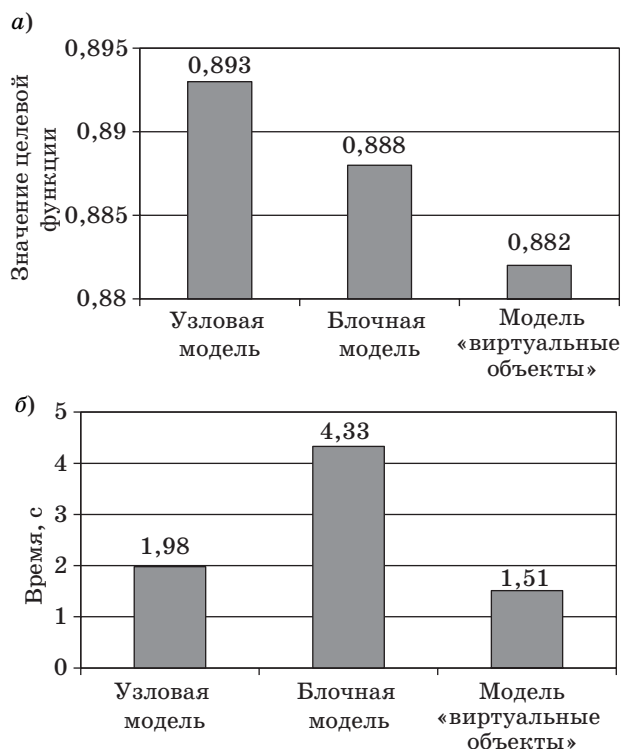
При решении задачи трехмерной упаковки объектов модель «виртуальные объекты» демонстрирует меньшую эффективность по качеству размещения объектов, что подтверждается проведенными вычислительными экспериментами: значение целевой функции решения ниже, чем при использовании узловой модели (рис. 4, а). Од-



■ Рис. 2. Алгоритм размещения объектов в модели «виртуальные объекты»

■ Параметры тестовой задачи трехмерной упаковки

| Наименование | Габариты | Количество |
|--------------|-------------|------------|
| Контейнеры | 300×100×100 | 1 |
| Объекты | 25×25×25 | 20 |
| | 25×30×25 | 20 |
| | 10×30×60 | 20 |
| | 45×30×60 | 10 |
| | 30×30×30 | 20 |



■ Рис. 4. Плотность (а) и время (б) размещения параллелепипедов при использовании различных моделей представления объектов

нако модель «виртуальные объекты» обеспечивает наивысшую среди прочих моделей скорость размещения ортогональных объектов в контейнерах (рис. 4, б).

Узловая модель и модель «виртуальные объекты» обеспечивают одинаковое качество размещения прямоугольников при решении задач двумерной упаковки, поэтому при решении задачи двумерной ортогональной упаковки наиболее эффективной является модель «виртуальные объекты», обеспечивающая наивысшую скорость размещения объектов (см. рис. 4, б). Однако при решении задач упаковки высших размерностей

целесообразно использовать узловую модель представления объектов.

Заключение

Предложена модель «виртуальные объекты», обеспечивающая наиболее быстрое размещение объектов среди всех известных моделей представления ортогональных объектов в контейнерах. Проведенные исследования показали, что при решении задачи двумерной ортогональной упаковки наиболее эффективной является модель «виртуальные объекты», а при конструировании ортогональной упаковки высшей размерности — узловая модель.

Литература

1. Gary M., Johnson D. Computers intractability: a guide to the theory of NP-completeness. — San Francisco: W. H. Freeman, 1979. — P. 124.
2. Чеканин В. А., Ковшов Е. Е., Хуэ Н. Н. Повышение эффективности эволюционных алгоритмов при решении оптимизационных задач упаковки объектов // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 3. С. 63–67.
3. Чеканин В. А., Ковшов Е. Е. Моделирование и оптимизация технологических операций в промышленном производстве на основе эволюционных алгоритмов // Технология машиностроения. 2010. № 3. С. 53–57.
4. Филиппова А. С. Моделирование эволюционных алгоритмов решения задач прямоугольной упаковки на базе технологии блочных структур // Информационные технологии. 2006. № 6. Приложение. — 32 с.
5. Чеканин В. А. Эффективное решение задачи двумерной контейнерной упаковки прямоугольных объектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 6. С. 35–39.

УДК 621.3

ПОИСК РЕКВИЗИТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ЛИЦ В БАЗАХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ DATA MINING

Н. И. Лиманова,

доктор техн. наук, профессор
Тольяттинский государственный университет

М. Н. Седов,

инженер-программист I категории
Мэрия городского округа Тольятти

При передаче данных от одного учреждения к другому возникает проблема персональной идентификации физических лиц, у которых частично или полностью не совпадают реквизиты. В работе оптимальный алгоритм идентификации, позволяющий выполнять поиск физических лиц в базе данных на основе нечеткого сравнения, представлен в виде процесса Data Mining. Алгоритм реализован на языке PL-SQL в СУБД Oracle 11g.

Ключевые слова — межведомственный информационный обмен, идентификация, нечеткое сравнение, поиск реквизитов физических лиц, функция интеллектуального сравнения, персональный идентификационный номер.

Введение

Для оптимального управления большими массивами данных, связанных с реквизитами физических лиц, необходимо обеспечивать централизованные регламенты хранения таких характеристик, как ФИО, дата рождения, адрес, паспортные данные и т. д. В последнее время различные ведомства — держатели локальных баз данных (БД) стремятся объединить массивы для упрощения и повышения качества работы. Но возникает проблема: как сопоставить реквизиты физических лиц из одной БД реквизитам в другой? На помощь приходит интеллектуальный алгоритм поиска физических лиц в БД, или идентификация реквизитов физических лиц.

Для удобства обработки данных каждому набору реквизитов в БД присваивается так называемый персональный идентификационный номер (ПИН) [1]. В случае обработки или передачи данных о физическом лице вся привязка осуществляется именно к этому ПИНу. В России, к сожалению, пока нет единой базы с реквизитами всех жителей, поэтому в разных ведомствах ведется свой отдельный реестр физических лиц и заводятся свои ПИНЫ. Проблема возникает при осуществлении обмена информацией о жителях между организациями, так как необходимо выполнить привязку входящих реквизитов к уже

имеющимся [2]. Для однозначной привязки необходимо провести интеллектуальный поиск физического лица в базе-приемнике, который должен учитывать множество факторов: и потенциальные ошибки при ручном вводе, и отсутствующие или устаревшие реквизиты, и т. п. Естественно предположить, что подобный поиск целесообразно реализовать в виде специализированного программного обеспечения [3].

В результате поиска решения описанной проблемы была найдена технология для построения и реализации процедуры идентификации физических лиц в БД — Data Mining [4].

Data Mining — мультидисциплинарная область, возникшая и развивающаяся на базе таких наук, как прикладная статистика, распознавание образов, искусственный интеллект, теория БД и др.

Данная технология хорошо подходит для реализации решения описанной проблемы межведомственного информационного обмена, так как позволяет сформировать алгоритм с встроенной системой принятия решений для повышения качества идентификации реквизитов физических лиц. Также инструменты этой технологии позволяют производить интеллектуальное сравнение двух наборов данных и выявление закономерностей в схожих данных для повышения качества поиска на основе нечеткого сравнения.

Представление алгоритма идентификации физических лиц в виде процесса Data Mining

Идентификация физических лиц в БД призвана решить одну из важнейших проблем при междомственном информационном обмене, возникающую в результате неимения единого ПИНа, — отсутствие однозначного соответствия физического лица с набором его основных реквизитов (ФИО, дата рождения, адрес и т. д.).

Проектирование алгоритма идентификации с учетом технологии Data Mining позволило создать самообучающуюся процедуру, работающую в автоматическом режиме.

В работе предложен алгоритм поиска, включающий следующие стадии: свободный поиск (в том числе валидацию) → прогностическое моделирование → анализ исключений.

Свободный поиск (Discovery). На этой стадии осуществляется исследование исходного набора данных в целях поиска скрытых закономерностей. Предварительные гипотезы относительно вида закономерностей здесь не определяются.

Применительно к рассматриваемой процедуре идентификации данная стадия реализована в виде расширенного поиска по запросу, возвращающему данные, отдаленно схожие с набором реквизитов искомого физического лица. Именно на этом этапе ищутся закономерности, позволяющие потом, при следующих идентификациях, применить найденное правило, что ускоряет весь процесс в десятки раз.

Прогностическое моделирование (Predictive Modeling). Вторая стадия использует результаты работы первой стадии. Здесь обнаруженные закономерности используются непосредственно для прогнозирования.

На данном этапе разработанный алгоритм идентификации аккумулирует так называемый «опыт прошлых идентификаций» и записывает его в специально отведенное место для использования в следующий раз.

Анализ исключений (forensic analysis). На третьей стадии анализируются исключения или аномалии, выявленные в найденных закономерностях. Действие, выполняемое на этой стадии, — выявление отклонений (deviation detection). Для выявления отклонений необходимо определить норму, которая рассчитывается на стадии свободного поиска.

На третьей стадии процедура идентификации удаляет из набора выявленных закономерностей все данные, полученные ошибочным путем. Например, некорректность и отсутствие некоторых реквизитов у физического лица может привести к выявлению ошибочной закономерности, которая в свою очередь при условии ее использова-

ния даст неверные выводы об идентификации подобных наборов данных. Поэтому в предложенном алгоритме заключительным этапом проводится именно третья стадия — анализ исключений.

Классификация технологических методов алгоритма

Все методы рассматриваемого алгоритма с учетом классификаций Data Mining [4] подразделяются на две большие группы по принципу работы с исходными обучающими данными:

1) непосредственное использование данных — проявляется на этапе прямой работы с выборками из БД и внесения необходимых изменений в наборы реквизитов физических лиц;

2) выявление и использование формализованных закономерностей, или дистилляция шаблонов — используется при нечетком поиске конкретного физического лица из множеств наборов данных, присутствующих в базе.

В разработанном алгоритме идентификации применяются оба вида технологических методов.

Предлагаемый алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 1, включает следующие этапы.

1. Определение списка полностью идентичных наборов реквизитов физических лиц.

Производится поиск физических лиц по прямому сравнению реквизитов.

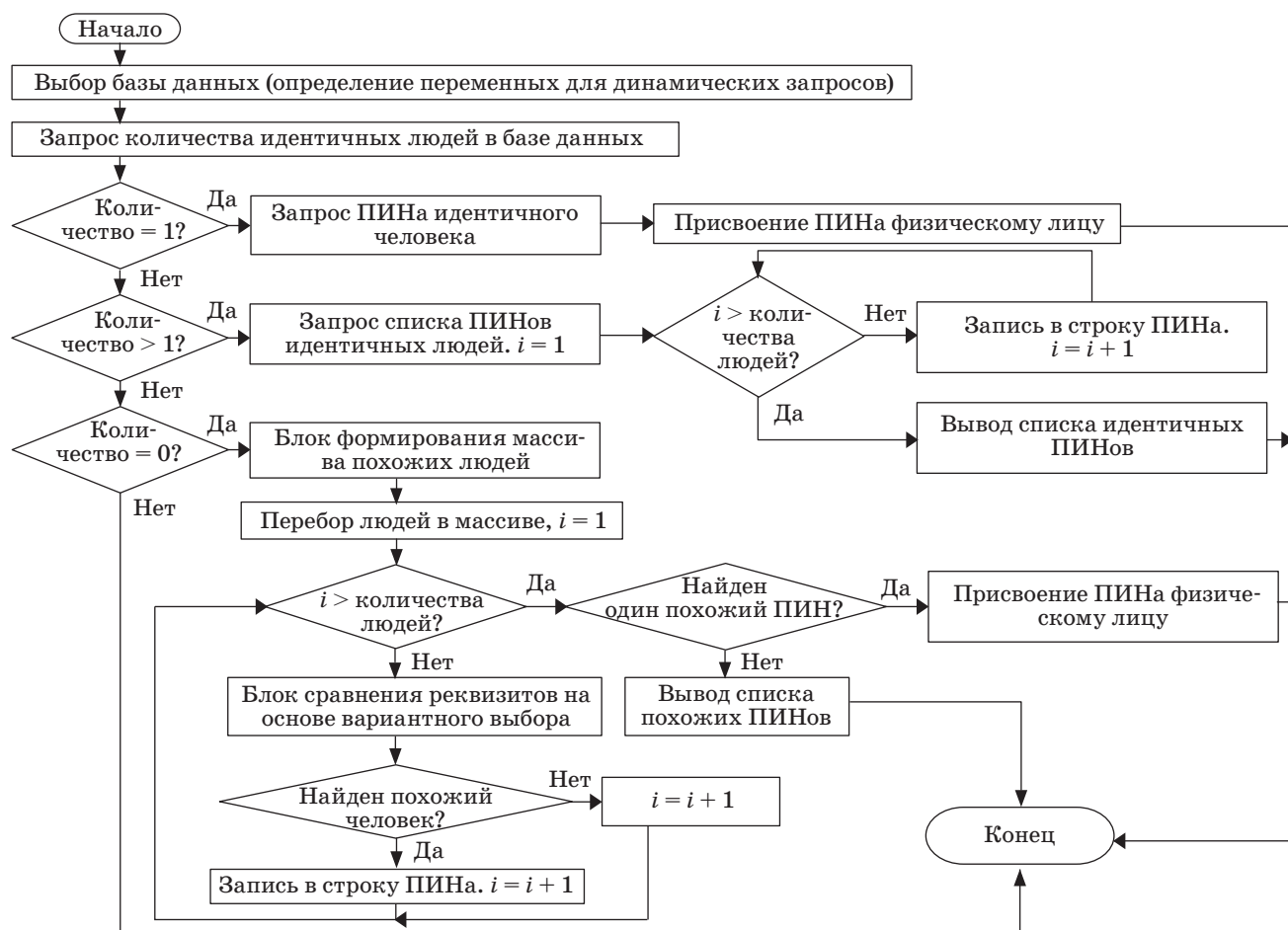
2. Подготовка данных для анализа.

В случае отсутствия реквизитов, полностью идентичных искомым, производится укрупненная выборка, включающая около 300–500 наборов, отдаленно похожих на искомым. Пример подобного запроса:

```
CURSOR persons
IS
SELECT p.person_id, p.lastname, p.firstname, p.patronymic, p.birthdate
FROM work.person p
WHERE (((SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(p.lastname)) =
SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(fo_Lastname)))
AND (SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(p.firstname)) =
SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(fo_Firstname))))
OR ((SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(p.lastname)) =
SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(fo_Lastname)))
AND (SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(p.patronymic)) =
SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(fo_Patronymic))))
OR ((SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(p.firstname)) =
SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(fo_Firstname)))
AND (SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(p.patronymic)) =
SOUNDEX(TO_TRANSPLIT(fo_Patronymic)))));
```

3. Вариантное сравнение похожих реквизитов.

Последовательный перебор массива похожих наборов и присвоение им моделей закономерностей. На этом этапе также производится выявление новых закономерностей.



■ Рис. 1. Укрупненный алгоритм поиска физических лиц в БД на основе нечеткого сравнения

4. Оцениваются и выбираются подходящие модели, наборы данных которых наиболее сравнимы с искомыми реквизитами.

5. В соответствии с выбранными моделями определяются наборы данных.

Ненайденные исходные наборы реквизитов выводятся в отчет для ручной отработки оператором.

6. На основе результатов ручной отработки корректируются хранимые модели для улучшения качества поиска в следующих сеансах идентификации.

В разработанной реализации алгоритма на языке PL-SQL СУБД Oracle 11g [5] ключевые функции отводятся логически выделенным процедурам COMPARISON_STRING и COMPARISON_NUMBER, которые позволяют проводить интеллектуальное сравнение двух похожих строк или чисел с учетом возможных неточностей или ошибок ввода. Данные процедуры могут применяться не только для идентификации реквизитов, но и везде, где требуется полнотекстовый поиск с нечетко заданными входными данными.

Технические и экономические показатели алгоритма

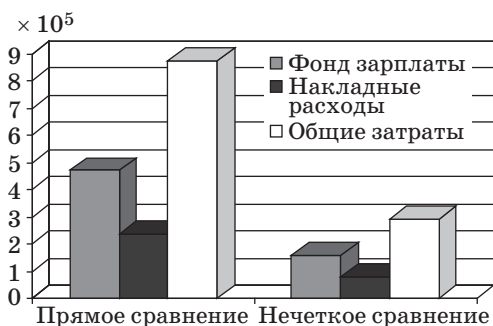
Для сравнительного анализа разработанного алгоритма рассмотрим технологию идентификации на основе прямого сравнения. При использовании данной технологии упор делается на скорость обработки записей, а не на качество принятия решения системой. В итоге, после окончания работы процедуры на основе прямого сравнения остается много данных (около 20–30 % от общего количества строк), не связанных с исходными, которые необходимо обрабатывать вручную, что крайне затруднительно при больших объемах обрабатываемых данных.

В качестве тестовой среды были выбраны сводные БД населения города с количеством записей ~ 800 0000, СУБД Oracle 11g, сервер HP ProLiant DL160 G6.

Рабочие показатели двух алгоритмов приведены в таблице.

Отсюда можно сделать вывод, что у разработанного алгоритма минимизирована работа опе-

| Показатель | Алгоритм | |
|---|-------------------|---------------------|
| | прямого сравнения | нечеткого сравнения |
| Скорость обработки данных, строк/ч | ~100 000 | ~80 000 |
| Точность идентификации (вероятность точного поиска реквизитов), % | ~80 | ~99,9 |



■ Рис. 2. Диаграмма для сравнительного анализа стоимостных показателей при использовании методов прямого и нечеткого сравнения

ратора по ручной отработке результатов, т. е. хотя скорость обработки несколько меньше, но алгоритм позволяет существенно разгрузить операторов за счет интеллектуальной системы принятия решений, чего не может предложить алгоритм прямого сравнения.

При сравнении экономических характеристик разработанного программного обеспечения на основе описываемого алгоритма с процедурой прямого сравнения для годового объема идентификации 1 200 000 физических лиц были получены следующие данные (рис. 2): трудовые затраты на обработку информации по методу нечеткого сравнения по сравнению с методом прямого сравнения уменьшены в 6,7 раза, абсолютное снижение трудовых затрат составило 1446 ч, годовые затраты при использовании метода нечеткого сравнения уменьшились в 3 раза по сравнению с аналогичным периодом применения метода прямого сравнения, а годовой экономический эффект превысил 580 тыс. р.

Заключение

Самообучающиеся системы позволяют освободить человеческие ресурсы для выполнения творческих задач. В этой области технология Data Mining предоставляет полный набор теоретических и практических средств для выбора, разработки или использования интеллектуальных компьютерных систем.

Рассмотренную в статье процедуру идентификации можно расценивать как часть системы под-

держки принятия решений. Процедура не требует вмешательства оператора, накапливает опыт и самообучается в процессе работы, позволяя тем самым полностью освободить специалистов от неэффективной ручной работы напрямую с наборами реквизитов физических лиц, хранящимися в БД. Данная процедура реализована на языке PL-SQL СУБД Oracle 11g и успешно функционирует с ноября 2007 г. в муниципальном учреждении «Тольяттинский городской информационный центр». Логическая структура разработанного алгоритма позволяет реализовать его на любом популярном языке программирования.

В перспективе данный алгоритм может быть внедрен в системы глобального объединения хранилищ государственных или коммерческих организаций для ведения единой БД населения любой страны мира. Масштабируемость алгоритма позволяет применять программные процедуры на его основе как в малых организациях, так и в крупных корпорациях, т. е. везде, где ведется и актуализируется реестр данных физических лиц. Возможные примеры использования: портал госуслуг, медицинские электронные системы, кадровые и бухгалтерские системы учета служащих, банковские системы хранения данных о клиентах и т. п.

Литература

1. **Положение** о персональном идентификационном номере граждан Российской Федерации, проживающих или пребывающих на территории Санкт-Петербурга. <http://iac.spb.ru/shablon.asp?subpage=171&id=40&dir=0> (дата обращения: 11.06.2012).
2. **Отчет** о выполнении научно-исследовательской, опытно-конструкторской работы «Разработка механизмов однозначной идентификации данных о физических лицах и объектах недвижимости, хранящихся в различных информационных системах органов государственной власти и местного самоуправления». http://www.nisse.ru/business/article/article_464.html (дата обращения: 11.06.2012).
3. **Международный фонд** автоматической идентификации. Технологии автоматической идентификации. <http://www.fond-ai.ru/art1/art223.html> (дата обращения: 11.06.2012).
4. **Чубукова И. А.** Data Mining: учеб. курс. Изд-во Интернет-университета информационных технологий, 2006. <http://www.intuit.ru/departement/database/datamining/> (дата обращения: 11.06.2012).
5. **Скотт У.** ORACLE 9i Программирование на языке PL/SQL: учеб. пособие. — М.: Лори, 2004. — 528 с.

УДК 004.056.5

КРИПТОГРАФИЧЕСКОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В. Д. Лернер¹,

начальник отдела информационно-коммуникационного обеспечения
ООО «Космос СПб», г. Санкт-Петербург

Рассматриваются современные системы многоуровневой защиты информации, приводятся ключевые достоинства систем и обосновываются их недостатки. На основе формируемых требований к таким системам предлагается комбинированный алгоритм для криптографического распределения ключей.

Ключевые слова — защита информации, иерархические системы, криптографическое распределение ключей.

Введение

Многоуровневая защита обеспечивает разграничение доступа субъектов с различными правами доступа к объектам различных уровней конфиденциальности [1].

Системы многоуровневой защиты предназначены для того, чтобы пользователи имели доступ только к тем частям автоматизированной системы обработки информации, на которые они имеют полномочия, и не могли получить доступ к другим частям автоматизированной системы.

Существуют различные формы разграничения доступа к информации в многоуровневых системах, но наиболее часто встречается модель, построенная по иерархическому принципу [2].

Иерархический доступ

Иерархическую модель графически можно представить в виде однонаправленного родового дерева [3]. Корень может иметь произвольное число подчиненных (порожденных) элементов, у каждого из которых может быть произвольное число подчиненных элементов более низкого уровня, и так далее для любого числа уровней. У такого дерева корень — администратор системы, имеющий доступ ко всей информации в системе; узлы — пользователи различных уровней иерархии, имеющие доступ к своей информации

¹ Научный руководитель — доктор технических наук, профессор, доцент кафедры комплексной защиты информации Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения С. В. Беззатеев.

и информации подчиненных им пользователей; листья — пользователи, имеющие доступ только к своей информации. Ветви дерева являются однонаправленными сверху вниз и показывают возможные пути доступа к информации в системе. Принципиальным для иерархии является то, что каждый элемент приобретает свой смысл только тогда, когда он рассматривается в своем контексте, т. е. подчиненный элемент не может существовать без своего предшественника по иерархии.

Существует три основных метода построения систем защиты информации с иерархическим доступом:

- 1) административное распределение ключей;
- 2) иерархическое шифрование;
- 3) криптографическое распределение ключей.

Подробный анализ вышеперечисленных методов приведен в работах [2, 4], здесь же следует отметить, что метод криптографического распределения ключей, которому посвящена предлагаемая работа, позволяет использовать для шифрования информации стандартные широко известные алгоритмы, например ГОСТ 28147-89, DES, AES.

Впервые постановка и решение задачи криптографического распределения ключей в иерархических системах была предложена Аклом (Akl) и Тэйлором (Taylor) в 1983 г. [5].

В качестве иерархической системы Akl и Taylor рассматривали информационную, коммуникационную систему с общим числом пользователей $|S|$, в которой пользователи $U_i, i \in S$ обладают разными полномочиями. Пользователи частично упорядочены отношением \subseteq , где $U_i \subseteq U_j$ означает, что пользователь U_j может иметь доступ к информа-

ции своего подчиненного U_i ; если обозначить операцию доступа символом R , то U_jRU_i . По определению, все пользователи системы подчинены администратору системы — пользователю U_0 , т. е. $U_i \subseteq U_0, \Rightarrow U_0RU_i, \forall i \in S \setminus \{0\}$. Администратор системы генерирует и раздает ключи всех пользователей системы $K_i, i \in S \setminus \{0\}$, а также выбирает симметричный алгоритм шифрования, который является единым алгоритмом шифрования для всех пользователей системы. Таким образом, каждый пользователь системы U_i шифрует собственную информацию, используя единый для всей системы алгоритм шифрования, выбранный администратором, и свой секретный ключ K_i .

Задача иерархического доступа к информации в такой системе сводится к генерированию таких ключей пользователей, которые бы позволяли осуществлять доступ к информации согласно полномочиям пользователей. Очевидно, что администратор, зная ключи всех пользователей системы, может дешифровать по известному алгоритму шифрования информацию любого пользователя системы, т. е. $U_0RU_i, i \in S \setminus \{0\}$.

Общий вид иерархической системы показан на рис. 1.

Введем следующие понятия, которые присущи родовому дереву [3]:

- 1) под отцами и сыновьями понимаются пользователи, которые стоят на соседних уровнях, и отец имеет доступ к информации сына;
- 2) под праотцами потомка U_i понимаются такие пользователи U_j , что U_jRU_i ;
- 3) пользователи, не имеющие сыновей, называются конечными пользователями;
- 4) под братьями понимаются пользователи, имеющие одного отца.

Каждому пользователю системы можно присвоить свой уникальный номер — идентификатор, который состоит из номеров праотцев всех предшествующих уровней (кроме 1-го) и своего номера (см. рис. 1).

Основные требования, предъявляемые к данному классу задач:

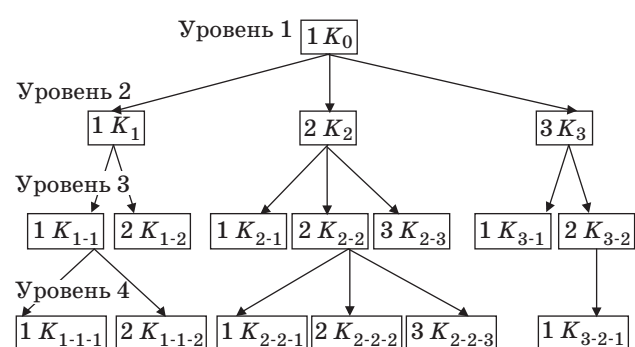


Рис. 1. Общий вид иерархической системы

1) пользователь системы должен иметь доступ к информации только согласно своим полномочиям;

2) коалиция пользователей не должна иметь доступ к информации не подчиненных им пользователей;

3) вычисление ключей пользователей на любом уровне не должно приводить к замедлению работы автоматизированной системы обработки информации;

4) система должна обеспечивать возможность увеличения как в глубину, так и в ширину, без перерасчета остальных параметров системы, т. е. при увеличении количества пользователей на любом уровне, кроме первого, не должен происходить пересчет ключей пользователей на остальных уровнях.

В данной статье не будет рассмотрен класс алгоритмов, которые для получения ключей используют либо выделенный сервер [6], либо смарт-карты [7].

Все существующие криптографические алгоритмы распределения ключей можно разделить на два класса:

1) алгоритмы «снизу-вверх», в которых либо открытый ключ, либо секретный ключ администратора содержит в себе ключи всех пользователей, начиная с самых нижних уровней;

2) алгоритмы «сверху-вниз», в которых ключ администратора не содержит в себе ключей потомков, но позволяет вычислить их по некоторому алгоритму.

Алгоритм Дж. Йеха и Р. Шьяма

Одним из последних алгоритмов класса «снизу-вверх», родоначальниками которого были Akl и Taylor [5], является алгоритм Дж. Йеха (J. Yeh) и Р. Шьяма (R. Shyam) [8].

Схема алгоритма заключается в следующем.

Администратор выбирает два больших простых секретных числа p и q и вычисляет $N = p \cdot q$ и $\phi(N) = (p - 1) \cdot (q - 1)$. Для каждого пользователя U_i выбирает простое число e_{U_i} , взаимнопростое с $\phi(N)$, затем вычисляет d_{U_i} такое, что $e_{U_i} \cdot d_{U_i} \equiv 1 \pmod{\phi(N)}$. Также администратор выбирает секретное число g , являющееся основанием по модулю N , а затем публикует только e_{U_1}, \dots, e_{U_s} и N и генерирует ключи для всех пользователей по следующей формуле:

$$K_j = g^{\prod_{U_i \subseteq U_j} d_{U_i}} \pmod{N},$$

т. е. аналогично всем подобным схемам в ключ отца U входят ключи d_{U_i} его потомков $U_i \subseteq U_j$ и его собственный ключ d_{U_j} .

Если пользователь U_i хочет вычислить ключ пользователя U_t , он применяет следующую формулу:

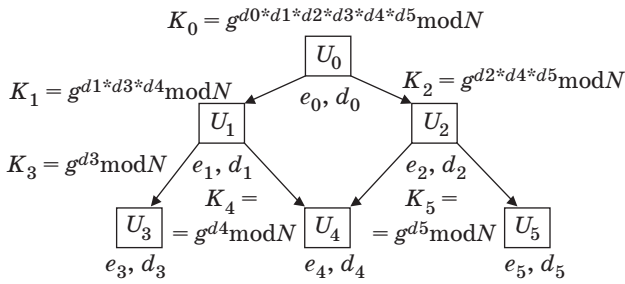


Рис. 2. Пример работы алгоритма J. Yeh и R. Shyam

$$K_t = K_i^{\prod_{U_j=U_i} e_{U_j}} \text{ mod } N,$$

т. е. возводит свой ключ в степень произведения своего открытого ключа и открытых ключей всех своих потомков, кроме открытого ключа e_t пользователя U_t . Справедливость и безопасность алгоритма доказана в работе [8].

Пример работы алгоритма для шести пользователей приведен на рис. 2.

Для вычисления ключа K_4 пользователь K_1 выполняет следующую операцию: $K_4 \equiv K_1^{e_1 * e_3} \text{ mod } N \equiv g^{(d1*d3*d4)*e1*e3} \text{ mod } N \equiv g^{d4} \text{ mod } N$.

Существенным недостатком данного метода распределения ключей является необходимость переконфигурировать различные части системы при добавлении хотя бы одного пользователя U_i . В этом случае следует создать новые d_{U_i} , и e_{U_i} и заново пересчитать все ключи прародителей пользователя U_i . Также при удалении пользователя U_i следует заново рассчитать все ключи прародителей пользователя U_i , что приводит к необходимости дешифровать всю ранее зашифрованную этими пользователями информацию и шифровать ее с новыми ключами, что является очень трудоемкой и небезопасной операцией.

Алгоритм Сандху

Второй подход к решению задач распределения ключей «сверху-вниз» в 1988 г. предложил Сандху (Sandhu) [9]. Идея алгоритма основывается на однонаправленных функциях, т. е. функциях, значения которых легко получить в одну сторону, но невозможно в обратную.

Стойкая хэш-функция должна обладать следующими свойствами:

1) односторонностью: пусть дано хэш-значение $H(M)$ некоторого неизвестного сообщения M . Тогда вычислительно невозможно определить M по имеющемуся $H(M)$;

2) стойкостью к коллизиям: пусть дано сообщение M и его хэш-значение $H(M)$. Тогда вычислительно невозможно (вычислительно сложно) подобрать $M' \neq M$ такое, что $H(M) = H(M')$;

3) строгой стойкостью к коллизии: вычислительно невозможно найти два произвольных различных сообщения M и M' , для которых $H(M) = H(M')$.

Для лобовой атаки на однонаправленные хэш-функции используют два метода. Первый направлен на взлом второго свойства, т. е. по значению хэш-функции $H(M)$ противник хочет создать другой документ M' , такой, что $H(M') = H(M)$. Другой метод направлен на взлом третьего свойства: противник хочет найти два случайных сообщения M и M' , таких, что $H(M) = H(M')$.

Подробный анализ взлома хэш-функций приведен в работе [10], здесь же оценим, насколько успешными на практике могут быть атаки, основанные на двух описанных выше методах. Пусть одна MIPS (Million Instruction Per Second) машина хэширует миллион сообщений в секунду. При таких условиях число хэш-значений, вычисленных одной MIPS-машиной за один год, составляет $L = 3,15 * 10^{13}$. Оценка вероятности взлома хэш-функции для двух рассмотренных методов атаки при различных значениях длины выходного хэш-значения приведена в табл. 1.

Из таблицы видно, что при одинаковой длине значения хэш-функции вероятность взлома первым методом намного ниже, чем при взломе хэш-функции вторым методом.

Таким образом, чтобы обеспечить требуемую вероятность устойчивости хэш-функции к взлому, необходимо использовать большую длину значения хэш-функции. Так, например, при требовании обеспечить вероятность взлома не более 10^{-30} , необходимо использовать не 128-битное, а 256-битное значение хэш-функции.

Также можно сделать вывод, что при одинаковой длине значения хэш-функции на ее взлом методом поиска документа $M' \neq M$, такого, что $H(M') = H(M)$, потребуется гораздо меньше времени, чем при взломе хэш-функции методом, основанном на парадоксе «дней рождений» [10].

Таким образом, чтобы обезопасить хэш-функцию от взлома на заданный интервал времени,

Таблица 1

| Длина хэш-значения, бит | Первый метод | | Второй метод | |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| | Вероятность взлома | Продолжительность взлома, MIPS-лет | Вероятность взлома | Продолжительность взлома, MIPS-лет |
| 64 | $1,08 \times 10^{-19}$ | 300 000 | $2,33 \times 10^{-10}$ | 1,19 ч |
| 128 | $5,88 \times 10^{-39}$ | $5,4 \times 1024$ | $5,42 \times 10^{-20}$ | 600 000 |
| 256 | $1,73 \times 10^{-77}$ | $1,8 \times 1063$ | $2,94 \times 10^{-39}$ | $1,1 \times 1025$ |
| 512 | $1,49 \times 10^{-154}$ | $2,1 \times 10 140$ | $8,64 \times 10^{-78}$ | $3,7 \times 1063$ |

необходимо использовать большую длину значения хэш-функции. Так, при требовании обеспечить стойкость к взлому хэш-функции в течение $1,1 \times 10^{25}$ MIPS-лет необходимо использовать не 128-битное, а 256-битное значение хэш-функции.

Российский стандарт хэш-функции ГОСТ Р 34.11-94 использует 256-битное значение хэш-функции, что позволяет утверждать, что при современных вычислительных мощностях его компрометация вычислительно невозможна. Другими словами, для взлома хэш-функции ГОСТ Р 34.11-94 вторым, более эффективным методом потребуются $1,1 \times 10^{25}$ MIPS-лет.

Алгоритм Хвона

В 1999 г. Хвонг (Hwang) предложил схему распределения ключей для частично-упорядоченной иерархии. Алгоритм состоит из двух частей: вычисления секретного ключа на основе ключей потомков и получения из секретного ключа открытого ключа при помощи симметричного алгоритма шифрования (вместо хэш-функции) и своего секретного ключа. Процедура генерирования ключей следующая:

1) администратор каждому пользователю присваивает уникальный секретный ключ K_i такой, что если $U_j R U_i$, то $K_j > K_i$, и безопасно распространяет их между пользователями;

2) администратор выбирает симметричный алгоритм шифрования $E_{k_i}(x)$, делая его открытым;

3) администратор вычисляет открытые ключи пользователей PD_i , у которых есть потомки K_{ij} , по следующему алгоритму:

$$SD_i = \sum_1^r K_{ij} K_i^{j-1},$$

где r — количество потомков пользователя U_i ;

$$PD_i = E_{k_i}(SD_i).$$

Для вычисления ключей потомков пользователь должен выполнить следующую операцию по уровням дерева, пока не дойдет до требуемого уровня:

1) получить из открытого ключа закрытый ключ $SD_i = D_{k_i}(PD_i)$;

2) вычислить K_{ij} по формуле

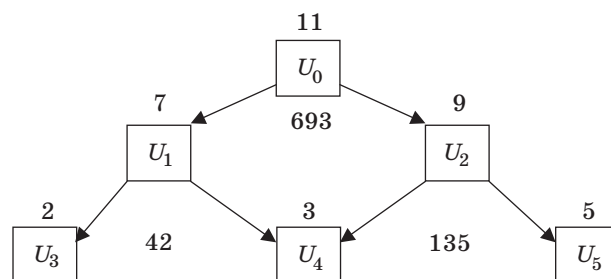
$$K_{ij} = \lfloor SD_i / K_i^{j-1} \rfloor \bmod K_i,$$

где $\lfloor \rfloor$ — округление вниз до целого. Справедливость формулы доказана [11].

Пример работы алгоритма для шести пользователей приведен на рис. 3, где над пользователями указаны K_i , а под ними — SD_i .

Можно отметить следующие недостатки данного метода:

1) уменьшение размеров секретных ключей в зависимости от уровня иерархии;



■ Рис. 3. Пример работы алгоритма Hwang

2) большие размеры открытых ключей пользователей, т. е. необходимость проводить вычисления с очень большими числами;

3) для получения ключа пользователя на 5 уровней ниже необходимо 5 раз выполнить симметричный алгоритм дешифрования, что снижает производительность системы по сравнению с предыдущими алгоритмами.

К достоинствам данного метода следует отнести малые размеры секретных ключей, возможность изменения структуры иерархии без переконфигурирования ключей системы, а также применимость во всех иерархических структурах.

Комбинированный алгоритм

До сих пор предлагаемые системы криптографического распределения ключей при одинаковой криптостойкости алгоритмов удовлетворяли либо третьему, либо четвертому требованию, предъявляемому к данному классу алгоритмов (см. выше). Поэтому комбинированный метод распределения ключей, позволяющий эффективно вычислять ключи пользователей, а также модифицировать систему, является актуальной задачей для систем, построенных по иерархическому принципу.

Для решения этой задачи в представленном комбинированном алгоритме [12] используется неопределенность, возникающая при целочисленном делении [13], которая определяется задачей поиска подходящего остатка при известном делителе и частном. Очевидно, что объем перебора значительно снижается при возможности коалиционной атаки и при этом существенно зависит от числа участников коалиции.

Схема генерирования и распределения ключей

1. Администратор системы выбирает случайное большое секретное число K_0 . По мере возникновения 2-го уровня иерархического дерева администратор для пользователей U_1, U_2, \dots, U_Q генерирует Q открытых ключей T_1, T_2, \dots, T_Q , представляющих собой числа одного порядка, мень-

шего, чем K_0 , и вычисляет Q секретных ключей K_1, K_2, \dots, K_Q по следующему алгоритму:

а) администратор целочисленно делит секретный ключ K_0 на открытые ключи T_1, T_2, \dots, T_Q и вычисляет Q частных S_1, S_2, \dots, S_Q и Q остатков R_1, R_2, \dots, R_Q :

$$S_1 = K_0 \text{div} T_1, S_2 = K_0 \text{div} T_2, \dots, S_Q = K_0 \text{div} T_Q,$$

где div — операция деления без остатка;

$$R_1 = K_0 - S_1 * T_1,$$

$$R_2 = K_0 - S_2 * T_2, \dots, R_Q = K_0 - S_Q * T_Q;$$

б) администратор вычисляет ключи для пользователей 2-го уровня:

$$K_1 = S_1 * R_1, K_2 = S_2 * R_2, \dots, K_Q = S_Q * R_Q.$$

2. Администратор для братьев вычисляет ключ группы $K_{0\text{гр}}$, для чего генерирует Q открытых ключей группы $T_{10}, T_{20}, \dots, T_{Q0}$ так, чтобы выполнялось условие $K_{0\text{гр}} = K_1 \text{div} T_{10} = K_2 \text{div} T_{20} = \dots = K_Q \text{div} T_{Q0}$.

3. По мере возникновения 3-го уровня иерархического дерева администратор для пользователей 3-го уровня выполняет операции по п. 1 и 2, где вместо своего секретного ключа K_0 использует секретные ключи отцов пользователей 3-го уровня (ключи K_1, K_2, \dots, K_Q). Аналогичные операции администратор выполняет при возникновении остальных уровней системы.

4. При добавлении нового подчиненного U_y на любой уровень, кроме первого, администратор выполняет следующие операции:

а) вычисляет K_x — секретный ключ пользователя U_x , отца пользователя U_y :

$$K_x = (((K_0 \text{div} T_{xn} * R_{xn}) \text{div} T_{xn-1} * R_{xn-1}) \dots \text{div} T_{x1} * R_{x1}) \text{div} T_x * R_x,$$

где $T_{xn} \dots T_{x1}$ — открытые ключи потомков пользователя U_0 по иерархическому дереву до отца пользователя U_x ; $R_{xn} \dots R_{x1}$ — остатки, получаемые при целочисленном делении на соответствующие открытые ключи; T_x — открытый ключ пользователя U_x ; R_x — остаток, получаемый при целочисленном делении согласно вышеприведенной формуле на открытый ключ T_x ;

б) генерирует T_y — открытый ключ пользователя U_y ;

в) делит секретный ключ K_x , вычисленный по п. 4а, на открытый ключ T_y и вычисляет частное S_y и остаток R_y : $S_y = K_x \text{div} T_y, R_y = K_x - S_y * T_y$;

г) вычисляет ключ K_y : $K_y = S_y * R_y$.

Каждому пользователю системы можно присвоить свой уникальный номер — идентификатор, который состоит из номеров прародителей всех предшествующих уровней (кроме 1-го) и своего номера. Например, для схемы, изображенной

на рис. 4, распределение идентификаторов представлено в табл. 2, где символ «-» означает разделение номеров.

Пример работы алгоритма по распределению ключей для иерархической системы из 11 пользователей (см. рис. 4) приведен в табл. 3.

При добавлении пользователя U_{1-3} администратор формирует для него следующие значения согласно п. 4:

а) вычисляет ключ пользователя U_1 :

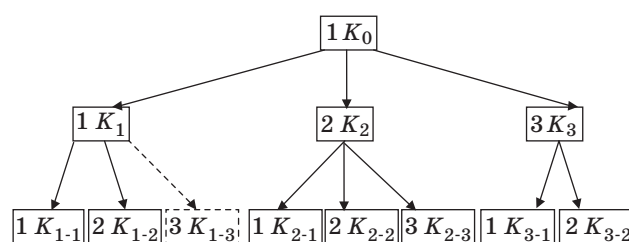
$$K_1 = (K_0 \text{div} T_1) * R_1 = (987\ 654\ 321 \text{div} 4234) * 1843 = 429\ 911\ 081;$$

б) генерирует:

$$T_{1-3} = 8237;$$

в) вычисляет:

$$S_{1-3} = K_1 \text{div} T_{1-3} = 429\ 911\ 081 \text{div} 8237 = 52\ 192,$$



■ Рис. 4. Пример иерархической системы из 11 пользователей

■ Таблица 2

| Уровень | Идентификаторы | | | | | | |
|---------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 0 | | | | | | |
| 2 | 1 | | 2 | | | 3 | |
| 3 | 1-1 | 1-2 | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 3-1 | 3-2 |

■ Таблица 3

| Пользователь | T | S | R | K | T _{гр} | R _{гр} | K _{гр} |
|------------------|------|---------|------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| U ₀ | - | - | - | 987 654 321 | - | - | - |
| U ₁ | 4234 | 233 267 | 1843 | 429 911 081 | 11 532 | 9653 | 37 279 |
| U ₂ | 4679 | 211 082 | 1643 | 346 807 726 | 9303 | 1189 | 37 279 |
| U ₃ | 5789 | 170 608 | 4609 | 786 332 272 | 21 093 | 6325 | 37 279 |
| U ₁₋₁ | 8974 | 47 906 | 2637 | 126 328 122 | 9975 | 4722 | 12 664 |
| U ₁₋₂ | 7563 | 56 843 | 7472 | 424 730 896 | 33 538 | 5664 | 12 664 |
| U ₂₋₁ | 6637 | 52 253 | 4565 | 238 534 945 | 10 281 | 5464 | 23 201 |
| U ₂₋₂ | 6323 | 54 848 | 3822 | 209 629 056 | 9035 | 8021 | 23 201 |
| U ₂₋₃ | 6237 | 55 604 | 5578 | 310 159 112 | 13 368 | 8144 | 23 201 |
| U ₃₋₁ | 4872 | 161 398 | 1216 | 196 259 968 | 9273 | 6196 | 21 164 |
| U ₃₋₂ | 4357 | 180 475 | 2697 | 486 741 075 | 22 998 | 11 403 | 21 164 |

■ Таблица 4

| Алгоритм | Время взлома, MIPS-лет | Размер ключей | Вычисление ключей | Применимость | Недостатки |
|-----------------|---|--|---|--|---|
| J. Yeh | Задача разложения больших чисел/ $3 \cdot 10^7$ | Секретных — $N = 1024$ Открытых — $L = 1024$ | Возведение в степень, умножение: $O(r \cdot l \cdot p \cdot \ln N) = O(69,3 \cdot l \cdot p)$ | В любых иерархических структурах | Невозможно расширение системы, трудоемкая операция возведения в степень |
| Хэш-функций | Стойкость хэш-функции/ $3,7 \cdot 10^3$ | Секретных — длина блока хэш-функции, $N = 512$ | Вычисление хэш столько раз, сколько уровней: $O(N \cdot p \cdot l) = O(512 \cdot p \cdot l)$ | В древовидных иерархических структурах | Вычисление хэш-функций столько раз, сколько уровней |
| Hwang | Алгоритм шифрования Triple DES/ 10^{18} | Секретных — $N = 128$ Открытых — неограничен, $L^r = 128^r$ | Деление и шифрование столько раз, сколько уровней, $n = 128^r/16$: $O(p \cdot l \cdot (n \cdot \ln n \cdot \ln \ln n)) = O(p \cdot l \cdot 2,58E^{22})$ | В любых иерархических структурах | Вычисление симметричного алгоритма столько раз, сколько уровней. Размер секретных ключей уменьшается в зависимости от уровня, открытых — растет |
| Комбинированный | Задача разложения больших чисел/ $3 \cdot 10^7$ | Секретных — $N = 1024$ Открытых — $L = 384$ | Деление и умножение столько раз, сколько уровней: $O(p \cdot 2 \cdot l \cdot (n \cdot \ln n \cdot \ln \ln n)) = O(p \cdot l \cdot 759) \quad n = N/16$ | В древовидных иерархических структурах. Ключи группы, уровня | Размер секретных ключей незначительно уменьшается в зависимости от уровня |

$$R_{1-3} = K_1 - S_{1-3} \cdot T_{1-3} = 429\,911\,081 - 8237 \cdot 52\,192 = 5577;$$

г) вычисляет:

$$K_{1-3} = S_{1-3} \cdot R_{1-3} = 52\,192 \cdot 5577 = 291\,074\,784.$$

Шифрование и дешифрирование

Шифрование и дешифрирование происходит по ключу субъекта, которому принадлежит объект (некая информация), при помощи блочного симметричного алгоритма (например, ГОСТ, DES, AES) [1].

Например, для пользователя U_{1-2} уровня 3 (см. рис. 4) администратор получает ключ пользователя следующим образом:

$$K_{1-2} = (((K_0 \text{ div } T_1) \cdot R_1) \text{ div } T_{1-2}) \cdot R_{1-2}.$$

$$1) K_0 \text{ div } T_1 = 987\,654\,321 \text{ div } 4234 = S_1 = 233\,267 \quad R_1 = 1843;$$

$$2) S_1 \cdot R_1 = 233\,267 \cdot 1843 = 429\,911\,081;$$

$$3) S_1 \cdot R_1 \text{ div } T_{1-2} = 429\,911\,081 \text{ div } 7563 = S_{1-2} = 56\,843 \quad R_{1-2} = 7472;$$

$$4) S_{1-2} \cdot R_{1-2} = 56\,843 \cdot 7472 = 424\,730\,896.$$

Таким образом, $K_{1-2} = 424\,730\,896$.

Сравнительный анализ вышеприведенных алгоритмов дан в табл. 4, где r — максимальное число непосредственных потомков одного пользователя, предположим, что их 10; l — количество уровней для вычисления ключей; p — простейшая операция с 32-разрядными числами, а для реализации симметричного алгоритма шифрования и хэш-функции требуется $N \cdot p$ операций, где N — длина ключа [14].

Заключение

Эффективный метод распределения ключей является актуальной задачей для современных компьютерных систем. Одной из областей применения данного метода могут являться системы с иерархическим доступом к информации. Так как основные требования, предъявляемые к данным системам, это возможность быстро получить ключ на любом уровне системы и безопасность системы, то предлагаемый комбинированный алгоритм удовлетворяет вышеуказанным требованиям.

Литература

1. Гостехкомиссия России. Руководящий документ. Средства вычислительной техники. Межсетевые экраны. Защита от несанкционированного доступа к информации. Показатели защищенности от несанкционированного доступа к информации. 1997.

http://www.fstec.ru/_docs/doc_3_3_006.htm (дата обращения: 10.05.2012).

2. Молчанов Г. А. Защита информации в системах с разграничением полномочий // Компьютерные системы. 1999. № 3. С. 25–27.

3. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ. — М.: Мир, 1976. Т. 1. — 729 с.
4. Kayem Anne V. D. M., Akl S. G., Martin P. Adaptive Cryptographic Access Control. — Springer, 2010. — 152 p.
5. Akl S.G., Taylor P. D. Cryptographic solution to a problem of access control in a hierarchy // ACM Transactions on Computer Systems. 1983. N 1(3). P. 239–248.
6. Chen H.-C., Wang S.-J., Wen J.-H. A Cryptographic Key Assignment Scheme with Adaptable Timetoken Constraint in a Hierarchy // Intern. J. of Multimedia Ubiquitous Engineering. Oct. 2008. Vol. 3. N 4. P. 521–526.
7. Bertino E., Shang N., Wagstaff Samuel S. Jr. An Efficient Time-Bound Hierarchical Key Management Scheme for Secure Broadcasting // IEEE Trans. on Dependable and Secure Computing. 2008. Vol. 5. N 2. P. 65–70.
8. Shyam R. An Efficient Time-Bound Hierarchical Key Assignment Scheme With a New Merge Function // A Performance Study. Dec. 2009. P. 26–35. http://scholarworks.boisestate.edu/cs_gradproj/1/ (дата обращения: 24.08.2012).
9. Sandhu R. S. Cryptographic implementation of a tree hierarchy for access control // Information Processing Letters. 1988. N 27(2). P. 95–98.
10. Лёвин В. Ю. О повышении криптостойкости однонаправленных хэш-функций // Фундаментальная и прикладная математика. 2009. Т. 15. № 5. С. 171–179.
11. Hwang M.-S. A New Dynamic Cryptographic Key Generation Scheme for a Hierarchy // Nordic J. of Computing. Aug. 1999. Vol. 6. N 4. P. 363–371.
12. Лернер В. Д., Беззатеев С. В. Основные принципы распределения ключей для доступа к информации в «облачных» хранилищах данных // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2011): VII Санкт-Петербургская межрегион. конф., Санкт-Петербург, 26–28 октября 2011 г.: материалы конф. / СПОИСУ. СПб., 2011. С. 120.
13. Лернер В. Д. Использование операции арифметического деления для распределения ключей: сб. докл. второй науч. конф. ГУАП / ГУАП. СПб., 1999. С. 40.
14. Винокуров А., Применко Э. Сравнение российского стандарта шифрования, алгоритма ГОСТ 28147-89 и алгоритма Rijndael // Системы безопасности связи и телекоммуникаций. 2001. № 39(3)/01. С. 71–72.

Уважаемые подписчики!

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2009 гг. в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>) и на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>). Печатную версию архивных выпусков журнала за 2003–2009 гг. Вы можете заказать в редакции по льготной цене.

Журнал «Информационно-управляющие системы» выходит каждые два месяца. Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 3600 рублей, для подписчиков стран СНГ — 4200 рублей, включая НДС 18 %, почтовые и таможенные расходы.

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья) вы можете подписаться на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>).

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогу:

«Роспечать»: № 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс,

а также через посредство подписных агентств:

«Северо-Западное агентство „Прессинформ“»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05, эл. почта: press@crp.spb.ru, zajavka@crp.spb.ru,

сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

«МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

Москва, тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47, эл. почта: export@periodicals.ru, сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Москва, тел.: (495) 787-38-73, эл. почта: Alfimov@viniti.ru, сайт: <http://www.informnauka.com>

«Гал»

Москва, тел.: (495) 603-27-28, 603-27-33, 603-27-34, сайт: <http://www.artos-gal.mpi.ru/index.html>

«ИНТЕР-ПОЧТА-2003»

Москва, тел.: (495) 500-00-60, 580-95-80, эл. почта: interpochta@interpochta.ru, сайт: <http://www.interpochta.ru>

Краснодар, тел.: (861) 210-90-00, 210-90-01, 210-90-55, 210-90-56, эл. почта: krasnodar@interpochta.ru

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: podpiska@delpress.ru, сайт: <http://delpress.ru/contacts.html>

«Коммерсант-Курьер»

Казань, тел.: (843) 291-09-99, 291-09-47, эл. почта: kazan@komcur.ru, сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan/>

«Урал-Пресс» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«ВТЛ» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html>

и др.

УДК 519.725.2

ДЕКОДИРОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ КАСКАДНЫХ КОДОВ С ВНУТРЕННИМИ ПОЛЯРНЫМИ КОДАМИ

П. К. Семенов¹,

ассистент

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Приводится алгоритм декодирования для обобщенных каскадных кодов с внутренними полярными кодами. Предлагаемый декодер является списочным и основан на описанных в работе структурах данных — деревьях решений для внутреннего и для всего каскадного кодов. Для этих структур данных в работе рассматривается способ эффективной реализации. Предлагаемый в работе алгоритм декодирования позволяет достичь лучшей корректирующей способности по сравнению с традиционным декодером обобщенных каскадных кодов и декодером по максимуму правдоподобия для полярных кодов.

Ключевые слова — обобщенные каскадные коды, декодирование, полярные коды.

Введение

В работе [1] были предложены полярные коды и доказано, что они достигают пропускной способности симметричных каналов без памяти с двоичным входом. Однако на практике полярные коды при использовании последовательного декодера [1] обеспечивают большую вероятность ошибки декодирования, чем классические коды. В статье [2] была предложена конструкция обобщенных каскадных кодов (ОКК) с внутренними полярными кодами, позволяющая обеспечить меньшую вероятность ошибки декодирования по сравнению с низкоплотными кодами. При этом использовался многошаговый декодер, имеющий критическую зависимость от оценок информационных символов с предшествующих шагов: ошибки на предыдущих шагах не могут быть исправлены на последующих, что приводит к их катастрофическому распространению.

В данной работе предлагается алгоритм декодирования для ОКК с внутренними полярными кодами, основанный на списочном декодировании внешних кодов. Главным отличием от стандартного декодера ОКК является введение дерева решений, связывающего списочное декодирование внешних кодов со списочным декодированием внутренних кодов. Таким образом, пред-

лагаемый алгоритм можно рассматривать как обобщение списочного декодера Тала — Варди [3] полярных кодов, который позволяет достичь корректирующей способности декодера по максимуму правдоподобия при достаточно небольшой длине списка. С другой стороны, метод деревьев решений может быть использован и для случая других внутренних кодов. Основным требованием является лишь существование для них декодера, последовательно оценивающего значения информационных символов. Для полярных кодов таким декодером выступает метод последовательного исключения [1] с некоторыми модификациями [4].

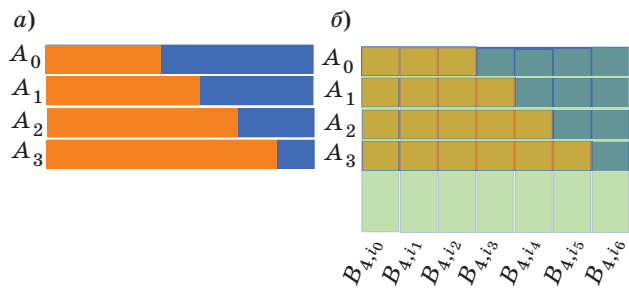
Обобщенные каскадные коды

Обобщенные каскадные коды [5, 6] основаны на семействе внешних (ограничимся случаем линейных внешних кодов) (N, K_i, D_i) -кодов A_i над $GF(2^{m_i})$, $0 \leq i < l$, и внутреннем (n, k_0, d_0) -коде B_0 , который рекурсивно разбивается на семейства непересекающихся равномошных подкодов в соответствии с правилами

$$B_0 = \bigcup_{j=0}^{2^{m_0}-1} B_{1,j}, B_{i,j} = \bigcup_{t=0}^{2^{m_i}-1} B_{i+1,j \cdot 2^{m_i} + t}, 0 \leq j < 2^{\sum_{t=0}^i m_t},$$

где $B_{i,j}$ — некоторые его (n, k_i, d_i) -подкоды, а индекс j обозначает естественную нумерацию «слева направо» ветвей в i -м уровне дерева разбиения (см. примеры на рис. 1, а, б).

¹ Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного политехнического университета П. В. Трифионов.



■ Рис. 1. Кодирование ОКК: а — внешними кодами; б — с помощью внутреннего кода

На размерность подкодов на j -м уровне разбиения накладывается ограничение $k_j = \sum_{t=j}^{l-1} m_t$, $0 \leq j \leq l$; таким образом, все коды $B_{l,j}$ последнего, l -го уровня разбиения имеют нулевую размерность и состоят из единственного фиксированного кодового слова внутреннего кода B_0 . Кодирование данных проводится следующим образом.

1. Данные кодируются внешними кодами: пусть $(c_{0,0}, \dots, c_{0,N-1}), \dots, (c_{l-1,0}, \dots, c_{l-1,N-1})$ — полученные при этом кодовые слова.

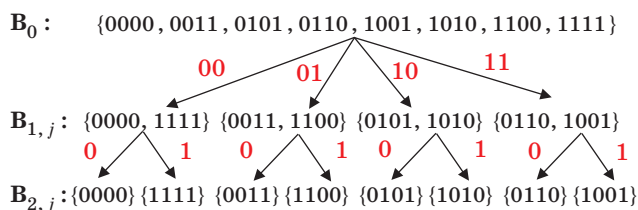
2. Для всех $j = 0 \dots N-1$ символы $c_{i,j} \in GF(2^{m_i})$, $0 \leq i < l$ преобразуются в кортежи длин m_i с использованием некоторых фиксированных базисов $GF(2^{m_i})$. Эти кортежи объединяются в вектор длины k_0 , который однозначно задает путь в иерархии разбиения внутреннего кода B_0 (см. рис. 1).

В примере разбиения внутреннего (4, 3, 2)-кода с одной проверкой на четность для обобщенного каскадного кода с двумя внешними кодами (рис. 2): A_0 — (8, 1, 8)-код с повторениями над $GF(4)$ и A_1 — расширенный (8, 4, 4)-код Хэмминга над $GF(2)$.

Если все используемые коды A_i и $B_{i,j}$ являются линейными, то множество получаемых таким образом векторов образует линейный блочный

$$\left(nN, \sum_{i=0}^{l-1} K_i m_i, \min(D_0 d_0, \dots, D_{l-1} d_{l-1}) \right)\text{-код.}$$

Стоит отметить, что при разбиении внутреннего кода элементы одного семейства являются различными смежными классами одного и того же подкода в силу выбора внутреннего кода линейным.



■ Рис. 2. Разбиение внутреннего кода

И, кроме того, для разбиения на рис. 2 подкоды $B_{2,j}$ имеют бесконечное минимальное расстояние: $B_{1,j} - 4$, а $B_0 - 2$.

Многие коды с наилучшими параметрами были получены как обобщенные каскадные [5].

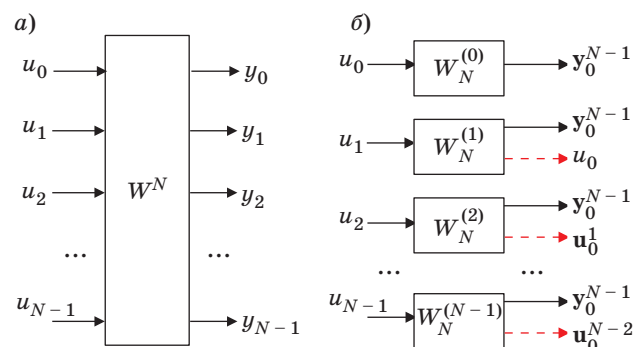
Полярные коды на основе ядра Арикана

Назовем ядром Арикана матрицу $G = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$,

а через $G^{\otimes s}$ обозначим ее s -ю кронекеровскую степень — матрицу размерности $2^s \times 2^s$. Пусть B_{2^s} — это $(2^s \times 2^s)$ -матрица такой перестановки для вектора длины 2^s , что номер новой позиции i -го элемента получается как обратная запись представленного в виде s -битной последовательности числа i . Например, $4 \equiv (1\ 0\ 0) \rightarrow (0\ 0\ 1) \equiv 1$, $3 \equiv (0\ 1\ 1) \rightarrow (1\ 1\ 0) \equiv 6$. Будем обозначать скалярный канал со входом u и выходом y как $W(y|u)$, отождествляя его с функцией плотности условной вероятности выходного символа. В случае передачи последовательности данных $\mathbf{u}_0^{N-1} = (u_0\ u_1\ \dots\ u_{N-1})$ размера N через канал $W(y|u)$ будем рассматривать эквивалентный векторный канал

$$W^N(\mathbf{y}_0^{N-1} | \mathbf{u}_0^{N-1}) = \prod_{i=0}^{N-1} W(y_i | u_i)$$

с выходом $\mathbf{y}_0^{N-1} = (y_0\ y_1\ \dots\ y_{N-1})$ (рис. 3, а). В статье [1] был предложен метод поляризации симметричного канала $W^N(\mathbf{y}_0^{N-1} | \mathbf{u}_0^{N-1})$ без памяти с двоичным входом: предполагается, что $N = 2^s$ и через канал передается преобразованный блок данных $\mathbf{u}_0^{N-1} B_N G^{\otimes s}$. Метод заключается в представлении $W^N(\mathbf{y}_0^{N-1} | \mathbf{u}_0^{N-1})$ как совокупности $\bar{W} \equiv \{W_N^{(i)}(\mathbf{y}_0^{N-1}, \mathbf{u}_0^{i-1} | u_i), 0 \leq i < N\}$ двоичных каналов (рис. 3, б), которая обладает следующими свойствами.



■ Рис. 3. Эквивалентные представления канала: а — векторный канал W^N ; б — эквивалентные подканалы $W_N^{(i)}$ (пунктирная линия означает достоверную передачу через канал)

1. Эквивалентность W и \bar{W} : суммарная пропускная способность $\sum_{i=0}^{N-1} C(W_N^{(i)})$ равна $C(W)$ при условии, что для каждого $W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_0^{i-1} | u_i)$ известны точные значения информационных символов u_0^{i-1} (см. рис. 3, б).

2. Асимптотическая поляризация каналов из \bar{W} : при $N \rightarrow \infty$ относительная доля $W_N^{(i)}$ в \bar{W} таких, что $C(W_N^{(i)}) \rightarrow 1$, стремится к $C(W)$, а пропускная способность остальных $N(1 - C(W))$ каналов стремится к нулю.

Поляризационный эффект достигается применением невырожденного преобразования $\mathbf{B}_N \mathbf{G}^{\otimes s}$ к данным. И, таким образом, поляризующее преобразование канала $W^{2N}(y_0^{2N-1} | u_0^{2N-1})$ основано на поляризации векторных каналов меньшей размерности $W^i(y_0^{i-1} | u_0^{i-1})$, $i = N, \frac{N}{2}, \frac{N}{4}, \dots, 1$.

Эта декомпозиция для плотностей $W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_0^{i-1} | u_i)$ вероятностей выражается как [1]

$$W_{2N}^{(2i)}(y_0^{2N-1}, u_0^{2i-1} | u_{2i}) = \frac{1}{2} \sum_{u_{2i+1}} W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_{0,e}^{2i-1} \oplus u_{0,o}^{2i-1} | u_{2i} \oplus u_{2i+1}) \times W_N^{(i)}(y_N^{2N-1}, u_{0,o}^{2i-1} | u_{2i+1}); \quad (1)$$

$$W_{2N}^{(2i+1)}(y_0^{2N-1}, u_0^{2i} | u_{2i+1}) = \frac{1}{2} W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_{0,e}^{2i-1} \oplus u_{0,o}^{2i-1} | u_{2i} \oplus u_{2i+1}) \times W_N^{(i)}(y_N^{2N-1}, u_{0,o}^{2i-1} | u_{2i+1}) \quad (2)$$

где $u_{0,e}^{2i-1}$ и $u_{0,o}^{2i-1}$ обозначают компоненты вектора u_0^{2i-1} только с четными и нечетными номерами соответственно. Таким образом, вероятности передаваемых битов в каналах $W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_0^{i-1} | u_i)$ оцениваются через рекуррентные формулы (1), (2) с условием $W_1^{(1)}(y|u) = W(y|u)$ для выхода из рекурсии.

При $N \rightarrow \infty$ каналы $W_N^{(i)}$ будут либо абсолютно без шума, либо абсолютно ненадежными. Поэтому информационные символы u_i , передаваемые по каналам плохого качества, можно считать всегда фиксированными («замороженными»). Если сопоставить i -ю строку матрицы $\mathbf{B}_N \mathbf{G}^{\otimes s}$ каналу $W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_0^{i-1} | u_i)$, то r наиболее надежным каналам из \bar{W} соответствует линейный код длины 2^s и размерности r , называемый полярным кодом. В итоге, чтобы задать полярный код порядка s , достаточно указать множество A индексов неиспользуемых строк матрицы $\mathbf{G}^{\otimes s}$.

SCDecoder(s, A):

1. for $i \leftarrow 0$ to $2^s - 1$ do
2. if $i \in A$ then $u_i \leftarrow 0$
3. else $u_i = \begin{cases} 0, & \frac{W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_0^{i-1} | 0)}{W_N^{(i)}(y_0^{N-1}, u_0^{i-1} | 1)} \geq 1 \\ 1, & \text{в противном случае} \end{cases}$
4. return u_0^{N-1}

■ Рис. 4. Последовательный декодер Арикана полярных кодов

Был предложен [1] последовательный метод декодирования полярных кодов — алгоритм последовательного исключения (рис. 4). Этот алгоритм обладает существенным недостатком: при неверном оценивании информационного символа u_i все последующие компоненты u_j , $j = i + 1, \dots, (2^s - 1)$ вектора u_0^{N-1} , вероятно, также будут оценены ошибочно.

Обобщенные каскадные коды с внутренними полярными кодами

Несмотря на хорошие асимптотические свойства, на практически значимых длинах (~1000) полярные коды проигрывают классическим кодам, так как вероятности ошибок в эквивалентных подканалах $W_N^{(i)}$ остаются достаточно большими. Использование внешних кодов позволяет серьезно улучшить корректирующую способность полярных кодов [2].

Рассмотрим ОКК C с 2^l внешними кодами A_i над $GF(2)$ длины m (возможно $(m, 0)$ -кодов с бесконечным минимальным расстоянием) и внутренним полярным $(2^l, 2^l)$ -кодом B_0 со следующим разбиением: $B_0 = B_{1,0} \cup B_{1,1}$,

$$B_{i,j} = \bigcup_{t=0}^{2^i-1} B_{i+1,j \cdot 2^i + t}, \quad 0 \leq j < 2^i,$$

где $B_{i,j}$ состоит из таких кодовых слов B_0 , для которых первые i информационных символов совпадают с маркерами пути до вершины $B_{i,j}$ (для $l = 1$ пример приведен на рис. 5). Таким образом, разбиение является идеально сбалансированным бинарным деревом и совпадает со схемой кодирования данных ядром Арикана порядка l . Стоит отметить, что после процедуры кодирования таким кодом получается m кодовых слов полярного $(2^l, 2^l)$ -кода. В работе [2] был предложен метод, позволяющий синтезировать коды из представленного семейства исходя из правила равенства вероятностей ошибки декодирования внешних кодов в им соответствующих каналах из \bar{W} при заданном отношении сигнал/шум.

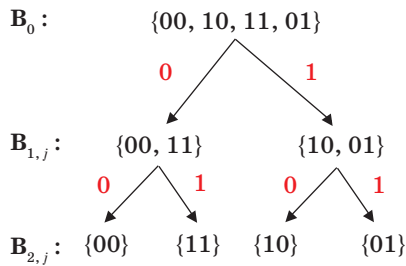


Рис. 5. Разбиение ядра Арикана порядка 1

И хотя рассмотренная каскадная конструкция позволяет уменьшить негативный эффект от слабой поляризации эквивалентных подканалов для коротких полярных кодов, она не лишена главного недостатка алгоритмов последовательного декодирования: результат каждого шага декодирования полностью зависит от достоверности оценок информационных битов с предшествующих шагов.

Списочный декодер ОКК с внутренними полярными кодами

Одним из способов преодоления проблемы критической зависимости от оценок информационных символов с предшествующих шагов является списочное декодирование, позволяющее одновременно отслеживать несколько вариантов таких оценок. Дерево всевозможных решений для полярного (4, 3)-кода представлено на рис. 6, а. Будем называть его деревом решений внутреннего кода (ДВК). Для того чтобы ограничить рост числа его листьев, необходимо на каждом шаге ранжировать текущие ветви по степени надежности размещенных в их листьях оценок и отсека...

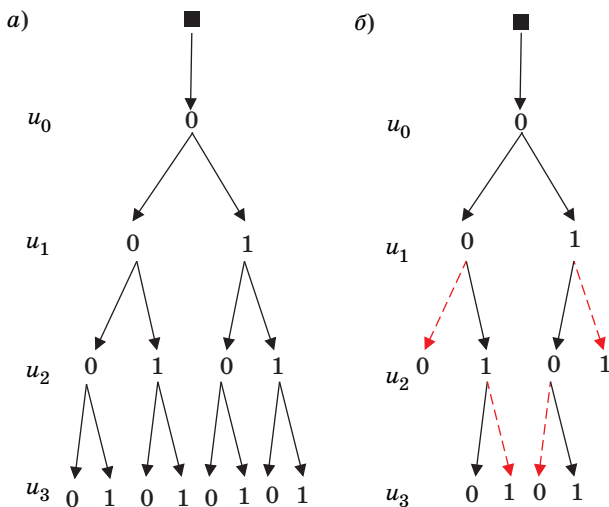


Рис. 6. Дерево решений для полярного (4, 3)-кода: а — идеальное дерево решений; б — выбор только двух ветвей на каждом шаге

те, что соответствуют наименее надежным вариантам. В качестве меры надежности оценок u_i выступают величины $W_N^{(i)}(\mathbf{y}_0^{N-1}, \mathbf{u}_0^{i-1} | u_i)$. Таким образом, все вычисления в списочном декодере необходимо проводить напрямую с вероятностями, что приводит к быстрому убыванию вычисляемых характеристик к нулю. Предлагается [3] на каждом шаге нормировать вероятности на их максимум по всем ветвям. Такой подход позволяет их дальнейшее использование при декодировании внешних кодов в метрике Евклида в каскадной конструкции с внутренними полярными кодами. Но его существенными недостатками являются использование вычислений с плавающей запятой и операций деления, невозможность получить истинные вероятности значений битов, что накладывает ограничение на используемые внешние коды. В связи с этим было показано [4], каким образом необходимо модифицировать алгоритм последовательного исключения, чтобы он вычислял величины $\log W_N^{(i)}(\mathbf{y}_0^{N-1}, \mathbf{u}_0^{i-1} | 0)$ и $\log W_N^{(i)}(\mathbf{y}_0^{N-1}, \mathbf{u}_0^{i-1} | 1)$ для i -го информационного символа. Назовем этот алгоритм как *LogSCDecoder*(s, A, i).

Основная идея алгоритма *LogSCDecoder*(s, A, i) заключается в решении следующей задачи: имея

$$\log(a_t) = \log W_N^{(i)}(\mathbf{y}_0^{N-1}, \mathbf{u}_0^{2i-1} \oplus \mathbf{u}_0^{2i-1} | t)$$

и

$$\log(b_t) = \log W_N^{(i)}(\mathbf{y}_0^{2N-1}, \mathbf{u}_0^{2i-1} | t)$$

для $t = 0, 1$, необходимо вычислить

$$\begin{aligned} \log W_{2N}^{(2i)}(\mathbf{y}_0^{2N-1}, \mathbf{u}_0^{2i-1} | u_{2i}) &= \log \frac{1}{2} (a_0 b_0 + a_1 b_1) = \\ &= \log \left(\frac{1}{2} e^{\log(a_0) + \log(b_0)} + \frac{1}{2} e^{\log(a_1) + \log(b_1)} \right). \end{aligned}$$

Эта проблема может быть решена приближенно. Так, не ограничивая общности, будем считать, что $\log(a_0) + \log(b_0) > \log(a_1) + \log(b_1)$. Тогда искомое выражение можно представить как

$$\begin{aligned} \log W_{2N}^{(2i)}(\mathbf{y}_0^{2N-1}, \mathbf{u}_0^{2i-1} | u_{2i}) &= \\ &= \log \frac{1}{2} + \log(a_0) + \log(b_0) + \\ &+ \log \left(1 + e^{\log(a_1) + \log(b_1) - \log(a_0) - \log(b_0)} \right). \end{aligned}$$

В случае, когда $\log(a_1) + \log(b_1) - \log(a_0) - \log(b_0)$ мало (например, меньше $q = -70$),

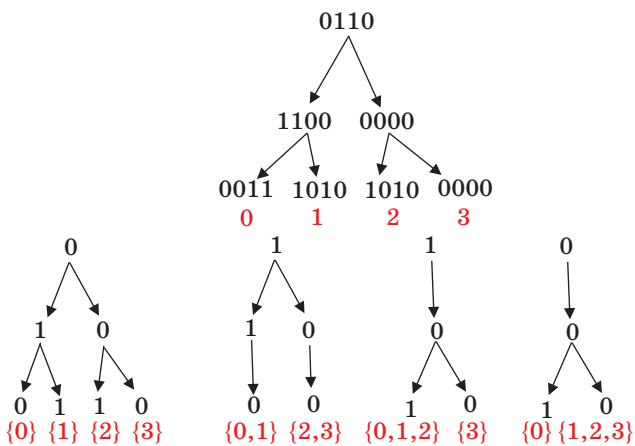
$$\log \left(1 + e^{\log(a_1) + \log(b_1) - \log(a_0) - \log(b_0)} \right) \approx 0.$$

В итоге аппроксимация для формулы (1) представляется в следующем виде:

$$\log W_{2N}^{(2i)}(\mathbf{y}_0^{2N-1}, \mathbf{u}_0^{2i-1} | u_{2i}) \approx \begin{cases} \log \frac{1}{2} + \log(a_0) + \log(b_0), & c < -q \\ \log \frac{1}{2} + \log(a_0) + \log(b_0) + \log(1 + e^c), & -q \leq c \leq q \\ \log \frac{1}{2} + \log(a_1) + \log(b_1), & c > q \end{cases}$$

где $c = \log(a_1) + \log(b_1) - \log(a_0) - \log(b_0)$.

Пусть теперь L — параметр длины списка декодера обобщенных каскадных кодов с внутренними полярными кодами: на каждом шаге декодирования в ДВК оставляются только L наиболее надежных ветвей (рис. 6, δ — отсекаемые ветви обозначены пунктирной линией). В данной работе надежность ветвей предлагается оценивать с помощью списочных декодеров внешних кодов A_i . Пусть $\mathbf{x}_i = (x_{i,j})_{j=0}^{m-1}$ — это кодовое слово кода A_i . Тогда $(z_{j,0}, z_{j,1}, \dots, z_{j,l-1}) = (x_{0,j}, x_{1,j}, \dots, x_{l-1,j}) \times \mathbf{B}_N \mathbf{G}^{\otimes l}$ является кодовым словом внутреннего полярного тривиального $(2^l, 2^l)$ -кода B_0 . Таким образом, чтобы получить оценку кодового слова внешнего кода A_i , необходимо знать оценки i -х информационных символов всех m внутренних кодов. Пусть известны логарифмические отношения правдоподобия LLR_j , $0 \leq j \leq m$ оценок i -х информационных символов всех внутренних кодов. Тогда с помощью некоторой процедуры $ListDecode(A_i, (LLR_0, LLR_1, \dots, LLR_{m-1}))$ списочного декодирования внешнего кода A_i может быть получен список $List$ его кодовых слов. На основе списка $List$ определяется как надежность ветвей, так и решения о возможных значениях информационных символов для внутренних полярных кодов. Будем называть структуру данных, сохраняющую списки кодовых слов внешних кодов, деревом решений ОКК (ДОКК). Его пример представлен на рис. 7.



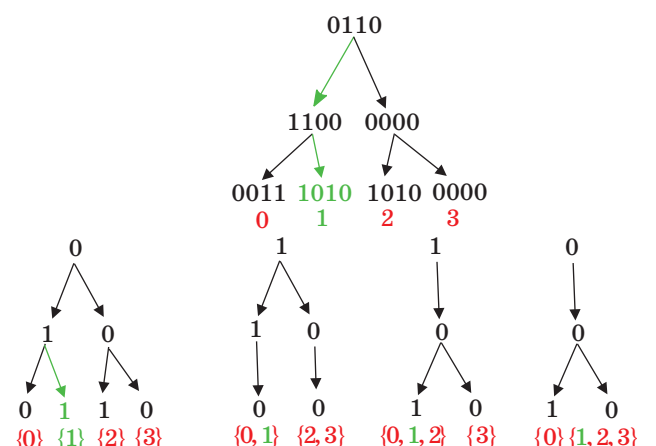
■ Рис. 7. Промежуточное ДОКК с внутренними полярными кодами

Дерево решений ОКК однозначно задает и ДВК. Будем называть i -й проекцией ДОКК дерево, получаемое при удалении размещенных в узлах кодовых слов всех символов, кроме i -го (см. рис. 7). Проекция соответствует возможным значениям при списочном декодировании полярного кода с помощью решений декодера внешних кодов. В целях исключения избыточности каждая ветвь ДВК соответствует какому-то набору ветвей ДОКК. Чтобы установить такое соответствие, требуется проводить идентификацию узлов в ДОКК. Для узлов на i -м уровне следует воспользоваться следующими способами:

- 1) каждому узлу v может быть поставлена в соответствие пара чисел (b, t) , где b — это номер родительской ветви в предшествующем уровне, а t — это номер ее потомка, соответствующего узлу v ;
- 2) каждому узлу v может быть поставлено в соответствие число t , равное номеру узла в i -м уровне при их нумерации «слева направо», что соответствует естественному перечислению листьев в последнем уровне дерева.

Совместное использование способов 1 и 2 позволяет при удалении каких-то ветвей в дереве единообразно перенумеровывать оставшиеся как $0 \dots n - 1$ без каких-либо пропусков на всех шагах. Возможны и другие способы реализации ДОКК, но перенумерация ветвей при операциях вставки и удаления листьев представляется наиболее удобной. Для примера на рис. 8 для всех ветвей деревьев-проекций приведены наборы им соответствующих номеров ветвей текущего ДОКК. Удаление ветви в ДОКК приводит к изменениям во всех деревьях внутренних кодов. На рис. 8 показан пример таких изменений (удаляемая ветвь в ДОКК и соответствующие изменения в ДВК обозначены зеленым цветом).

Дерево решений ОКК как структура данных должна поддерживать операции *Split* и *Prune*:



■ Рис. 8. Изменения в ДВК при удалении ветви в ДОКК

GCCDecoder(L):

1. For $i = 0$ to $2^l - 1$ do
2. For ветвь с номером b в дереве решений ОКК do
3. For $j = 0$ to $m - 1$ do
4. $\left(\log Pr(x_{j,i}^{(b)}=0), \log Pr(x_{j,i}^{(b)}=1)\right) = \text{logSCDecoder}(b, l, \emptyset, i)$
5. $LLR_t = \log Pr(x_{t,i}^{(b)}=1) - \log Pr(x_{t,i}^{(b)}=0), 0 \leq t < m$
6. $List = \text{ListDecode}(A_i, (LLR_0, LLR_1, \dots, LLR_{m-1}))$
7. For кодовое слово c_t в $List$ do
8.
$$m_{b,t} = \sum_{r=0}^{m-1} LLR_r \begin{cases} 1, & c_{t,r} = 1 \\ -1, & c_{t,r} = 0 \end{cases}$$
9. $\text{Split}(i, b, List)$
10. $\text{Prune}(L, \{m_{b,t}\}_{b,t})$
11. return ветви дерева решений ОКК

■ **Рис. 9.** Списочный декодер ОКК с внутренними полярными кодами

1) операция $\text{Split}(i, b, List)$ добавляет элементы списка $List$ в качестве потомков узлу под номером b в i -м уровне дерева;

2) операция $\text{Prune}(L, M)$: пусть π — перестановка, соответствующая упорядочиванию списка M из p вещественных чисел по убыванию, причем p равно текущему числу ветвей в дереве. Тогда Prune удаляет в нем j -ю ветвь, если $\pi(j) > L$ при условии начала нумерации в M с нуля.

В целях наглядности общего алгоритма декодирования будем считать, что обновление ДВК при изменениях в дереве решений ОКК происходит в процедурах Split и Prune . На рис. 9 представлен общий алгоритм списочного декодирования. В нем предполагается, что все ДВК являются проекциями ДОКК.

В строке 4 алгоритма величина $x_{j,i}^{(b)}$ означает i -й информационный символ при условии, что в качестве оценок ему предшествующих символов были выбраны расположенные в ветви b j -го ДВК. Оценка реализации величины $x_{j,i}^{(b)}$ проводится с помощью процедуры LogSCDecoder , вызываемой с дополнительным параметром b , определяющим, какая ветвь j -го ДВК была выбрана в качестве оценок предшествующих информационных символов.

Алгоритм GCCDecoder при $L = 1$ вырождается в традиционный декодер ОКК. Кроме того, процедура оценивания надежности ветвей ДОКК (строки 7, 8 на рис. 9) может быть параметризована. Стоит отметить, что итоговая корректирующая способность, обеспечиваемая GCCDecoder , напрямую зависит от выбора метода списочного декодирования внешних кодов. Например, для коротких линейных кодов в качестве такового могут быть:

1) декодер по максимуму правдоподобия, возвращающий список из кодовых слов с наибольшим правдоподобием;

2) декодер box-and-match [7];

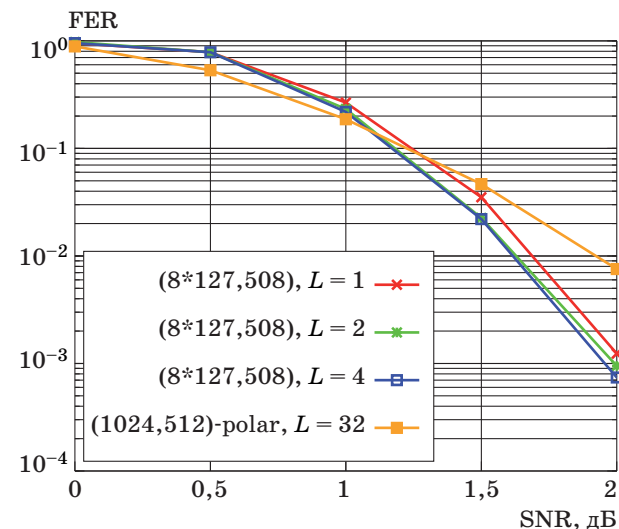
3) декодер порядковых статистик [8].

Вычислительная сложность алгоритма GCCDecoder равна $O(L \cdot l(m \cdot 2^l + \phi(m)))$ при фиксированном размере выхода процедуры ListDecode , где l — это порядок внутреннего полярного кода, m — длина внешнего кода, а $\phi(m)$ — это функция вычислительной сложности декодирования внешних кодов. Таким образом, сложность всего алгоритма существенным образом зависит от сложности списочного декодера внешних кодов.

Для оценки объема используемой памяти уже необходимо знать максимальный размер L_m списка, выдаваемого процедурой ListDecode списочного декодирования внешних кодов. Тогда число ветвей в ДОКК не превосходит величины $L_m \cdot L$. И, следовательно, в целях быстродействия можно использовать массив флагов, указывающих, какие элементы набора из $L_m \cdot L$ ветвей являются активными в текущий момент. Соответственно, число ветвей ДВК никогда не превосходит $2L$. Таким образом, размер требуемой памяти для алгоритма равен $O(L_m \cdot L \cdot l \cdot m)$.

Численные результаты

Согласно процедуре [2], был получен обобщенный каскадный (1016, 508)-код C , состоящий из 8 внешних БЧХ-кодов длины 127 с минимальными расстояниями 0, 30, 43, 8, 47, 9, 12, 3 и внутреннего полярного кода порядка 3. При имитационном моделировании код C был декодирован представленным декодером с размером списка $L = 1, 2, 4$ (рис. 10). В результате был достигнут



■ **Рис. 10.** Зависимость вероятности ошибки декодирования от отношения сигнал/шум

существенный выигрыш по сравнению с алгоритмом Тала — Варди [3] списочного декодирования полярного (1024, 512)-кода, который, как было показано [3], при длине списка $L = 32$ приближается к корректирующей способности по максимуму правдоподобия.

Заключение

В работе представлен алгоритм списочного декодирования обобщенных каскадных кодов с вну-

тренными полярными кодами, позволяющий улучшить корректирующую способность по сравнению с традиционным декодером ОКК.

Данное исследование было выполнено в рамках работ по госконтракту 07.514.11.4101, исполняемому в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса РФ на 2007–2013 годы» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

1. **Arikan E.** Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels // *IEEE Transactions on Information Theory*. 2009. N 7(55). P. 3051–3073.
2. **Trifonov P., Semenov P.** Generalized Concatenated Codes Based on Polar codes // *Proc. of IEEE Intern. Symp. on Wireless Communication Systems*. 2011. P. 442–446.
3. **Tal I., Vardy A.** List decoding of polar codes // *Proc. of the IEEE Intern. Symp. on Information Theory (ISIT)*. 2011. P. 1–5.
4. **Семенов П.** Практические аспекты алгоритма Тала — Варди списочного декодирования полярных кодов // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2012. № 4(152). С. 40–44.
5. **Зиновьев В. А.** Обобщенные каскадные коды // *Проблемы передачи информации*. 1976. № 1. С. 5–15.
6. **Bossert M.** Channel coding for telecommunications. — Wiley, 1999. — 512 p.
7. **Valembois A., Fossorier M.** Box and match techniques applied to soft-decision decoding // *IEEE Transactions on Information Theory*. 2004. N 5. P. 796–810.
8. **Fossorier M., Lin S.** Soft-decision decoding of linear block codes based on ordered statistics // *IEEE Transactions on Information Theory*. 1995. N 5. P. 1379–1396.

УДК 004.91

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Р. В. Мещеряков,

канд. техн. наук, доцент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Л. Н. Балацкая,

доктор биол. наук, профессор

Е. Ц. Чойнзонов,

академик РАМН, доктор мед. наук, профессор

НИИ онкологии Сибирского отделения РАМН, г. Томск

Описан состав и функциональные возможности специализированной информационной системы поддержки деятельности медицинского учреждения онкологического профиля с учетом процесса голосовой реабилитации. Предлагается совмещение двух функций — сопровождения лиц с заболеваниями гортани и реабилитационного комплекса. Приводится описание разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова — информационная система, программа, управление, бизнес-процесс.

Введение

Автоматизация деятельности лечебно-профилактических и медицинских учреждений в настоящее время является активно развиваемым направлением внедрения информационных технологий в прикладные сферы жизнедеятельности человека [1–3]. Для лечения ряда заболеваний и проведения реабилитации используются программно-аппаратные средства [3], основными пользователями которых являются сотрудники медицинских учреждений. Требования к информационным системам формируются за счет требований обмена текстовыми электронными документами HL7, электронными изображениями лучевой диагностики DICOM, а также вытекающих отсюда требований к архитектуре системы [4].

В данной работе рассматривается создание информационной системы поддержки деятельности медицинского учреждения на примере Научно-исследовательского института онкологии Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. Использование технических средств расширяет качество взаимодействия врача и пациента, а также повышает шансы пациента на успешную реабилитацию.

В настоящее время в НИИ онкологии отсутствует какой-либо электронный метод, связывающий документы о пациентах в единую систему, что может привести к потерям информации или задержкам в их передаче. В отделении опухолей головы и шеи активно используется программное обеспечение для реабилитации пациентов после удаления гортани [5, 6] с использованием биологической обратной связи и модели слуховой системы человека.

Типовой процесс работы с пациентами в НИИ онкологии

Сегодня процесс учета больных и их лечения производится на бумажных носителях без какой-либо автоматизации процесса, который включает в себя следующие этапы:

- 1) при поступлении в больницу на больного вручают заводят карточку;
- 2) врач на бумаге пишет информацию о лечении;
- 3) результаты анализов пациента пишут на бумаге, передают руками, и врач прикрепляет их к истории болезни;
- 4) в случае резекции гортани врач-логопед обучает пациента пищеводному голосу.

Создаваемая система управления должна облегчить:

- регистрацию больного;
- передачу информации лечащему врачу;
- передачу результатов лечащему врачу;
- реабилитацию пациента.

Основные производственные функции НИИ онкологии:

- регистрация пациента;
- ведение истории болезни;
- реабилитация пациента;
- выписка пациента.

Основные компоненты системы:

- лечащий врач;
- врач-логопед;
- регистратор;
- лаборант.

Основные бизнес-процессы:

- регистрация пациента;
- лечение пациента;
- реабилитация пациента;
- выписка пациента.

Схема, выполненная с помощью языка моделирования UML, поясняет процессы в НИИ онкологии (рис. 1).

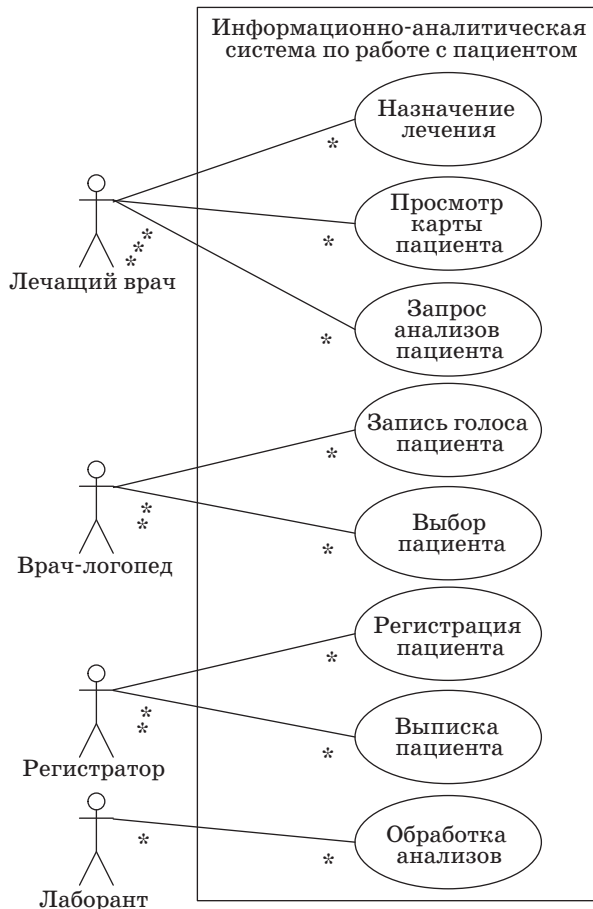


Рис. 1. Диаграмма бизнес-процессов НИИ онкологии

Временная последовательность выполнения процессов:

- регистрация пациента — в момент обращения;
- лечение пациента — постоянно;
- реабилитация пациента — после удачного лечения;
- выписка пациента — в момент окончания реабилитации.

Бизнес-правила:

- на пациента оформляется только одна история болезни;
- одному пациенту можно назначать несколько различных терапий;
- при назначении терапии обязательно указывается дата;
- у одного пациента может быть несколько результатов анализа.

Перечень вводимой информации:

- фамилия, имя, отчество пациента, дата рождения, пол, группа крови, место жительства, дата поступления, рост, вес, площадь тела, номер истории болезни, курящий или нет, количество пачек, выкуриваемых в день, стаж курения, стадия заболевания, группа больного, диагноз, гистология, локализация опухоли, другие заболевания, анамнез;
- запись голоса с помощью микрофона либо готовый wave-файл.

Речевая реабилитация

При речевой реабилитации пациентов после операции полного удаления гортани требуется формирование новых условных рефлексов. Орган фонации потерян (удалена гортань), нервы, участвующие в процессе фонации, уже ничем не управляют, речи нет. Тем не менее, компенсаторный механизм существует, и задача врачей и логопедов — помочь больному этот механизм запустить, т. е. максимально усилить обратные связи, которые начинают управлять генерацией пищеводного голоса. Это достигается за счет формирования внешней, по отношению к организму, обратной связи, которая максимально стимулирует факт появления пищеводной речи (первый этап) в момент ее появления, т. е. запускает ассоциативный механизм: звук голоса — положительное подкрепление [7].

Задача тренинга — добиться поэтапного формирования звука псевдоголоса, в котором выполнение каждого этапа уже само по себе является положительным подкреплением. Наблюдение процесса улучшения результата визуально от тренировки к тренировке даст пациенту уверенность в своих силах, улучшит качество и ускорит весь процесс обучения.

При создании пищеводного голоса самой важной особенностью системы является то, что функции, которая требует тренировки, не существует. Поэтому начальный этап выполняет врач-логопед. Его задача — создать основу для проведения последующего тренинга, а именно выработать рефлекс накапливания воздуха в пищеводном пузыре и вызвать отрывку этого воздуха со звуком пищеводного голоса. После появления звука отрывки можно работать с сигналом посредством микрофона.

Первым этапом является наработка разового звука пищеводного голоса. Микрофон помещается на расстоянии 10–12 см от губ, что позволяет не чувствовать шум потока воздуха и фиксировать лишь громкие звуки пищеводного голоса. Следует отметить, что фарингиальный голос на первом этапе имеет ту же структуру, что и пищеводный, и практически неотличим по спектральному составу. Советы логопеда дают дополнительную информацию пациенту, выбравшему неправильный способ речеобразования. Решение о переходе на второй этап принимает логопед.

На втором этапе вводится дополнительное положительное подкрепление, основанное на предъявлении пациенту информации о росте длительности фонации от количества тренировок. Порог срабатывания обратной связи выбирается в соответствии с результатами, достигнутыми на прошлом этапе. В течение процесса реабилитации особое внимание уделяется тренировке звонких согласных и гласных звуков [8, 9]. Логопед читает речевой материал. Он состоит из односложных слов, таких как «кот», «кит», «там» и др. Основой правильного произнесения гласных и звонких согласных является длительность фонации. Тренировки проводятся до достижения длительности фонации 1 с.

Последним этапом тренировки является повышение частоты основного тона (ЧОТ) до нижних границ речи здорового человека (от 40–50 до 80–100 Гц). Это самый сложный этап, так как тренировка идет на основе выделенной и замеренной техническими средствами ЧОТ, и требуется выработка внутренней системы регуляции ЧОТ. Следует заметить, что не каждый здоровый человек (особенно человек без музыкального слуха или с невыразительной речью) может без тренировки управлять собственной ЧОТ. Больным же сделать это намного труднее. Применяются два типа обратных связей. Отрицательная обратная связь направлена на уменьшение рассогласования текущей ЧОТ и задания на тренинг посредством демонстрации различия между заданием и текущим значением ЧОТ. Положительная обратная связь стимулирует по-

вторяемость успешного результата, подкрепляя удержание ЧОТ в тренировочной полосе заданное время.

Проектирование системы

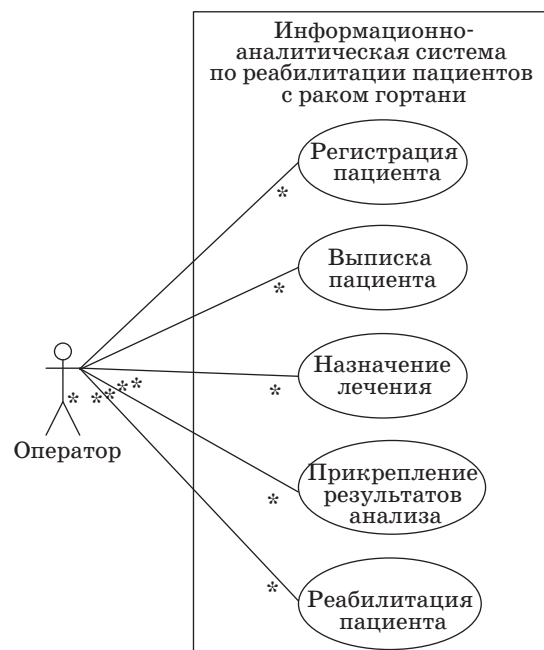
Предметная область, как отмечалось выше, состоит из следующих представляющих интерес бизнес-процессов: регистрации, лечения, реабилитации и выписки пациента. Общий вид предметной области представлен на рис. 2.

В результате проведения анализа предметной области были составлены следующие алгоритмы работы системы: поступления пациента (рис. 3, а), назначения курса лечения (рис. 3, б), реабилитации пациента (рис. 3, в), выписки пациента (рис. 3, г).

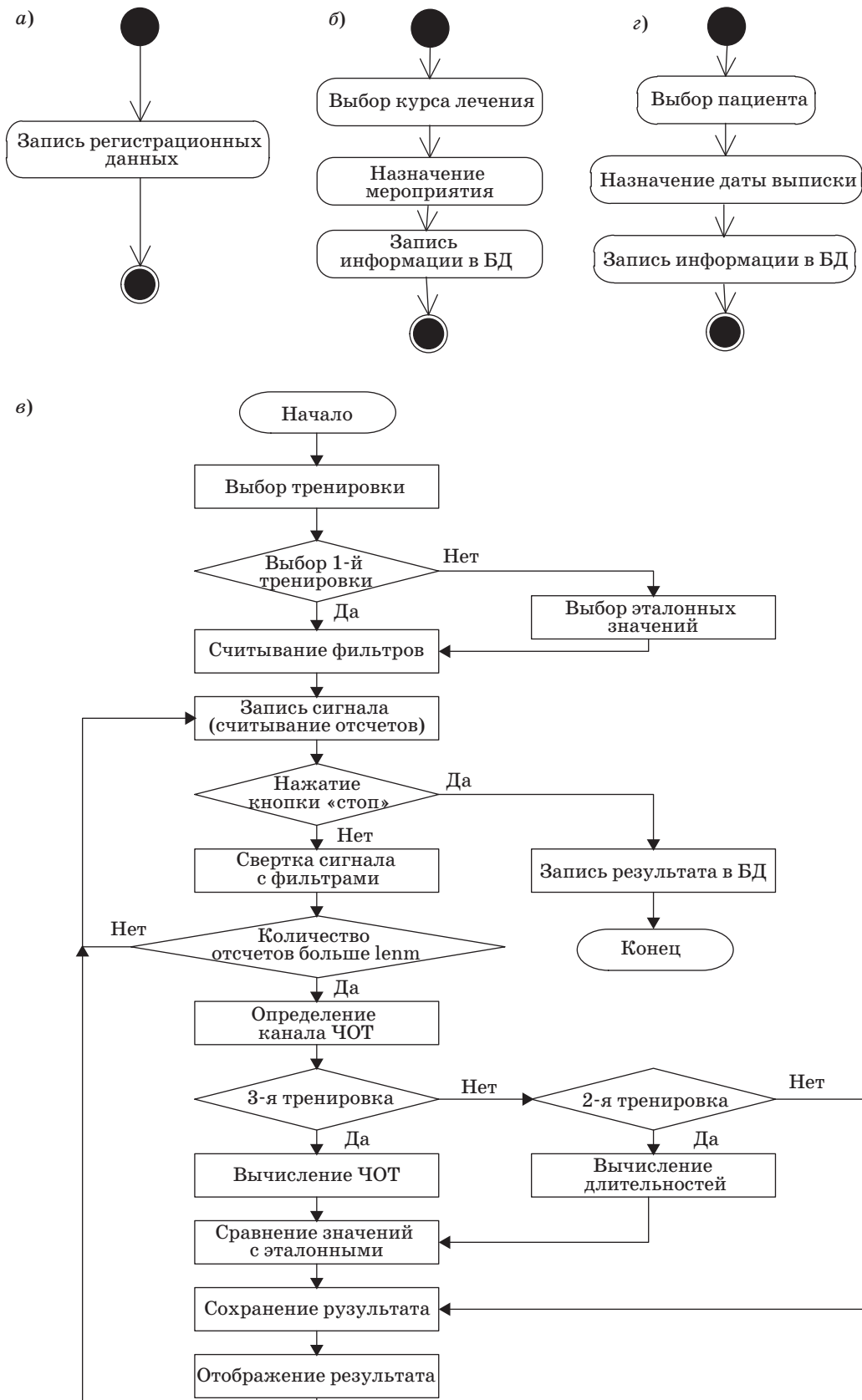
Построена логическая модель данных с использованием наиболее принятой методологии IDEF1X (рис. 4) и соответствующая ей физическая схема (рис. 5).

В процессе физического проектирования были определены наименования таблиц и типы данных для всех полей. По соответствующей физической реализации было выполнено алгоритмическое и программное обеспечение.

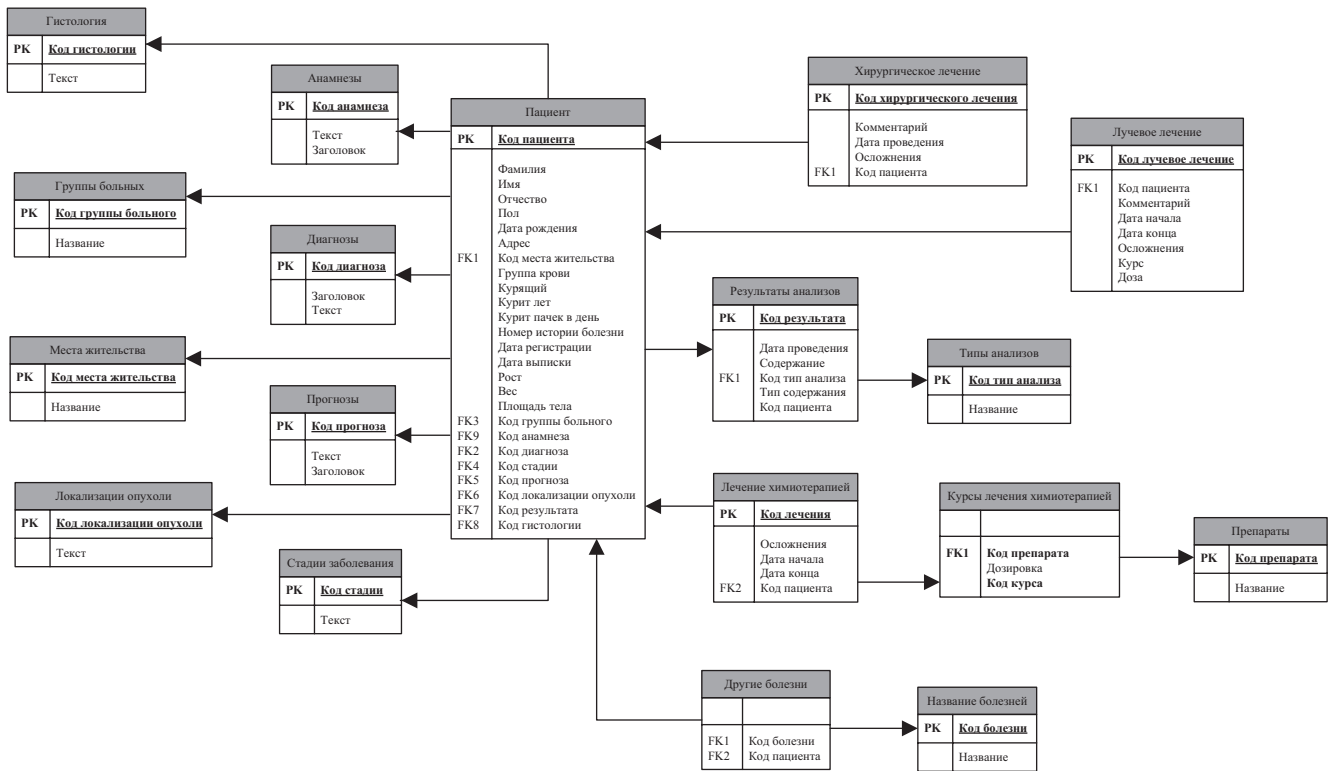
Регистрация пациента — это более трудоемкий процесс работы с программой, чем остальные. На рис. 6 представлен пример работы с этой частью приложения. Кроме того, для обеспечения защиты персональных данных кроме штатных средств операционной системы используется усиленная аутентификация.



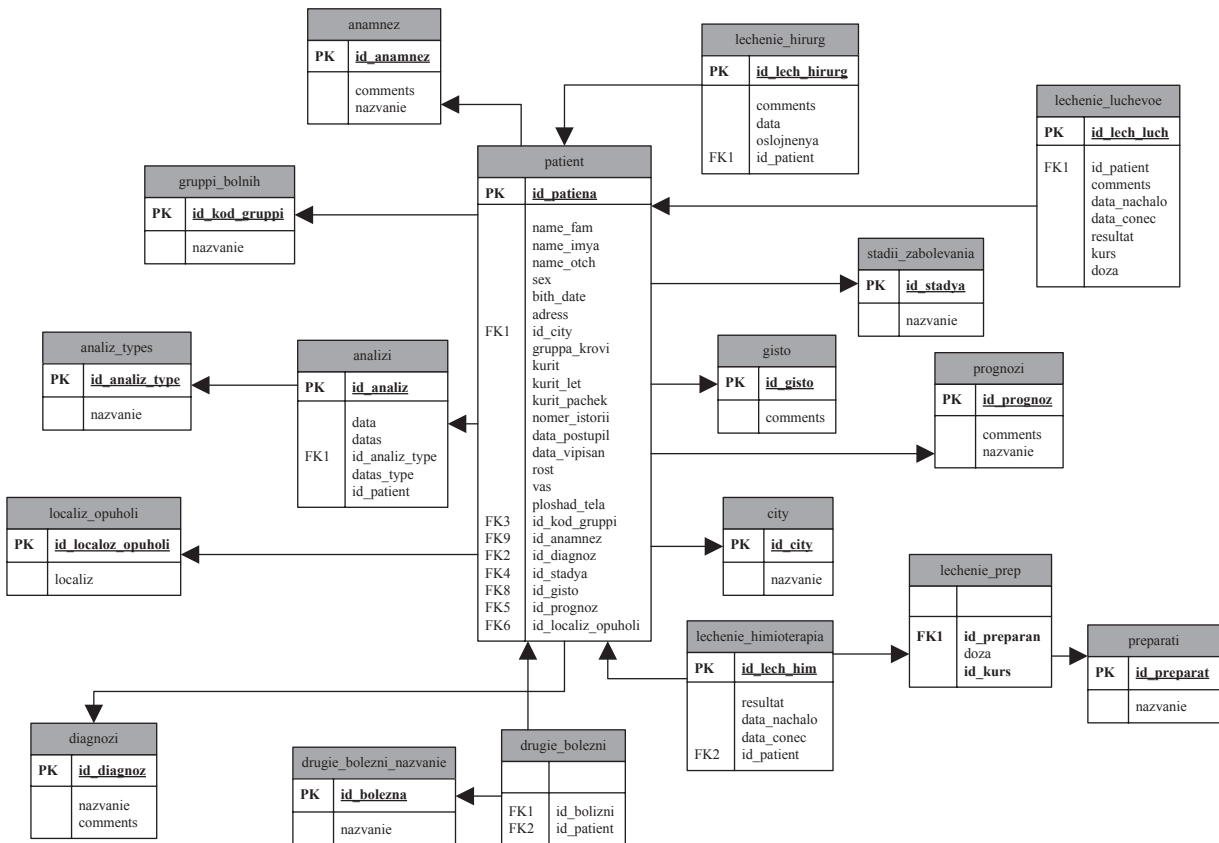
■ Рис. 2. Общий вид предметной области



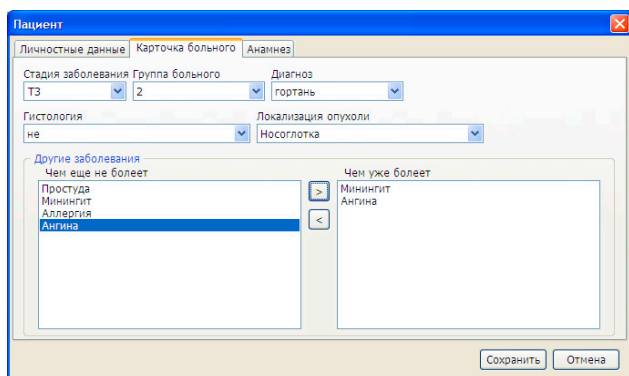
■ **Рис. 3.** Алгоритмы поступления пациента (а), назначения курса лечения врачом (б), реабилитации (в) и выписки (г) пациента



■ Рис. 4. Логическая модель данных



■ Рис. 5. Диаграмма, отображающая физическую модель базы данных



■ **Рис. 6.** Окно регистрации нового пациента с активной закладкой на медицинской информации

Заключение

В настоящее время проводится апробация информационной системы. Результаты внедрения показали эффективность использования информационной системы при голосовой реабилитации. Разработанное программное обеспечение для

оценки состояния голосового источника опробовано на более чем 150 пациентах, оно позволяет получать объективные оценки состояния голосового источника (гортани, голосовых складок, легких). Система для голосовой реабилитации применялась для повышения сокращения времени реабилитации и повышения качества голоса. На текущий момент проведена апробация на 30 пациентах. У ряда пациентов срок реабилитации сокращен до двух недель, в двух случаях возникновения голосовой функции добиться не удалось.

Планируется расширение функциональных возможностей системы для учета и проведения анализа различных сведений о пациентах. В частности, перспективным представляется интеллектуальный анализ всего спектра медицинских данных человека, на основе которых можно прогнозировать процесс восстановительного лечения пациента [10]. Кроме того, серьезной проблемой использования медицинских систем является обеспечение требований Федерального закона «О персональных данных»; для решения предлагается подход, изложенный в работе [11].

Литература

1. Гусев А. В. Медицинские информационные системы: состояние, уровень использования и тенденции // Врач и информационные технологии. 2011. № 3. С. 6–14.
2. Кицул И. С. и др. Повышение доступности медицинской помощи жителям сельской местности с использованием современных информационных технологий // Врач и информационные технологии. 2012. № 2. С. 6–16.
3. Гулиева И. Ф., Рюмина Е. В., Гулиев Я. И. Вопросы эффективности информационных технологий в медицине // Врач и информационные технологии. 2011. № 5. С. 6–18.
4. Гулиев Я. И., Малых В. Л. Архитектура HL-X поддержки документов в медицинских информационных системах // Информационно-управляющие системы. 2009. № 2. С. 63–69.
5. Бондаренко В. П. и др. Медико-технический комплекс для исследования речевого сигнала при нарушениях голосообразования // Медицинская техника. 2007. № 4. С. 11–13.
6. Бондаренко В. П. и др. Программные средства комплекса исследования речевого сигнала при злокачественных заболеваниях гортани // Медицинская техника. 2009. № 4. С. 33–37.
7. Чойнзонов Е. Л., Мухаммедов М. Р., Балацкая Л. Н. Рак гортани. Современные аспекты лечения и реабилитации. — Томск: Изд-во НТЛ, 2006. — 280 с.
8. Ронжин А. Л., Евграфова К. В. Анализ вариативности спонтанной речи и способов устранения речевых сбоев // Изв. вузов. Гуманитарные науки. 2011. Т. 2. Вып. 3. С. 227–231.
9. Кипяткова И. С. Комплекс программных средств обработки и распознавания разговорной русской речи // Информационно-управляющие системы. 2011. № 4. С. 53–59.
10. Зайцев А. А. и др. Метод прогнозирования эффективности восстановительного лечения на основе дерева решений // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2010. № 5. С. 35–38.
11. Зыков В. Д., Мещеряков Р. В., Беляков К. О. Защита персональных медицинских данных в автоматизированных медицинских информационных системах лечебно-профилактических учреждений // Докл. Томского гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. 2009. Т. 1. № 2. С. 67–70.

УДК 612:821+612.76+612.82+612.833

ОСОБЕННОСТЬ АКТИВНОСТИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ

С. П. Романов,

доктор биол. наук, старший научный сотрудник
Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург

З. А. Алексанян,

канд. мед. наук, старший научный сотрудник
Институт мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН, г. Санкт-Петербург

Неинвазивным методом на человеке изучается особенность формирования нисходящих команд системой управления движениями к мышцам. Методами анализа последовательных временных рядов выявлены диапазоны частот, характеризующие структуру нисходящей активности. Данные интерпретируются в соответствии с представлениями о многоуровневой организации системы управления движениями.

Ключевые слова — управление движениями, изометрическое усилие, анализ временных рядов.

Введение

К настоящему времени выявлена структурная организация моторной системы, а методами современной томографии осуществляется анатомическое и функциональное картирование областей мозга, изменяющих активность при выполнении движений [1]. Необходимость многоуровневой организации системы управления движениями как иерархической структуры с кольцевыми связями была обоснована Н. А. Бернштейном, изучавшим биомеханику трудовых и спортивных движений [2]. Современное состояние исследований и эволюция взглядов на систему управления движениями представлены в обзоре М. Е. Иоффе [3]. На животных изучают нейронную организацию неокортекса и связь активности моторной коры и подкорковых структур с движением [4]. Функцию структур базальных ганглиев изучают при центральных патологиях моторной системы у человека, в частности, вызванных болезнью Паркинсона [5].

Функциональное состояние моторной системы человека оценивают по параметрам выполняемых движений, анализируя их биомеханическую структуру [6]. Для раскрытия механизмов регуляции целенаправленных движений изучают особенности кортикального управления пальцами рук при планировании движений [7, 8]. Исследуя параметры тремора в норме и при патологических состояниях структур моторной систе-

мы, подчеркивают, что генерация тремора связана с механизмами управления изометрической силой, а не с механизмами, вовлеченными в регуляцию позы [9, 10]. С возрастом снижается функциональная активность систем организма, в том числе и двигательной системы [11, 12].

Как тестирующую процедуру изометрическое усилие (ИУ) используют в исследовании мышечной активности для изучения особенностей управления движениями [13, 14]. Мы впервые применили регистрацию произвольно удерживаемого ИУ для оценки функционального состояния и диагностики патологий моторной системы у пациентов [15, 16]. В этом случае параметры произвольно управляемого ИУ служат индикаторами интегральной активности моторной системы. Как образная характеристика интегративной деятельности ЦНС в начале XX в. введен термин «воронка Шеррингтона», под которым понимают, что мотонейроны сегментарного уровня являются «конечным путем» для всех поступающих в организм сенсорных сигналов и формируемых в центральных отделах моторной системы команд управления. Следовательно, в активности мотонейронных пулов заключена информация о структуре управляющих команд, нисходящих от всех уровней моторной системы по пирамидному пути и экстрапирамидным трактам; и именно параметры ИУ дают наиболее полную картину интегральной активности центральных структур моторной системы, так как эта информация не

искажена последовательным преобразованием силы мышечного сокращения в ускорение, скорость и смещение подвижных звеньев, как это происходит при регистрации тремора датчиками движения. Кроме того, удерживая ИУ, испытуемый пропорционально силе произвольно активирует области моторной системы, в кольцевых структурах которой возникает и поддерживается циклическая активность, формирующая моторный выход. Задача исследования связана с выявлением параметров нисходящей активности, формируемой на разных уровнях моторной системы, характеризующих структурно-функциональные отношения между регуляторными механизмами, обеспечивающими «построение движений».

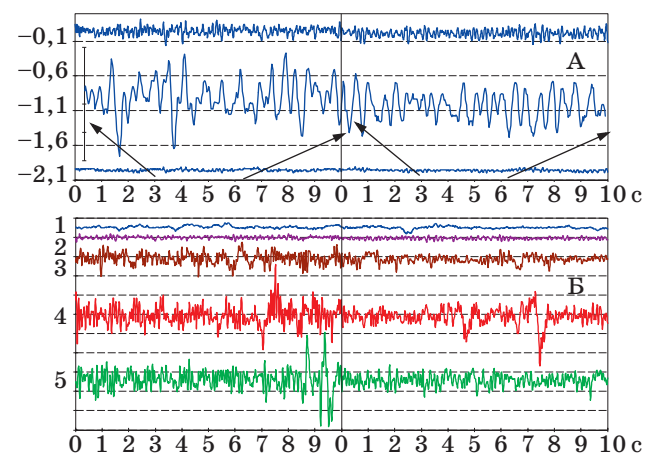
Целью настоящей работы было показать особенности формирования нисходящей активности у здоровых испытуемых разных возрастных групп при длительном удержании усилия и выявить принципиально новые параметры моторного выхода, позволяющие визуализировать в графической форме интегративную активность ЦНС.

Процедура тестирования

Методология нашего подхода к неинвазивному исследованию активности моторной системы описана ранее [17]. Испытуемые сидят перед монитором за столом, на котором расположены два тензометрических измерителя силы. Пальцами выпрямленных вперед рук испытуемые касаются соответствующих опорных поверхностей и следят за величиной собственного усилия по смещению меток на экране монитора. Метки смещаются вдоль вертикальной оси экрана пропорционально прикладываемому усилию. Испытуемых просили удерживать максимальное усилие как можно дольше, совмещая на одном уровне метки для правой и левой руки. Протокол тестирования одобрен комитетом по этике Института мозга человека им. Н. П. Бехтерева РАН. От всех испытуемых было получено информированное согласие на участие в исследовании. Усилие каждой руки регистрировали в начале непрерывного теста, на момент отказа, когда испытуемые сообщали, что больше не могут удерживать усилие достаточно точно в заданном диапазоне, и как контроль после 40 мин отдыха. Усилие преобразовывалось в аналоговое напряжение, которое через аналого-цифровой преобразователь вводили в память компьютера для отображения в реальном (on-line) времени на экране монитора и для последующей (off-line) обработки. Частота квантования аналогового сигнала составляла 100 Гц. Длительность регистрации выбрана 30 с, чтобы получить достаточное количество точек измерений для статистически достоверной оцен-

ки параметров временных последовательностей. Результаты тестирования обрабатывались по общепринятой методике с определением $X_{cp} \pm SD$, спектральный анализ проводили методом быстрого преобразования Фурье, достоверность различий оценивали с помощью t-критерия Стьюдента и критерия Фишера, а графический материал представлен с использованием программы Excel-2000. Анализировали временные последовательности ИУ как произвольной компоненты управления и колебания этого усилия относительно текущего усредненного значения, рассматриваемые как произвольный компонент управления.

Рассмотрены результаты тестирования 30 практически здоровых испытуемых в возрасте 14–70 лет без нарушения движений. Все испытуемые удерживали усилие около 4 кг в течение нескольких минут. Для пояснения методики тестирования и объяснения первичных данных, значительно отличающихся методологически от регистрации акселерометрами тремора как произвольного компонента движения, на рис. 1 представлены 10-секундные фрагменты тензограмм ИУ и произвольной компоненты управления испытуемого С24. Увеличенный по амплитуде и растянутый по времени между третьей и шестой секундами фрагмент в центре рис. 1А показывает сложную структуру колебаний ИУ, удерживаемого с силой 2,01 кг, которые можно разложить на компоненты, соотносимые с разными уровнями управления моторной системы. Особенность нашего подхода заключается в том, что произвольный компонент управления выделяется при разных состояниях произвольной активации (возбуждения) моторной системы, необходимой для удержания требуемой величины усилия. Изменение формы и амплитуды колебаний произвольной компоненты в зависимости от силы и условий тестирования (1–5) в сопостави-



■ Рис. 1. Фрагменты временных рядов ИУ

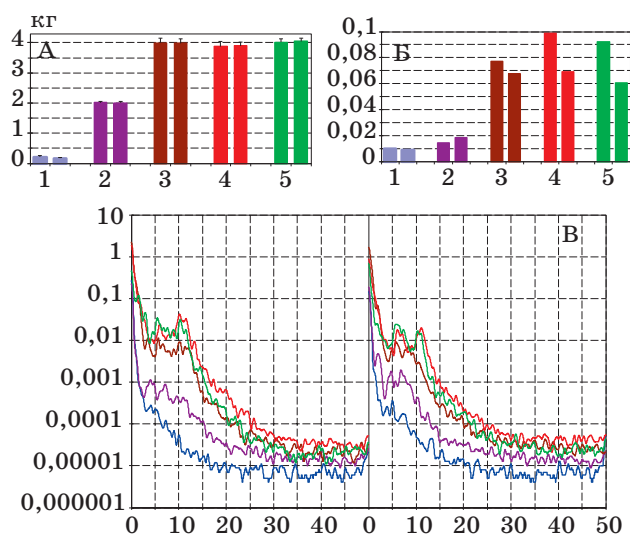
мом масштабе показывает рис. 1Б. Усилие удерживается испытуемым одновременно левой и правой рукой (на рисунке здесь и далее соответственно слева и справа от центральной оси; деление шкалы 200 г) в условиях зрительной обратной связи.

При минимальном усилии, когда пальцы слегка касаются датчиков силы (линия 1), параметры колебаний непроизвольной компоненты ИУ могут быть сопоставимы с характеристиками тремора, обычно регистрируемого датчиками ускорения. Увеличение усилия до 0,5 максимальной силы сопровождается увеличением амплитуды непроизвольных колебаний (линия 2), которые в увеличенном временном масштабе представлены на рис. 1А. При удержании максимального усилия непроизвольные колебания (линия 3) становятся нерегулярными с вспышками повышенной амплитуды и частоты. Длительное удержание максимального усилия делает невозможным точное удержание меток на экране монитора, что сопровождается синхронными в левой и правой руке коррекционными вспышками (линия 4) подстройки усилия к заданному уровню слежения. После отдыха в течение 40 мин тест на 30-секундное удержание максимального усилия показывает более равномерную амплитуду непроизвольной компоненты (линия 5), а коррекционная вспышка в левой руке, очевидно, связана с отвлечением внимания или потерей концентрации. Усредненные за 30 с в тестах 1–5 статистические параметры силы произвольно удерживаемого ИУ, а также стандартные отклонения непроизвольной компоненты показаны соответственно на рис. 2 (А и Б). Удержание минимального усилия ($0,215 \pm 0,050$) кг и ($0,167 \pm 0,037$) кг менее точно для левой и правой руки в сравнении с усилием ($2,011 \pm 0,049$) кг и ($2,007 \pm 0,047$) кг. Максималь-

ное усилие ($3,992 \pm 0,156$) кг и ($3,979 \pm 0,158$) кг удерживается достаточно точно в начале длительного удержания, но на момент отказа ($3,876 \pm 0,160$) кг и ($3,898 \pm 0,118$) кг уменьшается и удерживается с разной точностью для левой и правой руки. После отдыха тест на удержание усилия ($4,010 \pm 0,108$) кг и ($4,043 \pm 0,102$) кг осуществляется с большей точностью.

Показателем нормы в регуляции движений является параболический прирост стандартного отклонения (амплитуды) колебаний непроизвольной компоненты при линейном увеличении произвольного ИУ.

Особенности организации управления моторной системой отражены в огибающих спектральной плотности (СП) произвольного усилия (рис. 2В), которые характеризуют структуру нисходящей активности к исполнительному аппарату. Нижняя линия СП относится к минимальному усилию (одинаковые цвета линий соответствуют тестам 1–5). Экспоненциальный спад кривой показывает отсутствие патологического тремора в покое, что служит диагностическим критерием состояния моторной системы. Увеличение усилия сопровождается увеличением амплитуд СП в диапазоне $2,5 \div 12$ Гц с характерным дальнейшим экспоненциальным спадом. Составляющие спектра в области свыше 2,5 Гц возрастают не только с увеличением силы, но и в результате длительного удержания одного и того же уровня усилия (сравнить коричневую и красную огибающие спектра). После отдыха удержание той же величины максимального (тест 5) усилия сопровождается уменьшением нисходящей части кривой, которую связываем с мышечной активностью, и сохранением повышенной активности с максимумами в диапазоне $4 \div 6$ и $10 \div 12$ Гц, свидетельствующими об остаточной возбудимости в центральных структурах моторной системы. Полагаем, что в этом случае в циклическую активность вовлекаются все уровни иерархически организованной моторной системы, представление о которой сформулировано Н. А. Бернштейном [2, 18], обосновавшим необходимость кольцевой регуляции на основе сенсорных коррекций для выполнения движений. Регистрация усилия после 40 мин отдыха показала, что амплитуда колебаний непроизвольной компоненты уменьшилась, но все еще остается выше исходного уровня, характеризуя длительное сохранение повышенной возбудимости структур моторной системы после изометрической нагрузки. Следует заметить, что при удержании левой и правой рукой одинакового усилия колебания непроизвольной компоненты больше по амплитуде в более слабой руке. Существуют индивидуальные различия в амплитуде и частоте колебаний непроизвольной



■ Рис. 2. Статистические параметры произвольно удерживаемого усилия

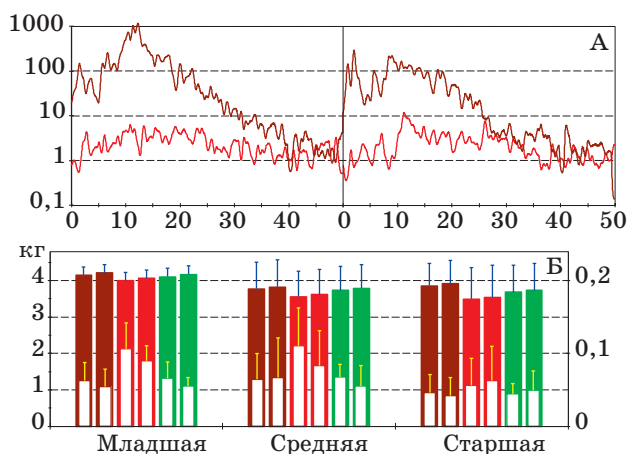
компоненты, но у всех испытуемых наблюдали увеличение этих параметров с увеличением длительности произвольного удержания усилия.

Анализ интегративной активности моторной системы

Выше продемонстрировано и ранее нами показано [16, 17], что в 30-секундных тестах амплитуда колебаний произвольной компоненты увеличивается по параболической зависимости с увеличением усилия. При длительном удержании ИУ амплитуда произвольной компоненты также растет со временем, характеризуя увеличение нисходящей интегральной активности к мотонейронным пулам при удержании ИУ на одном и том же уровне. Для понимания результатов дальнейшего усреднения увеличение активности при длительном удержании ИУ демонстрируем на примере огибающих СП рассматриваемого испытуемого (рис. 3А). Коричневая линия показывает увеличение значений СП при максимальном (тест 3) усилии по отношению к минимальному (тест 1) усилию, а красная линия характеризует изменение значений СП между моментами отказа (тест 4) и начала (тест 3) длительного удержания максимального усилия.

Наибольший прирост наблюдаем в диапазоне 10 ÷ 15 Гц в левой, более слабой руке. Красная линия характеризует добавочный прирост активности при длительном удержании максимального усилия, который можно рассматривать как резерв моторной системы. Предполагаем, что моменту «отказ», когда невозможно удержать метки на одном уровне, соответствует максимальное возбуждение всех центральных структур моторной системы.

Для анализа параметров интегральной активности моторной системы и особенностей управле-



■ Рис. 3. Характеристики произвольно удерживаемого усилия

ния ИУ исследуемых испытуемых разделили на 3 группы, выбрав по 10 человек в каждой, чтобы выявить возрастные отличия в управлении или организации нисходящих моторных команд.

Характеристика длительного удержания произвольного усилия в группах

Для анализа параметров усилия в группах для каждого испытуемого вычислили среднее значение удерживаемого за 30 с усилия и стандартное отклонение этого усилия в начале теста, на момент отказа от продолжения теста и в контроле. Также вычисляли стандартные отклонения произвольной компоненты, т. е. колебаний произвольно удерживаемого усилия относительно текущего усредненного значения. Естественно, что среднее колебаний произвольной компоненты стремится к нулевому значению. Так как оценивались исходные временные последовательности, содержащие по 3000 точек измерений, то все индивидуальные вычисленные значения различаются в *t*- и *F*-тестах как между левой и правой рукой, так и в разные моменты тестирования с высоким уровнем достоверности ($p << 0,001$). Поэтому мы ужесточили требования и анализировали для каждой возрастной группы средние от вычисленных индивидуальных значений одноименных параметров. То есть были вычислены для каждой возрастной группы испытуемых средние в группе от усредненных индивидуальных значений произвольной силы (*F*), от стандартных отклонений этой силы и от стандартных отклонений произвольной компоненты (ΔF) усилия. Усредненные в группах параметры произвольно удерживаемого ИУ в разные моменты тестирования представлены на рис. 3Б.

Несмотря на индивидуальный разброс средних максимальных ИУ в пределах 3,5–4,5 кг, средние усилия в группах на начало тестирования были примерно одинаковы. В младшей группе (возраст 14–15 лет) среднее произвольного усилия больше усилия в старших возрастных группах. Среднее усилие в правой руке больше, чем в левой руке во все моменты регистрации и во всех возрастных группах (все испытуемые были праворукие). И действительно, парный *t*-тест выявил существенные различия средних значений произвольной силы между правой и левой рукой в начале теста, на момент отказа и в контроле во всех возрастных группах. Характерно, что в начале теста вероятность сходства средних усилий между левой и правой рукой в младшей группе наименьшая ($p < 0,002$) и еще уменьшается на момент отказа и в контроле. В средней группе (20–30 лет) вероятность сходства больше ($p < 0,014$), но также уменьшается на момент отказа ($p = 0,002$) и в контроле ($p < 0,0003$). То есть по мере удерж-

■ **Таблица 1.** Вероятности сходства параметров между началом (Н) теста, на момент отказа (О) и в контроле (К) в возрастных группах

| Параметр | Тест | Критерий достоверности | Младшая | | Средняя | | Старшая | |
|-------------------|------|------------------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | | | Левая | Правая | Левая | Правая | Левая | Правая |
| <i>F</i> | Н/О | t-тест | 0,091 | 0,108 | 0,053 | 0,074 | 0,032* | 0,032* |
| | | Ф-тест | 0,826 | 0,910 | 0,906 | 0,835 | 0,334 | 0,362 |
| | О/К | t-тест | 0,061 | 0,064 | 0,014* | 0,010* | 0,032* | 0,038* |
| | | Ф-тест | 0,884 | 0,999 | 0,827 | 0,843 | 0,612 | 0,645 |
| | Н/К | t-тест | 0,471 | 0,508 | 0,536 | 0,605 | 0,157 | 0,136 |
| | | Ф-тест | 0,942 | 0,911 | 0,736 | 0,685 | 0,642 | 0,648 |
| σF | Н/О | t-тест | 0,271 | 0,596 | 0,138 | 0,051 | 0,973 | 0,323 |
| | | Ф-тест | 0,322 | 0,010* | 0,398 | 0,567 | 0,900 | 0,291 |
| | О/К | t-тест | 0,003* | 0,000* | 0,438 | 0,554 | 0,516 | 0,545 |
| | | Ф-тест | 0,254 | 0,831 | 0,035* | 0,127 | 0,024* | 0,227 |
| | Н/К | t-тест | 0,131 | 0,177 | 0,101 | 0,342 | 0,400 | 0,639 |
| | | Ф-тест | 0,038* | 0,017* | 0,184 | 0,328 | 0,032* | 0,875 |
| $\sigma \Delta F$ | Н/О | t-тест | 0,001* | 0,001* | 0,012* | 0,472 | 0,584 | 0,094 |
| | | Ф-тест | 0,287 | 0,754 | 0,330 | 0,722 | 0,372 | 0,064 |
| | О/К | t-тест | 0,000* | 0,000* | 0,010* | 0,019* | 0,552 | 0,208 |
| | | Ф-тест | 0,181 | 0,081 | 0,004* | 0,126 | 0,013* | 0,101 |
| | Н/К | t-тест | 0,675 | 0,915 | 0,741 | 0,529 | 0,839 | 0,291 |
| | | Ф-тест | 0,775 | 0,043* | 0,042* | 0,063 | 0,095 | 0,817 |

* $p < 0,05$.

жания усилия в младшей и средней группах возрастают различия (вероятность сходства уменьшается) между усилиями правой и левой руки. В старшей группе (58–70 лет) вероятность сходства на начало тестирования еще больше ($p <$

$< 0,018$), но, в противоположность младшим группам, увеличивается на момент отказа ($p < 0,025$) и в контроле ($p = 0,035$). На момент отказа среднее усилие во всех группах меньше, чем в начале теста и в контроле.

■ **Таблица 2.** Вероятности сходства параметров между группами

| Группа | Параметр | Критерий достоверности | Начало | | Отказ | | Контроль | |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|
| | | | Левая | Правая | Левая | Правая | Левая | Правая |
| Младшая / средняя | Усилие <i>F</i> | t-тест | 0,151 | 0,167 | 0,050* | 0,053 | 0,097 | 0,094 |
| | | Ф-тест | 0,001* | 0,001* | 0,003* | 0,003* | 0,004* | 0,005* |
| | σF | t-тест | 0,536 | 0,743 | 0,835 | 0,935 | 0,992 | 0,913 |
| | | Ф-тест | 0,589 | 0,665 | 0,198 | 0,007* | 0,792 | 0,277 |
| | $\sigma \Delta F$ | t-тест | 0,870 | 0,503 | 0,780 | 0,744 | 0,854 | 0,998 |
| | | Ф-тест | 0,310 | 0,020* | 0,354 | 0,022* | 0,426 | 0,013* |
| Младшая / старшая | Усилие <i>F</i> | t-тест | 0,234 | 0,245 | 0,133 | 0,117 | 0,126 | 0,121 |
| | | Ф-тест | 0,005* | 0,004* | 0,001* | 0,001* | 0,002* | 0,002* |
| | σF | t-тест | 0,312 | 0,149 | 0,105 | 0,112 | 0,345 | 0,625 |
| | | Ф-тест | 0,865 | 0,125 | 0,343 | 0,032* | 0,803 | 0,429 |
| | $\sigma \Delta F$ | t-тест | 0,200 | 0,324 | 0,001* | 0,097 | 0,025* | 0,553 |
| | | Ф-тест | 0,994 | 0,918 | 0,855 | 0,026* | 0,158 | 0,020* |
| Средняя / старшая | Усилие <i>F</i> | t-тест | 0,811 | 0,785 | 0,870 | 0,848 | 0,879 | 0,875 |
| | | Ф-тест | 0,637 | 0,642 | 0,537 | 0,510 | 0,742 | 0,692 |
| | σF | t-тест | 0,559 | 0,239 | 0,152 | 0,271 | 0,208 | 0,475 |
| | | Ф-тест | 0,711 | 0,262 | 0,724 | 0,523 | 0,608 | 0,760 |
| | $\sigma \Delta F$ | t-тест | 0,303 | 0,321 | 0,021* | 0,431 | 0,025* | 0,634 |
| | | Ф-тест | 0,306 | 0,026* | 0,270 | 0,950 | 0,526 | 0,855 |

* $p < 0,05$.

Сравнение дисперсии по критерию Кохрена отделяет младшую группу от старших по параметрам удержания произвольного усилия и объединяет ее со средней группой по параметрам произвольной компоненты. Кроме того, *t*-тест выявил достоверные различия в параметрах произвольного усилия в правой и в левой руке в старшей группе между началом и отказом и между отказом и контролем, в средней группе только между отказом и контролем, а в младшей группе не выявлено существенных различий в удержании произвольной силы между моментами тестирования. В табл. 1 приведены значения вероятностей этих различий, а также различий между моментами тестирования для усредненных в группах стандартных отклонений произвольного усилия (σF) и произвольной компоненты ($\sigma \Delta F$), вычисленных по *t*-критерию Стьюдента для сравнения средних значений, а по критерию Фишера — для дисперсий.

По параметрам удержания произвольного усилия *t*-критерий не выявляет существенных различий между возрастными группами, кроме как на грани достоверности ($p = 0,05$) в левой руке между младшей и средней группой на момент отказа. Однако Φ -тест выявил существенные различия ($p < 0,005$) в дисперсии удержания произвольного усилия между младшей и старшими группами, т. е. также отделил младшую группу от старших. Другие вероятности сходства параметров между возрастными группами представлены в табл. 2.

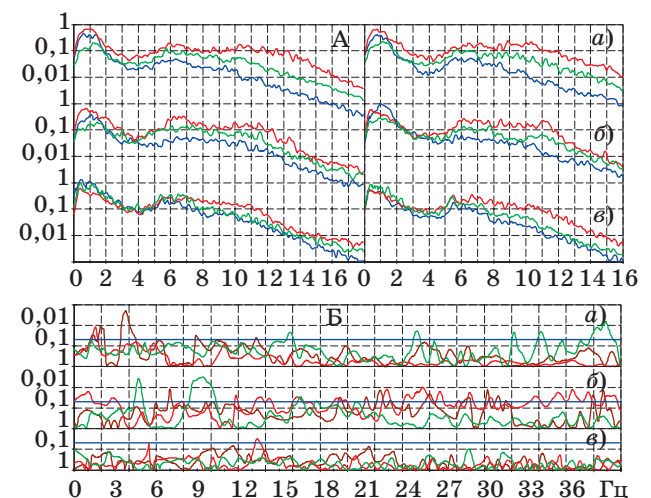
Таким образом, проведенный статистический анализ отделяет младшую группу от старших групп по параметрам управления произвольным ИУ, а старшую группу отделяет от младших по параметрам произвольной компоненты управления.

Характеристики произвольной компоненты

Что же изменяется в структуре колебаний произвольной компоненты при длительном удержании максимального усилия? Анализ распределения частот в СП выполнен с целью выделить из исходных временных последовательностей преобладающие частоты, весовые коэффициенты которых (амплитуды отдельных составляющих спектра) достоверно изменяются по мере выполнения теста. Для выявления амплитудно-частотных различий в распределении составляющих спектра внутри группы в различные моменты регистрации и между группами индивидуальные СП каждого испытуемого, относящиеся к разным моментам тестирования, нормировали отдельно для левой и правой руки и по отношению к максимальному значению СП на момент отказа. Затем индивидуальные нормированные

СП суммировали и усредняли в каждой возрастной группе. С целью анализа частотных диапазонов активности в трех группах (*a* — *в*) испытуемых усредненные нормированные СП на момент начала теста, отказа от продолжения теста и в контроле после отдыха показаны на рис. 4А.

Паттерны распределения СП у здоровых испытуемых в начале теста (синяя линия) подобны. Характерны пик в области 0–2 Гц, снижение амплитуд СП в области 3–5 Гц и дальнейший подъем огибающей спектра с максимумом около 6 Гц с последующим спадом. На момент отказа (красная линия) от удержания максимального усилия амплитуда спектра возрастает в областях 0–2 Гц и свыше 6 Гц с расширением диапазона повышенной активности в область более высоких частот, хотя удерживается тот же уровень усилия. Таким образом, в СП произвольной компоненты четко выделяются 4 характерные области. В области 0–2 Гц наблюдаем рост составляющих СП с выраженным максимумом. В диапазоне 3 ÷ 5 Гц сохраняется минимум амплитуд СП на частоте 4 Гц. Повышенной активностью характеризуется диапазон 6 ÷ 12 Гц, за которым амплитуды СП убывают по экспоненциальному закону. Полагаем, что в формировании активности в этих областях принимают участие разные по функции уровни моторной системы, а на момент отказа все супраспинальные структуры моторной системы вовлечены в повышенную циклическую активность. Длительное удержание максимального усилия сопровождается наибольшим приростом амплитуд СП в младшей (*a*) группе во всем диапазоне частот. В старшей (*в*) группе на протяжении теста практически отсутствует изменение активности в области 2–6 Гц и минимальный прирост ак-



■ Рис. 4. Спектры плотности (А) и вероятности сходства распределения частот между левой и правой рукой (Б) в разные моменты тестирования в группах

тивности в диапазоне свыше 6 Гц в сравнении с младшими испытуемыми. После отдыха СП (зеленая линия) в диапазоне 0÷2 Гц в младшей (а) и средней (б) группах меньше, чем в начале теста и на момент отказа. В старшей группе СП в диапазоне 0 ÷ 2 Гц после отдыха выше, чем на момент отказа. Во всех группах остаточная активность в диапазоне свыше 6 Гц после отдыха выше, чем в начале теста.

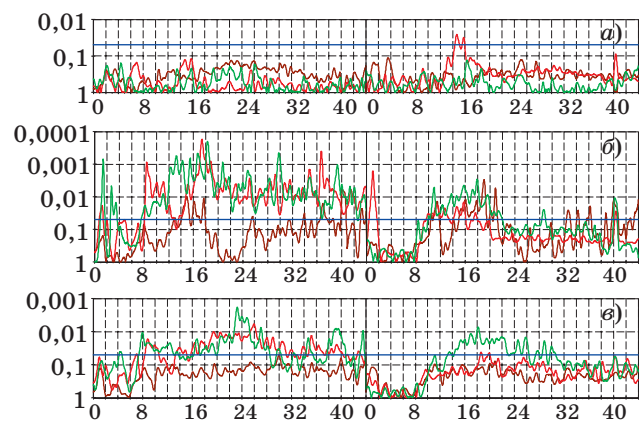
Активность в диапазоне 0 ÷ 2 Гц характеризует произвольную компоненту управления, соответствующую наивысшим уровням анализа сигнала в ЦНС с оценкой положения меток на экране монитора и принятия решения о инициации движения и выполнении коррекции положения меток при их отклонении от заданного уровня. Из клинических наблюдений [19, 20] известно, что нарушение активности мозжечка вызывает тремор в области 3–4 Гц. Тремор в диапазоне 5 ÷ 6 Гц регистрируют при болезни Паркинсона, когда нарушено нормальное функционирование структур базальных ганглиев. Полагают, что спинной мозг, внутренняя олива, таламус и кора больших полушарий являются только несколькими из возможных источников тремора от 8 до 12 Гц, при этом показано, что в тесте на утомление при ИУ увеличивается билатеральная синхронизация двигательных единиц (ДЕ) в этой области частот [21]. Полагаем, что область частот свыше 12–16 Гц, где спектральная плотность монотонно убывает, определена не циклической активностью, а интерференцией мышечных сокращений ДЕ, участвующих в формировании ИУ. Возникающая в рефлекторных проприоцептивных цепях циклическая активность передается не только на сегментарные мотонейроны, а по сенсорным восходящим трактам модулирует активность супраспинальных структур на более низких частотах в соответствии с их уровнем организации.

Несмотря на видимое сходство распределения составляющих, в СП правой и левой руки выделяются области частот с достоверными различиями, не совпадающие в разных возрастных группах. На рис. 4Б вероятности сходства представлены в логарифмическом масштабе и выделены цветом: коричневый — начало, красный — отказ, зеленый — контроль. По критерию Стьюдента выявлены значимые различия ($p < 0,05$, обозначен синей горизонтальной прямой) в младшей группе в начале теста в диапазонах 1,4 ÷ 2,2 и 3,4 ÷ 4,5 Гц и на момент отказа на частоте 1,6 Гц, а в контроле на отдельных участках спектра в диапазоне 15 ÷ 40 Гц. Для средней группы различия выявлены в начале теста на частоте 7 Гц и в областях 22–30 Гц и свыше 38 Гц и на момент отказа на частотах 1 и 3 Гц и отдельными областями СП в диапазоне 11 ÷ 39 Гц, а в контроле — в диапазонах

4,4 ÷ 5,0 и 8,4 ÷ 10,4 Гц. В старшей группе различия в СП выявлены только на момент отказа на частоте 13,4 Гц. Таким образом, больше всего участков спектра с достоверными различиями между левой и правой рукой выявляется на момент отказа в средней группе, очевидно, показывающая выраженную «рукость» в возрасте 20–30 лет.

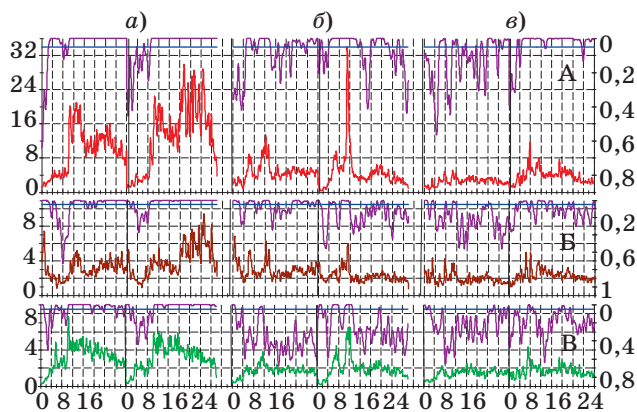
За счет каких компонент управления и в каком диапазоне частот происходят изменения активности при длительном удержании усилия в каждой возрастной группе? Для этого мы вычислили достоверности различий каждой спектральной составляющей в усредненных по каждой группе испытуемых огибающих СП (рис. 5). Между младшей и средней группами (а) значимые различия выявлены только на момент отказа (красная линия) от продолжения теста в правой руке на частотах 14–16 Гц. Между младшей и старшей группами (б) эти различия проявляются во всех тестах и наиболее выражены на момент отказа и в контроле (зеленая линия) в левой руке на частотах свыше 8 Гц, а в правой руке — в диапазоне 10 ÷ 20 Гц. Нет значимых различий в СП между средней и старшей группами (в) в начале тестирования. Но они проявляются в диапазонах 8÷10 Гц и свыше 13 Гц в левой руке на момент отказа и сохраняются в контроле на частоте 8–13 и 16–28 Гц, а в правой руке проявляются только в контроле в диапазоне частот 14 ÷ 30 Гц.

Непроизвольная компонента не выявляет достоверных различий в огибающих СП между младшей и средней группой (рис. 5а) практически во всем анализируемом диапазоне частот как в левой, так и в правой руке. Наибольшие различия выявлены между младшей и старшей группой (рис. 5б). Характерен диапазон частот 2 ÷ 8 Гц, в котором не выявлено различий в СП правой руки между младшими и старшей по возрасту группой.



■ Рис. 5. Достоверности различий в спектральной плотности непроизвольной компоненты для левой и правой руки между группами

Чтобы оценить изменения в произвольной компоненте удерживаемого ИУ, происходящие в каждой возрастной группе по мере выполнения теста, мы разделили значения огибающей СП в момент отказа на значения огибающей СП в начале теста и в контроле. Так же получили частное от деления СП между контролем и началом и вычислили вероятности схождения этих изменений. Результаты вычисления отношений огибающих СП и достоверности различий между различными моментами (А — отказ/начало, Б — отказ/контроль, В — контроль/начало) тестирования и для разных (*a* — *в*) возрастных групп демонстрирует рис. 6. Шкала слева показывает увеличение амплитуд СП, шкала справа — достоверность различий; синей линией выделен уровень $p = 0,05$. В младшей (*a*) группе выявлен наибольший прирост амплитуд СП в широком диапазоне частот на момент отказа (красная линия), а также при сравнении контроля и отказа (коричневая линия) и начала с контролем (зеленая линия), когда после 40 мин отдыха сохраняется повышенная в результате длительной нагрузки активность структур моторной системы. Различия (лиловая линия) между ними значимы на уровне $p < 0,05$ в области 10–32 Гц, а также в диапазоне $0 \div 1$ Гц между контролем и отказом и началом тестирования. В средней (*б*) группе прирост амплитуд составляющих СП меньше и характеризуется двумя пиками на частотах 6 и 12 Гц, причем в правой руке увеличение амплитуд СП в области 10–12 Гц более чем в 30 раз на момент отказа. В старшей (*в*) группе эти показатели изменения амплитуд СП меньше, и на момент отказа в правой руке превышают исходный уровень спектра только в 8–10 раз отдельными пиками преимущественно в области 8–12 Гц. Сравнение СП в контроле и в начале теста показывает наибольшую «остаточную активность» в младшей



■ Рис. 6. Отношение огибающих и достоверность различий (лиловая линия) спектральной плотности для разных групп испытуемых

группе. Их СП близки по амплитуде и распределению частот в левой и правой руке. В средней группе заметное увеличение активности сохраняется в правой руке на частотах 6–8 и 10–14 Гц, а в старшей — в области 7 Гц. Если в младшей группе значимые различия в СП сохраняются между всеми моментами тестирования, то в старших группах такие различия фрагментарны между началом и отказом и, по существу, отсутствуют между отказом и контролем и контролем и началом теста.

Увеличение СП при длительном удержании ИУ рассматриваем как возможный функциональный резерв активности ЦНС, который оказался наибольший в возрасте 14–15 лет. Представленные оценки параметров ИУ показали существенные изменения в активации моторной системы с возрастом. Область 2–8 Гц — область наибольшего подобия спектров в правой руке у всех групп независимо от момента тестирования не столь выражена в левой руке. Возможно, это особенность кольцевой регуляции ИУ или особенность межполушарной организации активности мозга для испытуемых-правшей.

Мы применили длительное удержание ИУ, чтобы вызвать циклическую активность не только на сегментарном уровне управления, но и попытаться активировать основные надсегментарные структуры моторной системы. Удержание ИУ вызывает в пирамидных путях и экстрапирамидных трактах, отличающихся протяженностью, скоростью проведения импульсных сигналов и разным количеством переключающих нейронов, циклическую активность, частота которой определена задержкой проведения в сенсорных и моторных трактах и длительностью преобразования сигналов в нейронных структурах моторной системы. Если самым низким (рефлекторным) уровнем кольцевой регуляции является сегментарный, то ко второму уровню регуляции можно отнести сенсорно-моторную область коры больших полушарий, разместив ее между сегментарным уровнем и подкорковыми структурами. О таком ее функциональном положении писал Э. В. Эвартс [22, 23], регистрируя активность нейронов моторной коры у обезьян в условиях фиксации позы и управления интенсивностью статических сил. Чем выше уровень регуляции, тем ниже частота формируемой с его участием циклической активности. Нами проанализированы изменения в частотно-амплитудных характеристиках произвольной компоненты управления в зависимости от длительности удержания максимального усилия. Удержание одной и той же величины усилия приводит к увеличению активности в моторной системе, вызывая ее потенциацию. Длительное удержание максимального

усилия может ограничить активность мотонейронов по цепям торможения, например, через афферентные системы сухожильных органов Гольджи. Также сказывается и реципрокное торможение, очевидно, существующее на всех уровнях ЦНС. Это подтверждает тот факт, что испытуемым легче удерживать одинаковые уровни ИУ отдельно каждой рукой, чем одновременно двумя руками. Встречающееся на всех уровнях ЦНС возвратное торможение по типу системы α -мотонейрон — клетка Реншоу служит не только механизмом двигательного контраста на сегментарном уровне, как предполагал Р. Гранит [24], но и механизмом десинхронизации в параллельных эфферентных трактах, обеспечивающим асинхронную активность в нейронных пулах. В частности, на сегментарном уровне оно обеспечивает десинхронизацию активности в мотонейронных пулах и, как следствие, асинхронное сокращение мышечных волокон ДЕ при выполнении движений [25]. Полагаем, что возвратное торможение мотонейронов перераспределяет активность между ДЕ вследствие утомления. Уменьшение их вклада в развитие усилия произвольно компенсируется (в режиме слежения за величиной собственного усилия) испытуемым увеличением нисходящей супраспинальной активности на сегментарные мотонейронные пулы для поддержания требуемого уровня усилия [26].

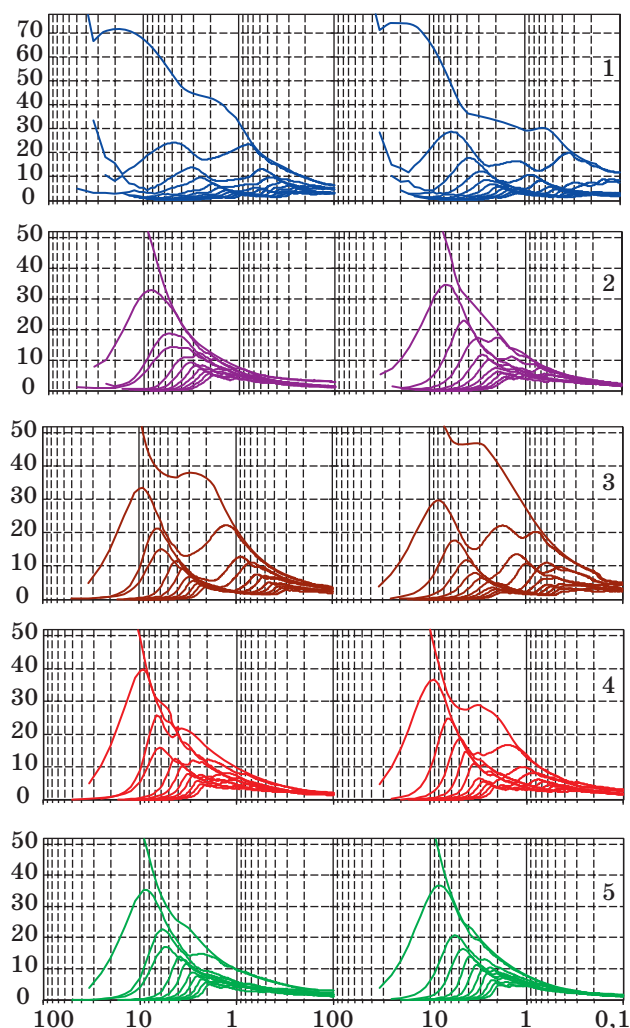
Здесь следует подчеркнуть, что в наших условиях исследования утомление отдельных ДЕ, вызывая перераспределение активности между ними, не приводит к общему мышечному утомлению, так как не происходит значительного снижения произвольно удерживаемой максимальной силы (см. рис. 3Б), обычно падающей на 25–30 % в тестах на утомление мышцы [27].

Если в начальный момент перед длительным удержанием максимального ИУ не выявляется активность в области 4–6 Гц, то в контроле, после 40 мин отдыха, она все еще регистрируется как длительная посттетаническая потенциация. У испытуемых старшей группы анализ огибающих СП показал значительное отличие функциональных отношений между основными структурами моторной системы управления. Основные блоки системы управления движениями и их связи между собой не исчезают с возрастом. Очевидно, меняется тонкая структура межнейронных связей внутри этих блоков и, как следствие, искажается выполняемая ими функция. Интересным фактом является то, что при удержании максимальной силы амплитуды составляющих СП в младшей группе на момент отказа увеличиваются в области 18–30 Гц до 30 раз (см. рис. 6) и в 60 раз при тестировании 0,5 максимальной силы [28].

Длительное сохранение активности в нейронных структурах мозга связывают с механизмами памяти. Наблюдая длительную потенциацию нейронов коры кошки, авторы [29] предполагают, что совместная активация кортико-кортикальных и таламо-кортикальных афферентов изменяет активность моторной коры в специфической области конвергенции сенсорных входов от таламуса и соматосенсорной коры. Исследование вертикальной позы у человека показывает, что ЦНС использует для управления неустойчивым локомоторным аппаратом устойчивые эффективные механизмы, целостность которых деградирует с возрастом. О том, что циклическая активность создается периферией и стволово-спинальная система управления находится под контролем больших полушарий и дистантной афферентации, докладывалось еще на XI съезде Физиологического общества им. И. П. Павлова [30].

Спектральный анализ по методу быстрого преобразования Фурье позволил получить оценки интегральной активности моторной системы, выделив характерную область произвольного управления 0–2 Гц и диапазон непроизвольной (автоматической) регуляции на частотах свыше 4 Гц (см. рис. 4А). Существует несколько глобальных контуров регуляции, самые короткие из которых от проприоцепторов мышц замыкаются на мотонейронах сегментарного уровня непосредственно и через сенсомоторную кору. Другие контуры регулирования образованы с участием структур базальных ганглиев и ядер таламуса. Участие мозжечка в наших условиях удержания ИУ должно быть минимальным. Это отражено минимальным значением СП в области 4 Гц.

Для верификации контуров регуляции мы применили метод разложения временных рядов, чтобы получить дополнительную информацию о структуре удерживаемого ИУ и характеристиках его составляющих. Результат разложения на главные компоненты (ГК) непроизвольных колебаний произвольного ИУ, фрагменты которых демонстрирует рис. 1, показан на рис. 7. Показаны огибающие первых 11 ГК разложения, дающие наибольший вклад [%] в исходные временные ряды, фрагменты которых представлены на рис. 1 и 2. ГК вычислялись с использованием базового алгоритма метода «SSA-гусеница» на каждом шаге квантования и представлены как огибающие значений вдоль частоты разложения. Первая ГК имеет наибольшее значение. Последующие ГК убывают соответственно их вкладу в исходный временной ряд. Рисунок показывает четкое выделение ограниченного количества ГК в диапазоне $2 \div 10$ Гц. Их положение относительно оси частот, очевидно, характеризует активность определенных структур моторной си-



■ Рис. 7. Разложение на главные компоненты произвольных колебаний произвольно удерживаемого ИУ в тестах 1–5

стемы. Эти данные представлены к широкой публикации впервые.

Первую ГК можно отнести к активности сегментарного уровня. Ее максимум в области выше 15–20 Гц может формироваться синхронизацией активности ДЕ. Максимум второй ГК характеризует явно выраженную циклическую активность, частота которой изменяется в диапазоне $7 \div 10$ Гц при разных условиях тестирования. Она может характеризовать активность второго контура регуляции, охватывающего сенсомоторную кору и мотонейроны сегментарного уровня. Третья ГК выявляет максимум в диапазоне $4,5 \div 6,5$ Гц, который можно связать со структурами базальных ганглиев, выход которых замыкается на двигательную кору через ядра таламуса, образуя третий контур управления. Чем длиннее контур или функционально выше расположена структура, тем меньше циклическая частота

и относительный вклад в суммарную активность. Активность каждой структуры, выраженная через паттерны ГК, перекрывается, а сумма значений всех ГК на данной частоте разложения равна 100 % в кривой ИУ. Повышение значений ГК на частотах ниже 2 Гц, очевидно, обусловлено вовлечением в процесс слежения за сигналом когнитивных функций с участием экстероцепторов и ассоциативной коры. Это согласуется с результатами фурье-анализа, где значения СП в области 0–2 Гц связываем с произвольно управляемыми следящими движениями. Следующих ГК может насчитываться несколько сотен, но вклад каждой убывает и может быть менее долей процента. В множественных параллельных, но асинхронно работающих контурах регуляции может реализовываться анализ положения меток на экране монитора, приниматься решение о необходимости коррекции их положения (но на каком уровне (?), если активность в базальных ганглиях и мозжечке появляется раньше, чем в моторной коре [22]) и, очевидно, исполняются моторные команды для соответствующего изменения усилий правой и левой руки.

Интересные аналогии выявляются с исследованиями А. М. Иваницкого [31], анализирующего последовательность прохождения сигналов по структурам мозга. Выделяемые при удержании ИУ ГК, характеризующие участие разных уровней моторной системы, позволяют вычислить разницу между максимумами циклической активности. В приведенном примере она меняется от 20 до 70 мс между соседними максимумами ГК, естественно, увеличиваясь до 110–140 мс, если брать через 2, 3 и т. д. ГК, что согласуется с данными А. М. Иваницкого о задержке прохождения сенсорных сигналов по структурам мозга. Согласно работе [32], в этом случае возможно подключение взаимодействия моторных ядер таламуса и сенсомоторной коры, между которыми формируются специфические и неспецифические кольцевые (включая тормозные) связи с участием коллатералей аксонов пирамидных клеток VI слоя коры.

Заключение

Изучение патологических состояний и механизмов управления движениями на человеке требует особого подхода к объекту исследования и выбору биометрических параметров, адекватных поставленной задаче. Хотя современные методы томографии позволяют наблюдать анатомические структуры ЦНС и отображать участие отдельных областей мозга в когнитивных или двигательных реакциях, функционирование целостной системы управления движениями как в здо-

ровом индивиду, так и при патологиях центрального происхождения остается на уровне гипотез. Предложенный нами метод неинвазивного исследования особенностей управления ИУ позволил объективно анализировать интегративную активность системы управления движениями. При произвольном управлении ИУ человек активирует структуры собственного мозга пропорционально удерживаемой им силе. Статистический анализ параметров ИУ и стандартные процедуры быстрого преобразования Фурье выявили частотные диапазоны циклической активности, которые могут быть соотнесены с активностью определенных структур моторной системы. На первое место встают проблемы наглядного отображения результатов обработки первичных данных для адекватной их интерпретации. Для анализа функционального состояния структур моторной системы мы применили метод анализа временных рядов, что позволило в дополнение к фурье-анализу разложить регистрируемое ИУ как исходный временной ряд на ГК, параметры которых добавляют новые критерии для мониторинга и дифференциальной диагностики вызванной или эндогенно существующей при патологии активности структур моторной системы. Нами установлено, что с возрастом уменьшается прирост активности в структурах моторной системы и сужен диапазон нисходящих влияний, обеспечивающий поддержание того же максимального усилия. Изменения в параметрах произвольного управления (т. е. собственно силы) отмечаются уже в возрасте 20–30 лет, а в параметрах произвольной компоненты управления, т. е. в системе автоматической регуляции, изменения наступают только в старшем возрасте. Доминирование руки четко выделяется в средней группе и не выражено для младшей и старшей по возрасту групп.

Мы рассматриваем наши данные с позиции механизмов гомеостатирования активности в кольцевых структурах моторной системы для выполнения целенаправленных движений. Представления о взаимосвязях и реализуемой ими функции в процессе «построения движений» необходимы для понимания инициации и текущей регуляции двигательных актов. Наш подход к ана-

лизу параметров длительно удерживаемого ИУ позволил выявить особенности активации моторной системы, возможно, характеризующие деструктивные процессы, развивающиеся с возрастом, а также выявить функциональную внутреннюю организацию активности в моторной системе, разложив исходный временной ряд регистрируемого ИУ как моторного выхода на вполне ограниченное количество (5–7) эффективных ГК в области 2–10 Гц автоматической регуляции. Полученные новые данные расширяют представления об активности в ЦНС человека, что необходимо учитывать в модельной интерпретации формирования моторного выхода, например, при изучении механизмов организации локомоторных актов.

Неинвазивная регистрация интегральной активности моторной системы открывает широкие возможности для анализа функционального состояния ЦНС в целях получения новых данных, которые невозможно получить, анализируя движение. Преимущество подхода заключается в объективной регистрации ИУ и в возможности анализа произвольной и непроизвольной компонент управления. В случае центральной патологии в структурах моторной системы возникают изменения эндогенной активности, наиболее характерные из которых диагностируются как синдром паркинсонизма. Предложенный метод регистрации упрощает процедуру тестирования, так как не требует наложения каких-либо датчиков на тело обследуемого. Для диагностики или контроля терапии уже недостаточно методов статистического и спектрального анализа. Применение новых методов анализа временных рядов и поиск дополнительных критериев оценки функционального состояния ЦНС необходимы как в области фундаментальных исследований для раскрытия принципов взаимодействия структур моторной системы при «построении движений», так и для изучения механизмов развития патологических состояний в ЦНС и их компенсации в процессе восстановления двигательной функции.

Направление данных исследований поддержано научной программой Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине» в 2009–2011 и 2012 гг.

Литература

1. Young M. P., Scannell J. W. Brain structure-function relationships: advances from neuroinformatics // *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2000. Vol. 355. N 1393. P. 3–6.
2. Бернштейн Н. А. О построении движений. — М.: Медгиз, 1947. — 256 с.
3. Иоффе М. Е. Мозговые механизмы формирования новых движений при обучении: эволюция классических представлений // *Журн. высш. нервн. деят.* 2003. Т. 53. № 1. С. 5–21.
4. Petrides M. Lateral prefrontal cortex: architectonic and functional organization // *Philos. Trans.*

- R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 2005. Vol. 360. N 1456. P. 781–795.
5. Kultas-Ilinsky K., Ilinsky I. A. (Eds) Basal Ganglia and Thalamus in Health and Movement Disorders. Kluwer Academic. — N.Y.: Plenum Publishers, 2001. — 378 p.
 6. Beek P. J., Dessing J. C., Peper C. E., Bullock D. Modelling the control of interceptive actions // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 2003. Vol. 358. N 1437. P. 1511–1523.
 7. Vaillancourt D. E., Newell K. M. Aging and the time and frequency structure of force output variability // J. Appl. Physiol. 2003. Vol. 94. N 3. P. 903–912.
 8. Olafsdottir H., Zhang W., Zatsiorsky V. M., Latash M. L. Age-related changes in multifinger synergies in accurate moment of force production tasks // J. Appl. Physiol. 2007. Vol. 102. N 4. P. 1490–1501.
 9. Koster B., Lauk M., Timmer J. et al. Central mechanisms in human enhanced physiological tremor // Neuroscience letters. 1998. Vol. 241. N 2–3. P. 135–138.
 10. Morrison S., Newell K. M. Postural and resting tremor in the upper limb // Clin. Neurophysiol. 2000. Vol. 111. N 4. P. 651–663.
 11. Mahncke H. W., Bronstone A., Merzenich M. M. Brain plasticity and functional losses in the aged: scientific bases for a novel intervention // Chapter 6. Prog. Brain Res. 2006. Vol. 157. P. 81–109.
 12. Young A. Ageing and physiological functions // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 1997. Vol. 352. N 1363. P. 1837–1843.
 13. Baudry S., Klass M., Duchateau J. Postactivation potentiation of short tetanic contractions is differently influenced by stimulation frequency in young and elderly adults // Eur. J. Appl. Physiol. 2008. Vol. 103. N 4. P. 449–459.
 14. Tracy B. L., Enoka R. Older adults are less steady during submaximal isometric contractions with the knee extensor muscles // J. Appl. Physiol. 2002. Vol. 92. N 3. P. 1004–1012.
 15. Romanov S. P., Pchelin M. G. The motor control output forming in healthy subjects and parkinsonian disorder patients // Basal Ganglia and Thalamus in Health and Movement Disorders. Kristy Kultas-Ilinsky and Igor A. Ilinsky, eds. NY.: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2001. P. 293–305.
 16. Романов С. П., Алексанян З. А., Манойлов В. В. Характеристики тремора в норме и при диагностике и терапии паркинсонизма // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2002. Т. 88. № 10. С. 1356–1368.
 17. Романов С. П., Алексанян З. А., Лысков Е. Б. Характеристики возрастной динамики активности моторной системы человека // Физиология человека. 2007. Т. 33. № 4. С. 82–94.
 18. Бернштейн Н. А. Очередные проблемы физиологии активности // Проблемы кибернетики. М.: Физмат. лит. 1961. Вып. 6. С. 101–160.
 19. Elble R. J., Koller W. C. Tremor. — Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990. — 204 p.
 20. Нейродегенеративные заболевания: Фундаментальные и прикладные аспекты / под ред. М. В. Угрюмова. — М.: Наука, 2010. — 447 с.
 21. Boonstra T. W., Daffertshofer A., van As E. et al. Bilateral motor unit synchronization is functionally organized // Exp. Brain Res. 2007. Vol. 178. N 1. P. 79–88.
 22. Эвартс Э. В. Мозговые механизмы движения // Вестник Ленинградского университета. 1974. № 21. С. 88–97.
 23. Evarts E. V., Shinoda Y., Wise S. P. Neurophysiological approaches to higher brain functions. — NY.: John Wiley & Sons, 1984. — 198 p.
 24. Гранит Р. Основы регуляции движений. — М.: Мир, 1973. — 368 с.
 25. Романов С. П. Тормозные обратные связи в цепи регуляции разрядов мотонейронов // Физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 1996. Т. 82. № 1. С. 33–44.
 26. Gandevia S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue // Physiol. Rev. 2001. Vol. 81. N 4. P. 1725–1789.
 27. Place N., Maffiuletti N. A., Martin A., Lepers R. Assessment of the reliability of central and peripheral fatigue after sustained maximal voluntary contraction of the quadriceps muscle // Muscle Nerve. 2007. Vol. 35. N 4. P. 486–495.
 28. Романов С. П., Алексанян З. А., Лысков Е. Б. и др. Корреляты параметров произвольного усилия с функциональным состоянием моторной системы // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2005. Т. 91. № 5. С. 488–501.
 29. Кимура А., Григорьян Р., Асанума Х. Длительное повышение нейрональной активности моторной коры, вызванное совместным раздражением таламуса и соматосенсорной коры мозга у кошек // Физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 1988. Т. 84. № 5–6. С. 460–468.
 30. Алексеев М. А., Гурфинкель В. С., Шик М. Л. Система управления движениями // Реф. докл. на симп. XI съезда Всесоюзного физиологического общества имени И. П. Павлова. Ленинград-1970. Л.: Наука, 1970. С. 192–199.
 31. Иваницкий А. М. Сознание и мозг // В мире науки. 2005. № 11. С. 3–11.
 32. Llinas R., Ribary U., Contreras D., Pedroarena C. The neuronal basis for consciousness // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. 1998. Vol. 353. N 1377. P. 1841–1849.

УДК 004.8

ГРУППОВЫЕ РЕКОМЕНДУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНФИГУРИРОВАНИЯ ГИБКИХ СЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Н. Г. Шилов,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

Рассматриваются гибкие сетевые организации, а также новый класс систем «продукт—услуга», основанный на идее сетевой организации. Обсуждены аспекты их конфигурирования. Предложены сервис-ориентированная архитектура и основные компоненты контекстно-зависимой групповой рекомендующей системы для управления конфигурациями гибких сетевых организаций.

Ключевые слова — гибкая сетевая организация, конфигурирование, групповая рекомендующая система, сервис-ориентированная архитектура.

Введение

В настоящее время в связи с развитием информационных и телекоммуникационных технологий появилось большое количество сложных систем, состоящих из независимых элементов и имеющих сетевую структуру. Такие системы принято называть сетевыми организациями (networked organizations). К ним можно отнести распределенные сети сенсоров (distributed sensor networks), сети источников знаний/информации, производственные сети. Появление таких организаций предъявляет новые требования к системам поддержки принятия решений при управлении их конфигурациями.

Относительно недавно появился новый класс сложных систем, основанный на идее сетевой организации, — системы «продукт—услуга». В отличие от классических производственных систем, ориентированных на производство продуктов/изделий, системы «продукт—услуга» ориентированы на продолжительное взаимодействие с потребителем, достигаемое посредством предоставления дополнительных услуг (сервисов), повышающих потребительские качества продукта на различных стадиях его жизненного цикла. Данная работа в первую очередь ориентирована на поддержку принятия решений при управлении конфигурациями гибких сетевых организаций данного класса.

Актуальность задачи подтверждается включением научных проектов по указанной тематике в 7-ю рамочную программу Европейской ко-

миссии; поддержкой проектов по данной тематике такими крупными компаниями, как Ford, Airbus, Boeing, ThyssenKrupp, BMW, Siemens, Nokia и др.; проведением научных международных конференций по управлению сетевыми организациями.

В современных проектах, относящихся к области поддержки принятия решений при управлении конфигурациями сетевых организаций, особое внимание уделяется созданию интеллектуальных систем, т. е. систем, ориентированных на работу со знаниями. Данные системы используют такие технологии, как управление онтологиями, мягкие вычисления, профилирование, методы представления и обработки знаний и т. п.

Гибкие сетевые организации как объект конфигурирования накладывают определенные требования и ограничения к системам поддержки принятия решений. Так, необходимо учитывать динамическую природу как самих систем, так и их окружения, кроме того, эти системы должны быть масштабируемыми и легко адаптируемыми к изменяющимся требованиям и условиям, использовать (извлекать, актуализировать, анализировать, интегрировать) информацию и знания, получаемые из различных источников.

Растущие требования со стороны потребителей и разнообразие изделий вызывают рост сложности всех процессов управления жизненным циклом изделий. Это в свою очередь повышает степень сотрудничества различных участников, поддерживающих жизненный цикл изделий: кооперирование между предприятиями, между

проектированием и производством, между производством и обслуживанием и т. д.

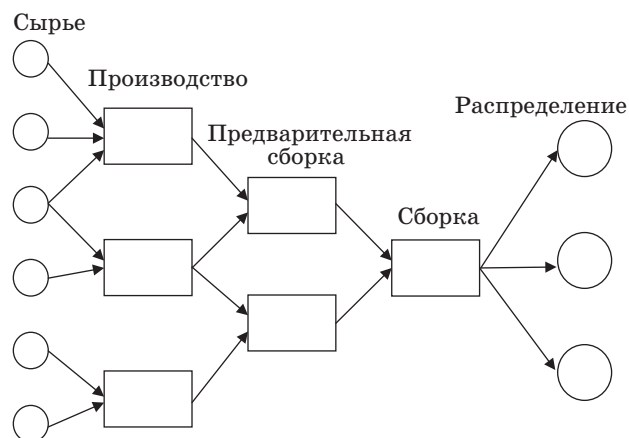
Интенсивное сотрудничество требует значительной поддержки процессов принятия решений со стороны информационных технологий для учета как личных, так и групповых предпочтений многочисленных пользователей [1]. Современным перспективным направлением развития систем поддержки принятия решений, ориентированным на выявление и учет групповых предпочтений, являются групповые рекомендующие системы.

Конфигурирование гибких сетевых организаций

Структура понятия «конфигурация» включает три основные составляющие: базовую линию (интегрально описывающую базовую / текущую структуру объекта); изменения, которые должны быть выполнены или были выполнены; последовательность этих изменений. Методология управления конфигурацией в терминах теории управления включает в себя объект управления «Конфигурация», а также составляющие системы управления, которые оценивают текущее состояние объекта и его отклонения от заданных значений и формируют сценарии перевода объекта из текущего состояния в требуемое.

Целью управления конфигурациями сетевой организации является поиск конфигурации, при которой рассматриваемая организация сможет достичь допустимого с точки зрения временных и стоимостных затрат уровня эффективности. Обычно выделяют две категории решений, касающиеся конфигурации: 1) структурные решения, относящиеся к расположению производственных мощностей и каналам распределения, и 2) координирующие решения, фокусирующиеся на выборе поставщиков, партнеров, размещении производственных запасов, распределении работ, совместном доступе к информации о продажах, прогнозе спроса, производственных планах и запасах.

Разберем более детально задачи выбора поставщиков и распределения работ в рамках гибкой сетевой организации. В этом случае задача поиска конфигурации может рассматриваться следующим образом. В производственной системе удовлетворение спроса предполагает наличие определенного объема работ и некоторых производственных мощностей, способных выполнять данную работу (участники сетевой организации и связанные с ними ресурсы). Работа состоит из нескольких операций, выполняемых параллельно или последовательно. Сетевая организация в свою очередь состоит из участников (элементов сетевой организации), обладающих определен-



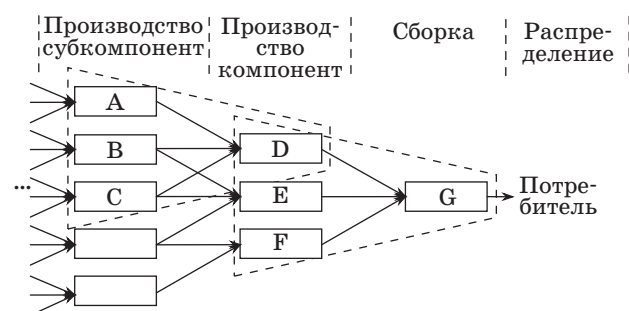
■ Рис. 1. Пример структуры сетевой организации

ными компетенциями (функциональными возможностями, технологическими ресурсами) и способных выполнять некоторые из операций. Каждый участник описывается набором атрибутов/свойств и набором возможных решений/шаблонов (рис. 1).

Таким образом, можно выделить следующие наиболее важные задачи, которые необходимо решить при выборе допустимой конфигурации гибкой сетевой организации: 1) конфигурирование заказа, 2) выбор партнеров среди имеющихся предприятий — потенциальных участников сетевой организации, 3) размещение заказа, 4) конфигурирование транспортной сети и 5) конфигурирование технологических ресурсов.

Обобщенно структура сетевой организации представлена на рис. 2. Общей целью сетевой организации является достижение допустимых в рамках рынка времени и затрат на выполнение заказа. Конфигурирование имеет дело с созданием конфигураций решений, выбором компонент и способов их конфигурирования. В сетевой организации каждый участник сам выбирает своих прямых поставщиков (поставщиков первого уровня).

Например, участник *D* (см. рис. 2) может выбирать своих поставщиков среди участников *A, B*



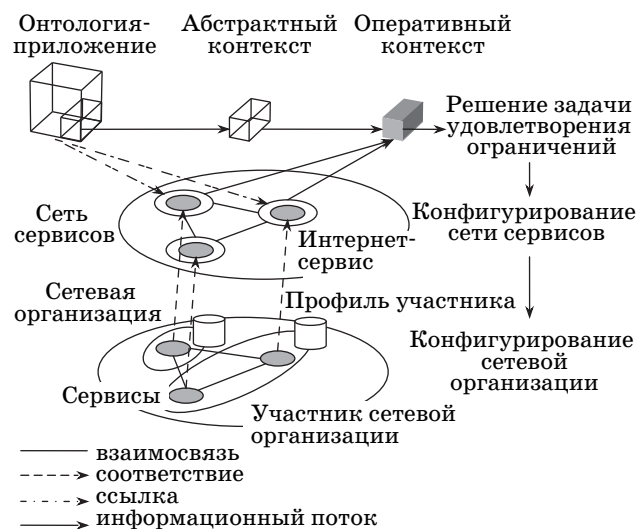
■ Рис. 2. Структура обобщенного шаблона сетевой организации

и *C*, а участник *G* — среди участников *D*, *E* и *F*. Поскольку в гибкой сетевой организации предположительно нет централизованного управления, которое могло бы повлиять на выбор участников, обобщенный шаблон сетевой организации может быть определен как участник и его поставщики первого уровня. Таким образом, данный шаблон можно рассматривать как шаблон конфигурирования сетевой организации.

Можно выделить структурную, информационную и экономическую составляющие конфигурирования сетевой организации. Это дает возможность сформулировать основные проблемы, требующие решения, а также определить критерии и требования для их решения. Информационная и структурная составляющие должны рассматриваться совместно, поскольку последняя предопределяет первую. Экономическая составляющая относится главным образом к определению стоимостных и временных характеристик предприятий — участников виртуального предприятия и всего предприятия в целом.

Подход к созданию системы управления конфигурациями гибкой сетевой организации

Основная идея предлагаемого подхода заключается в представлении сетевой организации с помощью сервисов, предоставляемых ее участниками (рис. 3). Такое представление позволяет заменить задачу конфигурирования сетевой организации задачей конфигурирования сети сервисов, ее составляющих. Гибкость сетевых организаций требует эффективного управления информацией и учета динамичности изменения



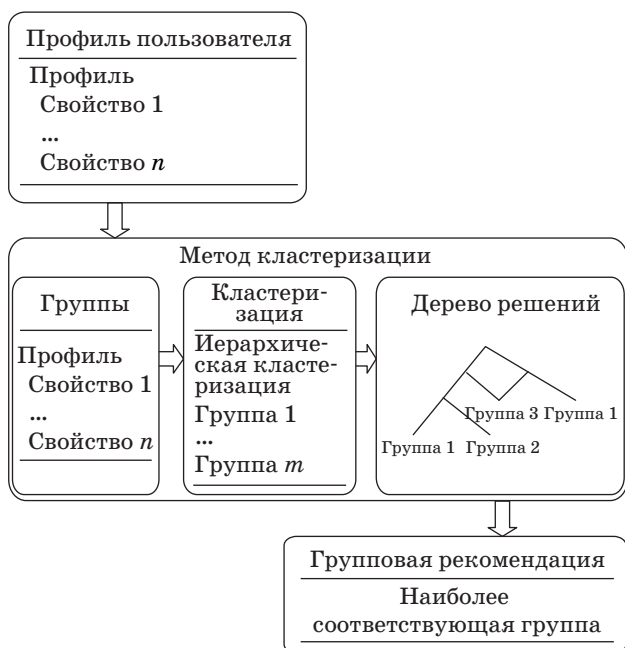
■ **Рис. 3.** Подход к созданию системы управления конфигурациями гибкой сетевой организации

окружающей среды. С этой целью предусмотрена актуализация информации в соответствии с текущей ситуацией. Для решения проблемы разнородности сервисов используется онтологическая модель, описываемая онтологией-приложением. Данная модель позволяет обеспечить взаимодействие между разнородными сервисами источников информации за счет использования единой семантики [2]. В зависимости от конкретной рассматриваемой проблемы выделяется релевантная часть онтологии-приложения и таким образом формируется абстрактный контекст (структурное описание проблемы). Затем абстрактный контекст наполняется конкретными значениями, извлекаемыми из источников информации, и формируется оперативный контекст (структурно-параметрическое описание проблемы). За счет использования формализма объектно-ориентированных сетей ограничений для описания информации и знаний, оперативный контекст представляет собой задачу удовлетворения ограничений, для решения которой можно использовать существующие средства. Кроме того, применение контекстной модели позволяет уменьшить количество обрабатываемой информации. Данная модель дает возможность управлять информацией, релевантной для текущей ситуации. Для доступа к сервисам, извлечения информации и ее передачи используются технологии интернет-сервисов [3].

Групповые рекомендуемые системы

Групповые рекомендуемые (рекомендательные) системы широко используются в Интернете для подбора изделий и услуг индивидуальным пользователям с учетом их предпочтений и вкусов [4] в различных бизнес-приложениях [5, 6]. Определение рекомендаций для групп пользователей усложняется не только необходимостью учитывать индивидуальные интересы, но и искать компромисс между интересами группы пользователей и их индивидуальными интересами. В работе [7] предложена архитектура групповой рекомендуемой системы (рис. 4), основанная на трех компонентах: 1) поиске характерных элементов в профилях индивидуальных пользователей, 2) группировке (кластеризации) пользователей на основе их предпочтений [8] и 3) разработке окончательных рекомендаций на основе созданных групп пользователей. Разработка алгоритмов кластеризации, способных непрерывно улучшать структуру групп на основе постоянно поступающей информации, может сделать возможным самоорганизацию пользователей в группы [9].

Существуют два основных типа рекомендуемых систем: контентные (content-based, рекомендуемые системы, основанные на ранее принятых



■ Рис. 4. Типовая архитектура групповой рекомендующей системы

решениях пользователя) и коллаборативной фильтрации (collaborative filtering, рекомендующие системы, основанные на ранее принятых решениях пользователей, чьи интересы и характеристики сходны с интересами и характеристиками рассматриваемых пользователей).

Оба типа рекомендующих систем имеют свои достоинства и недостатки. Дадим краткое описание типов систем, а также укажем их основные недостатки.

В контентных рекомендующих системах вывод о полезности товара для потребителя делается исходя из полезности, присвоенной потребителем товарам, сходным с данным товаром. Например, в системе, рекомендующей компоненты промышленных манипуляторов, для того чтобы рекомендовать продукт (компонент) потребителю, контентная рекомендующая система пытается найти сходство между компонентами, выбранными и высоко оцененными потребителем ранее (например, тот же тип привода (сжатый воздух или электричество), те же требования к условиям работы (влажность или пылезащитенность) и т. д.). И только продукты, обладающие высокой степенью общности с предпочтениями потребителя, будут рекомендованы.

Контентный подход к рекомендующим системам основан на работах, изучающих методы поиска информации [10, 11] и информационной фильтрации [12].

Однако если система рекомендует только те товары, чьи характеристики совпадают с содержащимися в профиле потребителя, он получит

рекомендации только таких товаров, которые сходны с товарами, ранее уже получившими его оценку. Например, человек, никогда не имевший дела с компонентами промышленных манипуляторов, использующими сжатый воздух, не получит совета приобрести даже самый часто используемый пневматический манипулятор. Для решения этой проблемы нередко используется фактор случайности.

В отличие от контентных рекомендующих систем, коллаборативные рекомендующие системы (или системы коллаборативной фильтрации) пытаются предсказать полезность товара для отдельного потребителя исходя из оценок, данных ранее другими пользователями. Более формально полезность товара для пользователя оценивается исходя из полезностей, приписанных товару, теми пользователями, которые «похожи» на данного пользователя. Например, в системах, рекомендующих компоненты промышленных манипуляторов, для того чтобы рекомендовать продукт пользователю, коллаборативная рекомендующая система пытается найти пользователей, схожих в своем выборе с данным пользователем, и тогда рекомендоваться будут только продукты, наиболее часто выбранные и наиболее высоко оцененные такими «похожими» пользователями.

Однако, поскольку коллаборативные системы при выработке рекомендаций руководствуются только предпочтениями пользователей, они не могут рекомендовать товар, пока он не получит достаточное количество оценок. Данная проблема решается с использованием гибридных методов.

Большинство существующих рекомендующих систем оперируют в двумерном пространстве «пользователь—товар» [13]. Это значит, что они выдают рекомендации, основываясь исключительно на информации о пользователе или о товаре, и обходят стороной контекстуальную информацию, которая может оказаться первостепенно важной в некоторых приложениях (и при некоторых специальных обстоятельствах). Например, во многих случаях полезность товара или услуги может зависеть от того, когда происходит потребление (время года, день недели, время суток). Полезность может также зависеть от того, с кем, в какой компании, при каких обстоятельствах потребляется продукт. В таких случаях простая рекомендация продукта клиенту недостаточна; при выработке рекомендации система должна обратиться к дополнительной контекстной информации о времени и обстоятельствах предполагаемого потребления. Например, если потребителем манипуляторов используются электрические приводы, то при выборе клиентом дополнительного оборудования система должна отдавать предпочтение электрическим приводам, а не пневматическим или гидравлическим.



■ Рис. 5. Сервис-ориентированная архитектура групповой рекомендующей системы

Сервис-ориентированная архитектура групповой рекомендующей системы

Разработанная архитектура групповой рекомендующей системы представлена на рис. 5. Взаимодействие элементов системы осуществляется посредством Web-сервисов. Архитектура основывается на адаптированном алгоритме кластеризации пользователей [14], изначально разработанном для анализа принятых решений (decision mining) [15–17]. Разработка такого алгоритма позволила формировать самоорганизующиеся группы пользователей. Предложенный алгоритм кластеризации основывается на информации из профилей пользователей [14]. Кроме того, для повышения точности алгоритма ему на вход подается информация в контексте текущей ситуации (включая задачу и изделия, с которыми в настоящий момент работает пользователь, срочность работы и другие параметры). Унификация терминологии контекста и профилей обеспечивается использованием общей онтологии.

Профили пользователей являются динамическими, обновленная информация из которых постоянно поступает на вход алгоритма. В результате, алгоритм может уточнять решение при поступлении обновленной информации и обновлять группы. Таким образом, можно утверждать, что группы динамически самоорганизуются в соответствии с изменениями профилей пользователей и информации из контекстной модели текущей ситуации.

После определения групп на основе результатов работы алгоритма кластеризации выявляются общие групповые предпочтения и интересы. Затем данные предпочтения обобщаются и анализируются при разработке групповых рекомендаций.

Заключение

В статье рассматриваются проблемы конфигурирования гибких сетевых организаций. Показано, что одной из наиболее перспективных форм поддержки принятия решений в данной области являются групповые рекомендующие системы, позволяющие учитывать не только индивидуальные предпочтения и интересы, но и предвосхищать возможные решения на основе анализа ранее принятых решений различных пользователей. Рассмотрены особенности групповых рекомендующих систем. Предложена сервис-ориентированная архитектура контекстно-зависимой групповой рекомендующей системы для управления конфигурациями гибких сетевых организаций.

Исследования выполнены при поддержке грантами РФФИ 12-07-00298-а, 12-07-00302, программой Президиума РАН «Интеллектуальные информационные технологии, математическое моделирование, системный анализ и автоматизация» (проект 213) и программой отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация (проект 2.2 «Разработка методологии построения групповых информационно-рекомендующих систем»).

Литература

1. McCarthy K. et al. Group Recommender Systems: A Critiquing Based Approach // IUI '06: Proc. of the 11th Intern. Conf. on Intelligent user interfaces. 2006. P. 267–269.
2. Dey A. K. Understanding and Using Context // Personal and Ubiquitous Computing J. 2001. Vol. 5. N 1. P. 4–7.
3. CADRC. KML Sandbox: An Experimentation Facility Based on SOA Principles // CADRD Currents, Fall, 2009, Collaborative Agent Design Research Center (CADRC). — San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 2009. P. 6–7. http://www.cadrc.calpoly.edu/pdf/Currents_Fall_2009.pdf (дата обращения: 27.09.2012).

4. **Garcia I., Sebastia L., Onaindia E., Guzman C. A.** Group Recommender System for Tourist Activities // EC-Web 2009: Proc. of E-Commerce and Web Technologies, The 10th Intern. Conf. (2009). LNCS 5692. Springer, 2009. P. 26–37.
5. **Moon S. K., Simpson T. W., Kumara S. R. T.** An agent-based recommender system for developing customized families of products // J. of Intelligent Manufacturing. Springer, 2009. Vol. 20. N 6. P. 649–659.
6. **Chen Y.-J., Chen Y.-M., Wu M.-S.** An expert recommendation system for product empirical knowledge consultation // ICCSIT 2010: The 3rd IEEE Intern. Conf. on Computer Science and Information Technology. P. 23–27.
7. **Baatarjav E.-A., Phithakkitnukoon S., Dantu R.** Group Recommendation System for Facebook / OTM 2008 // Proc. of On the Move to Meaningful Internet Systems Workshop (2008). LNCS 5333. Springer, 2009. P. 211–219.
8. **Romesburg H. C.** Cluster Analysis for Researchers. — California: Lulu Press, 2004. — 340 p.
9. **Flake G. W., Lawrence S., Giles C. L., Coetzee F.** Self-Organization and identification of Web Communities // IEEE Computer. 2002. Vol. 35. N 3. P. 66–71.
10. **Baeza-Yates R., Ribeiro-Neto B.** Modern Information Retrieval. — Addison-Wesley, 1999. — 513 p.
11. **Salton G.** Automatic Text Processing: The Transformation Analysis and Retrieval of Information by Computer. — Addison-Wesley, 1989. — 543 p.
12. **Belkin N., Croft B.** Information Filtering and Information Retrieval // Communications of the ACM, Special issue on information filtering. 1992. Vol. 35. N 12. P. 29–37.
13. **Adomavicius G., Tuzhilin A.** Toward the next generation of recommender systems: a survey of the state-of-the-art and possible extensions // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (2005). IEEE Educational Activities Department, 2005. Vol. 17. N 6. P. 734–749.
14. **Smirnov A., Levashova T., Kashevnik A., Shilov N.** Profile-based self-organization for PLM: approach and technological framework // PLM 2009: Proc. of the 6th Intern. Conf. on Product Lifecycle Management. Inderscience Publishers, 2009. P. 646–655.
15. **Smirnov A., Pashkin M., Chilov N.** Personalized Customer Service Management for Networked Enterprises // ICE 2005: Proc. of the 11th Intern. Conf. on Concurrent Enterprising, 2005. P. 295–302.
16. **Smirnov A., Pashkin M., Levashova T., Kashevnik A., Shilov N.** Context-Driven Decision Mining, Encyclopedia of Data Warehousing and Mining, Hershey / Ed. by J. Wang. NY.: Information Science Preference, 2008. Vol. 1. P. 320–327.
17. **Rozinat A., van der Aalst W. M. P.** Decision Mining in Business Processes. BPM Center Report no. BPM-06-10, 2006. 16 p. http://www.processmining.org/media/publications/beta_164.pdf (дата обращения: 27.09.2012).

УДК 004.8

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СЕТЬЮ ПРИ СОВМЕСТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АВТОТРАНСПОРТА

А. М. Кашевник,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

Рассматривается применение концепции интеллектуальных пространств для разработки интеллектуальной системы управления логистической сетью при совместном использовании автотранспорта. Система базируется на онтологии интеллектуального пространства, построенной на основе интеграции соответствующих частей онтологий мобильных устройств участников системы. Предложен алгоритм для поиска попутчиков для водителей на основе совпадения путей водителей и начальных и конечных точек путей пассажиров. Ввиду достаточно большой размерности задачи для ее решения предлагается использование эвристик, позволяющих снизить ее размерность, что дает возможность существенно сократить время работы системы.

Ключевые слова — онтология, интеллектуальное пространство, транспортная логистика, карпул.

Введение

Многие предприятия, находящиеся вне зоны покрытия сети общественного транспорта, в рамках предоставляемого социального пакета включают доставку сотрудников до места работы. Самыми яркими примерами таких предприятий являются автомобильные заводы, расположенные за границами населенных пунктов. Организация данного процесса имеет плюсы как для работника, так и для работодателя: работнику не нужно беспокоиться о ежедневном проезде до места работы и расходовать дополнительные средства, при этом он прибывает на работу вовремя, что положительно сказывается на производственном процессе. Подобная услуга может быть организована как силами самого предприятия, так и заключением договора со сторонней организацией, осуществляющей пассажирские перевозки. В любом случае, для предприятия это означает внесение в бюджет дополнительной статьи расходов, связанной либо с содержанием дополнительных единиц автотранспорта, либо с арендой транспорта у сторонней организации.

В организациях, не предоставляющих такую услугу, сотрудники добираются до места работы на общественном транспорте либо на личном автомобиле. Существующая сеть маршрутов общественного транспорта не всегда достаточно полно

покрывает населенный пункт, и пассажирам зачастую приходится длительное время добираться до остановок либо ощутимо долго ждать общественного транспорта. Стремясь обеспечить независимость от маршрутов и расписания общественного транспорта, все больше людей переходят на личный транспорт. Увеличение количества автомобилей ведет к перегруженности существующей сети дорог, росту аварийности и ухудшению экологической обстановки в регионе.

Альтернативой развитию сети общественного транспорта и услуги доставки сотрудников до места работы может являться совместное использование автотранспорта, или карпул [1] (carpool, также известный как ride-sharing, lift-sharing и covoiturage). Главное отличие карпула от традиционных способов пассажироперевозок состоит в том, что в качестве используемого транспорта выступают личные автомобили участников дорожного движения. Преимущества данной системы очевидны: на дорогах уменьшается число транспортных средств, благодаря чему уменьшается число заторов и вероятность аварий, существенно снижается выброс парниковых газов и уменьшается количество припаркованных автомобилей на улицах города. Для участников карпула становится очевидным выигрыш в стоимости и удобстве поездки: используется только один автомобиль, следовательно, снижаются об-

щие расходы на топливо, ремонт и обслуживание. К тому же возникает возможность дополнительного общения людей.

В данной работе предлагается интеллектуальная система управления логистической сетью, объединяющей совместно используемые транспортные средства, главной задачей которой является поиск попутчиков для водителей на заданном маршруте. Система основана на использовании интеллектуальных пространств [2]. Предполагается, что каждый пассажир и водитель имеют мобильное устройство, которое с соответствующим программным обеспечением становится частью этого пространства.

Существующие системы карпула

Идеи карпула существуют с 1970 г., однако повсеместное использование и рост их популярности стали возможны только с развитием сети Интернет и мобильных средств связи, благодаря которым пассажиры и водители, ранее не знакомые, смогли быстро находить друг друга и договариваться о деталях поездки. В наши дни существуют следующие схемы карпула [1].

Поиск через форумы и сообщества. Такими ресурсами являются, например, «Давай со мной» [3], «Довежу!ру» [4], eRideShare.com [5], PickupPal [6], Zimride [7], RideshareOnline [8], rideshare.511.org [9], CarJungle [10]. На сайте размещается объявление о поездке, которое содержит в себе информацию о человеке, подающем это объявление, и маршрут с указанием начальной и конечной точек. Поиск попутчиков осуществляется заданием маршрута поездки и дополнительных условий, таких как плата за проезд, время поездки и др.

Поиск через закрытые веб-сайты. Закрытость выражается в необходимости приглашения для участия. Например, сервис Zimride [7] вместе с общедоступным интерфейсом имеет закрытый, который могут использовать различные организации для обеспечения подвоза своих сотрудников к месту работы.

Использование специализированного программного обеспечения для поиска. На мобильные устройства загружается программа, которая позволяет отредактировать профиль пользователя, указать маршрут и найти попутчиков. Примеры: PickupPal [6], Avego [11].

Поиск через различных агентов (таксомоторные компании).

Случайный подбор попутчиков на точках встречи, которыми могут быть, например, остановки общественного транспорта.

Уже существующее программное обеспечение для мобильных устройств поддерживает клиент-серверную архитектуру, реализация которой пред-

усматривает наличие централизованного сервера и клиентов, осуществляющих запросы на обработку данных к серверу.

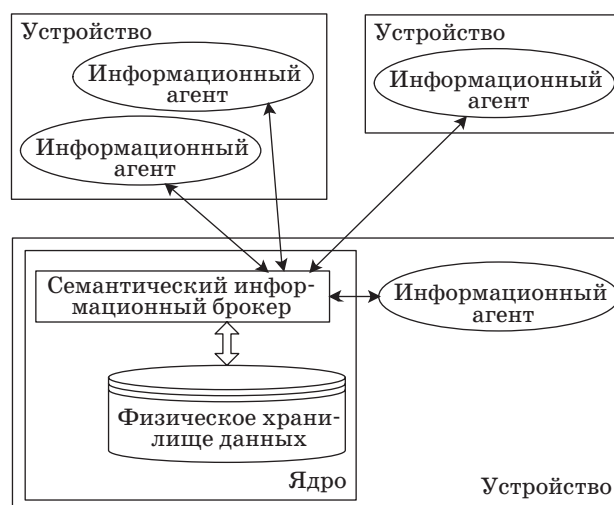
Настоящая работа предусматривает децентрализацию вычислительного комплекса, которая осуществляется использованием технологий Semantic Web и, в частности, интеллектуальных пространств (Smart Spaces) на основе платформы с открытым исходным кодом Smart-M3, разрабатываемой Nokia Research Center [12, 13].

Платформа Smart-M3

Платформа Smart-M3 объединяет в себе идеи распределенных сетевых систем и Semantic Web. Ее ключевыми идеями являются независимость от конкретных производителей, оборудования, области применения и возможность обмена информацией между различными программными модулями посредством простого и общедоступного информационного брокера. Благодаря использованию Semantic Web в качестве базы, обмен информацией между участниками пространств может осуществляться на основе протокола HTTP и с использованием унифицированных идентификаторов ресурсов (Uniform Resource Identifier — URI) [14].

Общая структура платформы представлена на рис. 1. Ядро системы подразделяется на 2 элемента: СИБ (семантический информационный брокер, Semantic Information Broker — SIB) и физическое хранилище данных.

Семантический информационный брокер предоставляет доступ информационным агентам к информационному пространству, обеспечивая их функциями обработки информации, такими как вставка, извлечение, редактирование, удаление и подписки на изменение информации в ин-



■ Рис. 1. Структура платформы Smart-M3

теллектуальном пространстве. В хранилище данных вся информация сохраняется как граф, удовлетворяющий требованиям стандарта RDF (Resource Description Framework) [15], описывающего семантические сети, в которых узлы и дуги имеют унифицированные идентификаторы ресурсов. Каждое утверждение в соответствии с этим стандартом описывается тройкой «субъект — предикат — объект», например, «Иван — имеет — автомобиль», и по своей сути является простым предложением. Информационные агенты — это программные модули, с помощью которых осуществляется взаимодействие с семантическим информационным брокером через Smart Space Access Protocol (SSAP — протокол доступа к интеллектуальному пространству) [13].

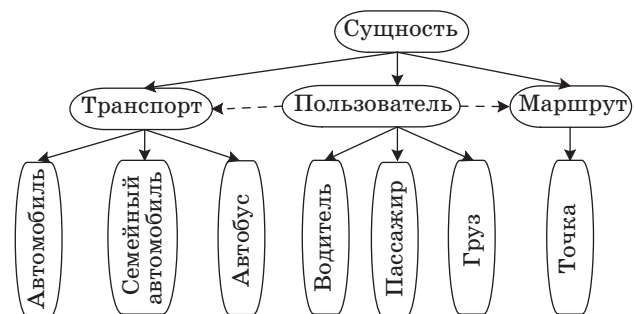
Онтология системы

В ходе разработки системы была спроектирована ее онтология (рис. 2).

В системе присутствует три типа сущностей: транспорт, пользователи и точки маршрута. Транспорт — это обычные автомобили, в которых число мест для пассажиров не больше четырех, семейные автомобили с числом мест от пяти до восьми и автобусы, имеющие девять и более мест для пассажиров.

«Точка» является частью маршрута и используется для определения путей пользователей. Ее онтология представлена на рис. 3.

Пользователями в системе выступают водители, пассажиры и грузы. При этом все они имеют связь с транспортом и точками. Так, например, водитель является собственником транспорта, и ему соответствуют несколько точек, определяющих положение дома, работы, мест остановок и т. п. Пассажир может отдавать предпочтение определенным видам транспортного средства, и ему также соответствуют точки на карте, характеризующие его положение и пункт назначения. Груз имеет определенные размеры, и не каждый тип транспорта может подойти для его перевозки.



■ Рис. 2. Онтология логистической системы на макроуровне

Для описания путей пользователей используется множество точек, являющихся экземплярами сущности «точка». Этот набор представляет собой упорядоченный список опорных точек, полученных с помощью алгоритмов нахождения кратчайшего пути на графе (например, алгоритма Дейкстры или Флойда—Уоршелла), «натянутом» на топографический план местности. Вершины графа при этом являются опорными точками, а дуги повторяют положение и направление основных дорог. Фрейм «точка» представлен на рис. 3.

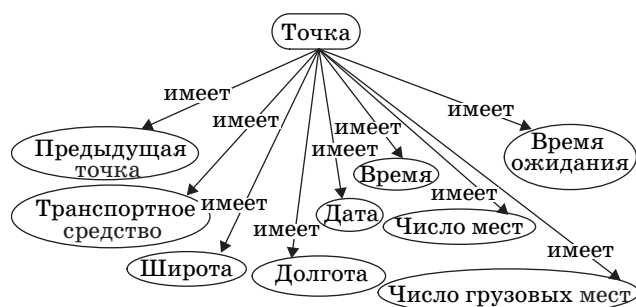
В составленной онтологии фрейм «точка» содержит в себе следующие атрибуты:

- предыдущая точка пути. Имеет значение false, если точка является начальной;
- широта точки пути;
- долгота точки пути;
- транспортное средство. В случае, если рассматриваемая точка является точкой пути пассажира, она указывает на водителя, который в данный момент подвозит этого пассажира. Если пассажир идет пешком, имеет значение false;
- число свободных мест для пассажиров в транспортном средстве в данной точке;
- число свободных мест для груза в транспортном средстве в данной точке;
- расчетная дата нахождения пользователя в данной точке;
- расчетное время нахождения пользователя в данной точке;
- время, в течение которого пользователь должен находиться в данной точке.

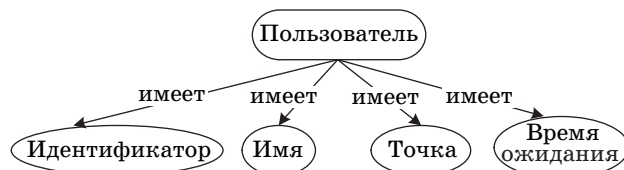
Описание пользователя представлено на рис. 4.

Основными атрибутами для всех пользователей являются:

- уникальный идентификатор пользователя;



■ Рис. 3. Фрейм «точка пути»



■ Рис. 4. Фрейм «пользователь»

- имя пользователя;
- точки, соответствующие пользователю (как минимум две: начальная и конечная);
- время, в течение которого данный пользователь согласен ждать других пользователей.

Пассажиры, водители и грузы наследуются от сущности «пользователь». Сущность «водитель» наследует все атрибуты «пользователя», при этом расширяя его еще двумя атрибутами:

- vehicle — тип транспортного средства;
- detour — максимально возможное отклонение от кратчайшего маршрута.

Сущность «пассажир», так же, как и «водитель», наследует все атрибуты «пользователя» и добавляет к ним атрибут detour, аналогичный подобному в сущности «водитель».

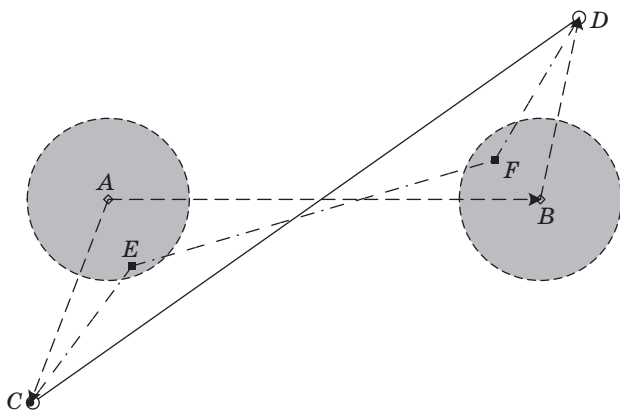
Сущность «груз» помимо атрибутов сущности «пользователь» имеет атрибут size, определяющий размеры груза.

Алгоритм поиска совпадающих путей и точек встречи водителя и пассажира

Для поиска совпадающих путей составляются списки водителей и пассажиров, при этом для каждой пары ищутся совпадения. Из полученных пар выбираются пары, наиболее удовлетворяющие критериям, заданным участниками.

Общий принцип поиска совпадающего пути рассмотрен на рис. 5.

Пусть A, B — начальная и конечная точки пути пешехода, C, D — начальная и конечная точки пути водителя. Сплошной линией обозначен кратчайший путь водителя, полученный с помощью ГИС. Как видно из рисунка, водитель и пешеход осуществляют движение практически в одном направлении, и при некоторой корректировке пути водителя он может подвезти пешехода, что обозначено на рисунке пунктирной линией (путь $CABD$). Рассмотренный случай является самым простым, так как точки встречи в нем со-



■ Рис. 5. Общий принцип поиска совпадающего пути

впадают с точками начала и конца пути пешехода. Более сложными вариантами является поиск точек встречи, удовлетворяющих и водителя, и пассажира, но не обязательно являющихся частью их кратчайшего пути. На рисунке один из возможных вариантов обозначен штрихпунктирной линией, а точки встречи обозначены буквами E, F (путь $CEFD$). Выбор этих точек должен удовлетворять следующим основным условиям:

- расстояние от начальной точки пассажира до точки встречи не должно превышать максимального пути, который согласен пройти пассажир. На рис. 5 эта область обозначена пунктирной окружностью;
- отклонение нового пути водителя от кратчайшего не должно превышать максимально допустимого отклонения, задаваемого водителем.

Основная схема алгоритма поиска совпадающих путей будет выглядеть следующим образом:

```
FOR EACH driver DO
  FOR EACH passenger Do
    Find_mathing_path(driver.path,passenger.path); // Согласно
    представленным выше условиям.
    constraint_checking();
    IF ALL constraints IS performed THEN
      set_passenger_for_driver();
    ENDFOR;
  ENDFOR;
```

Общая задача поиска совпадающих путей имеет достаточно большую размерность, поэтому необходимо применять эвристики для уменьшения размерности задачи.

Перед работой алгоритма целесообразно отсеять водителей, которые априорно не имеют возможности подвезти пассажира. Для такого отсеивания необходима проверка выполнения следующих условий:

$$(pp_1^x - dp_i^x)^2 + (pp_1^y - dp_i^y)^2 \leq (Pdetour + Ddetour)^2; \quad (1)$$

$$(pp_2^x - dp_i^x)^2 + (pp_2^y - dp_i^y)^2 \leq (Pdetour + Ddetour)^2, \quad (2)$$

где pp_1, pp_2 — начальная и конечная точки пути пассажира; dp_i — точка пути водителя; $Pdetour, Ddetour$ — отклонение от минимального пути пассажира и водителя. Если путь водителя не удовлетворяет условиям (1), (2), то считается, что водитель не может подвезти пассажира, иначе составляются списки точек пути водителя, соответствующих условиям, и осуществляется переход к шагу, на котором производится выбор всех возможных точек встречи.

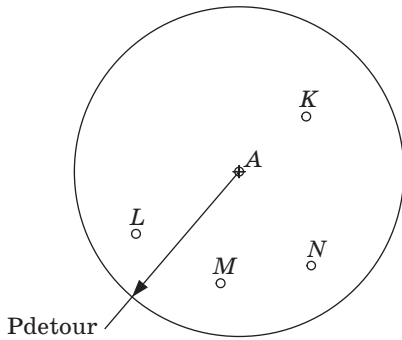
Следующим шагом производится выбор всех точек, до которых может дойти пешеход. Эти точки принадлежат окружности радиуса $Pdetour$ и выбираются по следующему правилу:

$$(pp_A^x - p_i^x)^2 + (pp_A^y - p_i^y)^2 \leq Pdetour^2, \quad (3)$$

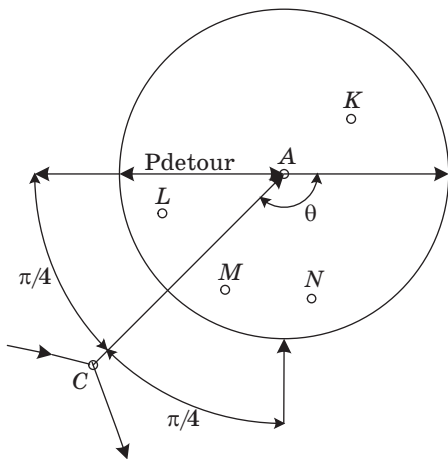
где pp_A — точка, принадлежащая пути пассажира; p_i — точка на карте. Если p_i удовлетворяет условию (3), то она помечается как возможная точка встречи. На рис. 6 точки, удовлетворяющие условию (3), обозначены буквами L, M, N, K .

Выбор из возможных точек встречи пары, наиболее удовлетворяющей критериям, заданным пассажиром, предусматривает перебор всех пар точек с вычислением всех требуемых для выбора параметров. Данная операция является крайне затратной и требует сокращения множества возможных точек встречи. Для решения поставленной задачи были разработаны эвристики, позволяющие на основе имеющихся данных сократить множества.

Первая эвристика предполагает выбор точек из сектора окружности, со стороны которой будет ехать водитель. На рис. 7 представлена эвристика для ситуации, в которой у водителя нашлась только одна точка (точка C), удовлетворяющая условию (1) или (2), в зависимости от рассматриваемой точки пути пассажира.



■ Рис. 6. Выбор точек встречи для пассажира



■ Рис. 7. Эвристика в ситуации, когда в пути водителя нашлась только одна допустимая точка

Чтобы определить потенциальные точки встречи, вычисляется угол

$$\theta = \arctg\left(\frac{C^y - A^y}{C^x - A^x}\right) \quad (4)$$

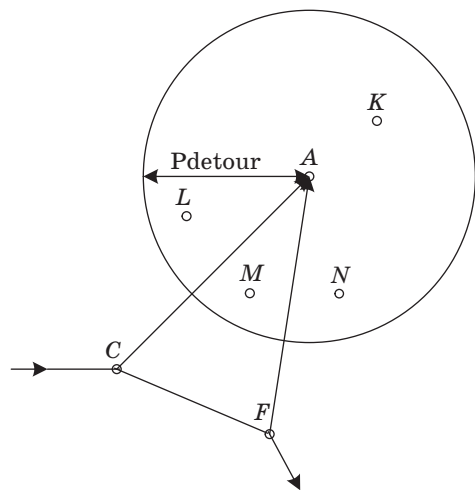
и выбираются точки, которые попадают в область $\left[\theta - \frac{\pi}{4}, \theta + \frac{\pi}{4}\right]$. На рис. 7 это точки L и M .

Точка A , являющаяся начальной точкой для пассажира, всегда будет включена в множество возможных точек встречи. Если нашлись две и более точки, удовлетворяющие условию (1), то область выбора точек расширяется. На рис. 8 представлена схема применения эвристики, полученной из схемы, изображенной на рис. 7, путем добавления второй точки, удовлетворяющей условию (1) или (2). При этом видно, что в расширенную область вместе с точками L и M теперь входит и точка N .

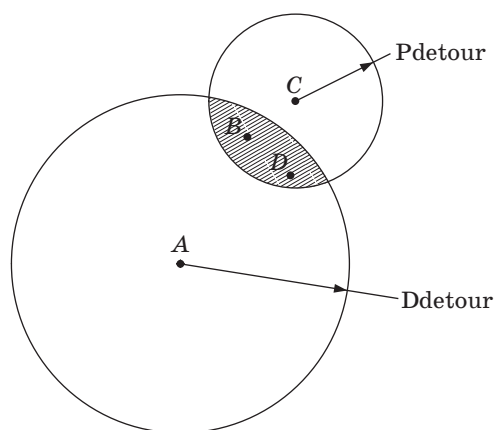
Применение подобной эвристики позволяет рассматривать только точки, находящиеся со стороны движения водителя. Однако она обладает существенными недостатками:

- выбор точек, расположенных дальше, чем максимальное отклонение водителя от кратчайшего пути;
- область выбора, ограниченная определенным углом. Из-за некорректного выбора угла возможна потеря потенциальных точек встречи.

Схема применения второй эвристики представлена на рис. 9. Суть второй эвристики заключается в том, что осуществляется выбор точек, находящихся на пересечении окружностей радиусов $Pdetour$ и $Ddetour$. За счет этого все точки являются потенциально достижимыми как для водителя, так и для пассажира, при этом отпадает необходимость определения угла, ограничива-



■ Рис. 8. Схема для двух точек пути водителя



■ Рис. 9. Схема применения второй эвристики

ющего область выбора. Как и в первой эвристике, рассматриваемая область может расширяться за счет увеличения количества точек пути водителя, удовлетворяющих условию (1) или (2).

Для эффективной работы представленных эвристик необходимо выполнение следующих условий:

- большое количество водителей. Если водителей будет мало, то из-за «жесткого» отсева поиск точек будет редко давать положительный результат;

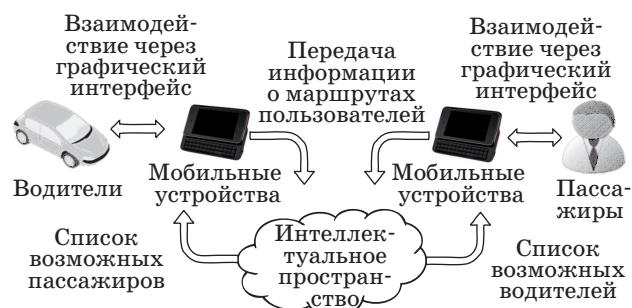
- малое значение $Ddetour$. При больших значениях $Ddetour$ эвристика будет бесполезной, так как задача сведется к полному перебору;

- равномерное распределение дорог по карте. Наличие рек, озер, заводов и т. п. ведет к отсутствию дорог в некоторых секторах (что является причиной потери возможных точек встречи), связанному с необходимостью объезда препятствия и заезда за пешеходом с другой стороны при достаточно больших значениях $Ddetour$.

Сценарий работы системы

Общий сценарий функционирования системы представлен на рис. 10.

Все участники системы устанавливают специальное приложение на мобильное устройство.



■ Рис. 10. Сценарий функционирования системы

С согласия пользователя приложение собирает информацию о расписании пользователя, личных предпочтениях, наиболее частых маршрутах и т. д. Также пользователь может выставлять дополнительные ограничения, например, максимально допустимую задержку в пути, максимальное дополнительное расстояние, которое водитель готов проехать в интересах пассажира, интересы для социального общения и т. п. После внутренней обработки и деперсонализации информации (передается не сама информация, а ее признаки) она передается в интеллектуальное пространство для формирования групп наиболее подходящих попутчиков в рамках собранных ограничений. Группы формируются в ходе исполнения логистического алгоритма, представленного выше. Пользователи из одной группы интерактивно получают список возможных попутчиков с описанием их профилей и, если разрешено пользователем, со ссылкой на внешние ресурсы, например страницу социальной сети (Facebook), точки и время встречи, и полные рекомендации по маршруту. Кроме предварительного поиска попутчиков возможен режим постоянного поиска в режиме реального времени в зависимости от изменения контекстной информации, например, при подключении к пространству новых пользователей, внесении изменений в ограничения и т. д. Таким образом, от пользователя не требуется никаких действий для поиска подходящих попутчиков, вся работа выполняется на стороне интеллектуального пространства, при этом особое внимание уделяется сохранению ощущения личного пространства у пользователя.

Заключение

В работе представлена интеллектуальная система управления логистической сетью при совместном использовании автотранспорта, позволяющая находить попутчиков для водителей в режиме реального времени с использованием персональных мобильных устройств. Система основывается на информационной платформе Smart-M3, реализующей концепцию интеллектуального пространства. Использование этой платформы позволяет значительно повысить масштабируемость и расширяемость прототипа системы. Представлен алгоритм поиска попутчиков для водителей и определения их точек встречи. В рамках алгоритма были разработаны две эвристики, что обеспечило ускорение его работы более чем в 1,5 раза.

Совместное использование транспорта при массовом применении системы существенно снизит нагрузку на транспортные системы городов, уменьшит дорожные заторы, обеспечит эконо-

мию топлива, снизит расходы на парковку и т. д. Например, согласно исследованиям Массачусетского технологического института, совместные поездки позволяют снизить суммарный пробег автомобилей на 9–27 % ежедневно [16].

В публикации представлены результаты исследований, инициированные контрактом с Nokia Research Center в области интеллектуальной логистики (Smart Logistic), выполненные при поддержке грантом РФФИ 10-07-00368-а, програм-

мой Президиума РАН «Интеллектуальные информационные технологии, математическое моделирование, системный анализ и автоматизация» (проект 213) и программой Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН «Интеллектуальные информационные технологии, системный анализ и автоматизация (проект 2.2 «Разработка методологии построения групповых информационно-рекомендующих систем»).

Литература

1. **Carpool** // Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Carpool> (дата обращения: 09.07.2012).
2. **Smirnov A., Kashevnik A., Shilov N. et al.** On-the-Fly Ontology Matching in Smart Spaces: A Multi-Model Approach. In: Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking: Proc. of the Third Conf. on Smart Spaces, ruSMART 2010, and 10th Intern. Conf. NEW2AN 2010, St. Petersburg, Russia. Springer, 2010. LNCS 6294. P. 72–83.
3. **Давай со мной.** <http://www.gowithme.ru/> (дата обращения: 09.07.2012).
4. **Довезу!ру.** <http://www.dovezu.ru/> (дата обращения: 09.07.2012).
5. **eRideShare.com.** <http://erideshare.com/> (дата обращения: 09.07.2012).
6. **PickupPal.** <http://www.pickupal.com/> (дата обращения: 09.07.2012).
7. **Zimride.** <http://www.zimride.com/> (дата обращения: 09.07.2012).
8. **RideshareOnline.** <http://www.rideshareonline.com/> (дата обращения: 09.07.2012)
9. **Rideshare 511.** <http://rideshare.511.org/> (дата обращения: 09.07.2012)
10. **CarJungle.** <http://www.carjungle.ru/> (дата обращения: 09.07.2012)
11. **Avego.** <http://www.avego.com/> (дата обращения: 09.07.2012)
12. **Honkola J., Laine H., Brown R., Tyrkko O.** Smart-M3 Information Sharing Platform: Proc. IEEE Symp. Computers and Communications (ISCC'10) / IEEE Comp. Soc., 2010. P. 1041–1046.
13. **Smart-M3** // Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Smart-M3> (дата обращения: 19.02.2011)
14. **Berners-Lee T., Fielding R., Masinter L.** RFC 3986 — Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax // Дата обновления: январь 2005. <http://tools.ietf.org/html/rfc3986> (дата обращения: 09.07.2012)
15. **Resource Description Framework (RDF).** <http://www.w3.org/RDF/> (дата обращения: 09.07.2012)
16. **Rideshare History & Statistics.** MIT «Real-Time» Rideshare Research. <http://ridesharechoices.scripts.mit.edu/home/histstats> (дата обращения 09.07.2012).

УДК 004.06

КОНЦЕПЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

Е. И. Разинкин,

аспирант

Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, г. Москва

Рассмотрена проблема интероперабельности и предложен общий подход к ее достижению, основанный на лучших практиках крупных исследовательских проектов. Разработана концепция обеспечения интероперабельности в области электронной коммерции, которая включает в себя общий подход к обеспечению интероперабельности, построение архитектуры и модели интероперабельности, а также определение набора стандартов, необходимых для дальнейшей реализации поставленной задачи на основе технологии XML.

Ключевые слова — интероперабельность, электронная коммерция, XML.

Введение

Одной из наиболее активно развивающихся областей деятельности человека может по праву считаться сфера электронной коммерции (e-commerce), т. е. сфера, которая включает в себя все финансовые и торговые транзакции, осуществляемые при помощи компьютерных сетей, и бизнес-процессы, связанные с проведением таких транзакций. По оценке исследовательской лаборатории Bay.Ru, объем российского рынка электронной коммерции в 2011 г. составил около 12–13 млрд дол. Эксперты считают, что в 2012 г. его объем превысит отметку 15 млрд дол., а количество пользователей, которые так или иначе занимаются электронной коммерцией, достигнет порядка 2,3 млн чел., и эта цифра будет неуклонно расти.

Но существует множество барьеров, которые мешают развитию данной отрасли. Одним из таких барьеров считается проблема обеспечения интероперабельности. «*Интероперабельность* — это способность двух или более систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена» (ISO/IEC 24765).

В данной статье предложена концепция по обеспечению интероперабельности в области электронной коммерции, которая основана на лучших практиках разработок зарубежных компаний, таких как Microsoft, Oracle, Sun Microsystems и др., в области электронной коммерции. В основу концепции нами заложен единый подход к обеспечению интероперабельности, который будет описан далее.

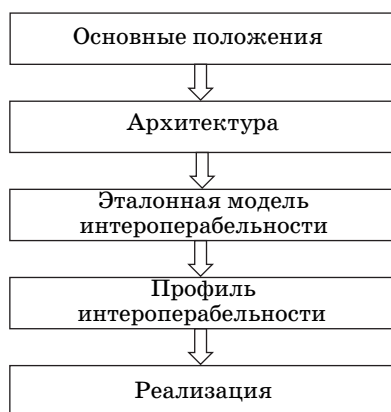
Общий подход к обеспечению интероперабельности

В настоящее время существует множество подходов к обеспечению интероперабельности для разных областей деятельности человека. К примеру, Национальным институтом по стандартам и технологиям (NIST) был разработан документ [1], который посвящен разработке структуры, включающей протоколы и стандарты на модели управления информацией для достижения функциональной совместимости устройств и систем Smart Grid.

В области электронного здравоохранения (e-health) существует научно-исследовательский австралийский проект NENTA [2], который разработал архитектуру обеспечения интероперабельности электронного здоровья. Данная архитектура устанавливает общие понятия из области электронного здоровья, принципы и стандарты, чтобы развивать и реализовывать интероперабельность на техническом, семантическом и организационном уровнях.

Обобщив собственный опыт [3–5] и опыт других разработчиков, мы разработали единый подход к обеспечению интероперабельности, который можно представить в виде ряда последовательных этапов (рис. 1).

Одной из особенностей данной цепочки является то, что каждый последующий этап базируется на предыдущем. Практически во всех источниках, будь то NIST или NENTA, опущены либо совмещены некоторые элементы данной цепочки. Это говорит о том, что для разных проектов существуют



■ **Рис. 1.** Единый подход к обеспечению интероперабельности систем широкого класса

различные приоритеты и задачи, которые должны решаться максимально быстро и эффективно, и для которых, возможно, нет острой необходимости в описании некоторых из этапов приведенной цепочки. Сжатые сроки разработки и ограниченность ресурсов также могут повлиять на полноту описания той или иной области исследования.

Зачастую еще одним фактором, влияющим на набор этапов цепочки, является разная трактовка понятий, в особенности из-за различных областей знаний, к которым данные определения применены. Поэтому предлагаем обобщить данные определения и использовать их в широком смысле.

Основные положения (Framework) содержат концепцию по достижению интероперабельности. Термин Framework имеет много значений, начиная от буквального (каркас, рамка) и заканчивая широким (концептуальный уровень, контекст, основные принципы) и узким (структура программной системы; программное обеспечение, облегчающее разработку и объединение разных компонентов большого программного проекта).

Архитектура (Architecture) — определение элементов системы и связей между ними и с окружающей средой.

Эталонная модель (Reference model) — многоуровневая модель интероперабельности.

Профиль (Profile) — согласованный набор стандартов, расположенных в терминах эталонной модели.

Реализация (Solution) — программно-аппаратная реализация конкретной интероперабельной системы в соответствии с профилем.

Основные положения обеспечения интероперабельности в области электронной коммерции

Обмен, покупка и продажа товаров в различных масштабах, а также последующая транспор-

тировка от склада до покупателя являются коммерцией в широком смысле этого слова. Но когда все вышеперечисленные процессы осуществляются в электронном виде, то речь идет уже об электронной коммерции. Если быть более точным, то электронная коммерция — разновидность бизнес-активности¹, в которой взаимодействия субъектов бизнеса купли-продажи товаров и услуг (как материальных, так и информационных) осуществляются с помощью глобальной компьютерной сети Интернет или какой-нибудь другой информационной сети [6]. С точки зрения коммуникационных особенностей, электронная коммерция базируется на передаче информации, продуктов и услуг с помощью компьютерных сетей. С точки зрения бизнеса, для сферы электронной коммерции характерна автоматизация бизнес-транзакций и технологических процессов. Если рассматривать электронную коммерцию с позиции сферы обслуживания, то это — инструмент, который позволяет сократить сервисные издержки на взаимодействие между компаниями и потребителями, что способствует улучшению качества продукции и увеличению скорости предоставления услуг. Электронная коммерция с точки зрения онлайн обеспечивает возможность покупки и продажи продуктов и услуг с помощью сети Интернет.

Электронная коммерция тесно связана с еще одним понятием — «электронный бизнес». Электронный бизнес (e-business) — деловая активность², которая использует возможности глобальных информационных сетей для преобразования внутренних и внешних связей компании в целях создания прибыли [6]. Электронная коммерция является важнейшей составляющей электронного бизнеса, которая охватывает не только операции купли-продажи, а и сопровождение процессов создания спроса на продукцию и услуги, автоматизацию административных функций, связанных с онлайн-продажами и обработкой заказов, а также с совершенствованием обмена информацией между партнерами. Другими словами, понятие «электронный бизнес» шире понятия «электронная коммерция», касающегося только коммерческой деятельности. Понятие «электронный бизнес» охватывает всю систему взаимоотношений с партнерами и заказчиками.

Рассматривая область электронной коммерции, можно отметить, что, так же, как и сфера

¹ Совокупности видов экономической деятельности: покупка, продажа, аренда, инвестирование и др. (в соответствии с национальным стандартом ISIC).

² Экономическая деятельность, конкретизированная в виде производства того или иного товара или оказания конкретной формы услуг (в соответствии с национальным стандартом ISIC).

электронного бизнеса, электронная коммерция состоит из более мелких областей, среди которых:

- электронное движение капитала (Electronic Funds Transfer, EFS);
- электронные страховые услуги (e-insurance);
- электронные деньги (e-cash);
- электронная торговля (e-trade);
- электронный маркетинг (e-marketing);
- электронный банкинг (e-banking);
- электронный обмен информацией (Electronic Data Interchange — EDI).

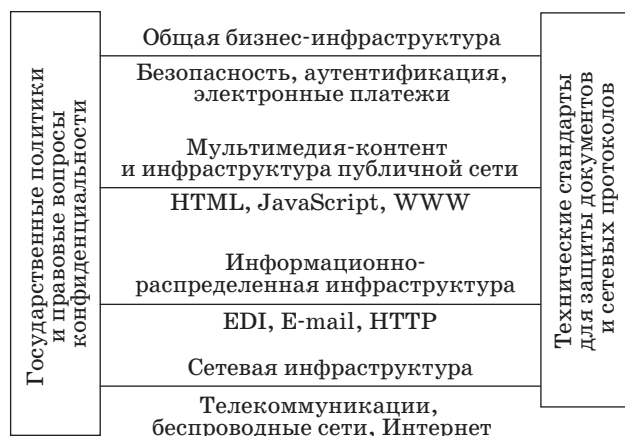
Для области электронной коммерции характерны следующие типы систем: B2C (бизнес — потребителю), B2B (предоставление товаров и услуг предприятиям), B2B2C (предоставление товаров и услуг предприятиям для последующей реализации потребителю), G2B или G2C (правительство — бизнес или правительство — потребитель).

Все вышеперечисленные классы систем имеют разный набор сущностей, которые участвуют в информационном процессе, но, не смотря на это, любая система электронной коммерции содержит типовые компоненты (рис. 2).

Рассмотрим более подробно компоненты электронной коммерции.

Сетевая инфраструктура — информационная магистраль или путь, по которому перемещаются информационные потоки между отправителем и получателем. В качестве информационной магистрали могут выступать коаксиальные кабели, беспроводные и радиосигналы, сигналы спутниковой связи. Все эти способы коммуникации взаимосвязаны маршрутизаторами, коммутаторами, мостами, шлюзами и т. д.

Информационно-распределенная инфраструктура — компонент, который включает в себя промежуточное программное обеспечение, интерпретирующее информационные потоки. В данном случае информационные потоки представлены в виде нулей и единиц.



■ Рис. 2. Компоненты электронной коммерции

Мультимедиа-контент и инфраструктура публичной сети — компонент, который позволяет преобразовывать информационные потоки в понятный для восприятия контент и мультимедиа содержимое. Наиболее распространенной архитектурой является WWW (World Wide Web) — распределенная архитектура, предоставляющая доступ к связанным между собой документам, расположенным на различных компьютерах, подключенных к Интернету. Контент может формироваться на основе языка гипертекстовой разметки HTML и других технологий (таких как Java Script, XML и пр.).

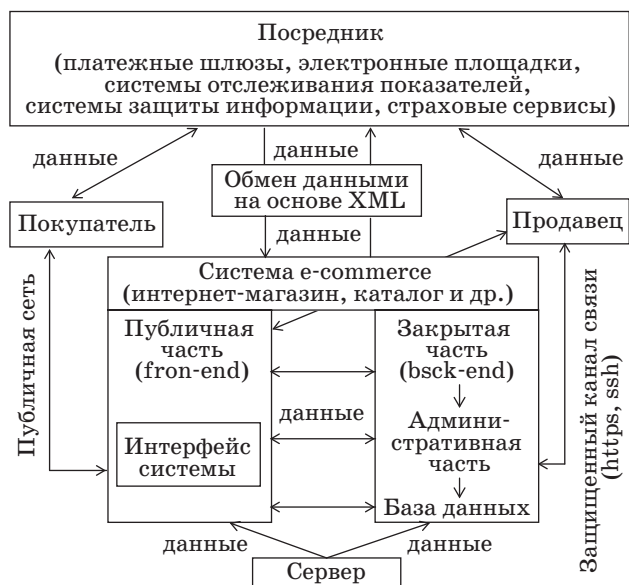
Общая бизнес-инфраструктура включает в себя различные методы, обеспечивающие онлайн-покупки. Для обеспечения безопасности онлайн-покупки созданы различные методы шифрования информации, кроме этого, необходима обязательная аутентификация покупателя на платежном шлюзе, если оплата производится с помощью безналичных средств.

Архитектура интероперабельности для электронной коммерции

Одним из главных в разработке систем любого класса является этап описания элементов системы и связей между ними и с окружающей средой, т. е. архитектуры системы. Разработка архитектуры системы позволяет сформировать подход к дальнейшей разработке приложения в соответствии с бизнес- и техническими требованиями, такими как стоимость, производительность, безопасность. Основываясь на разработанной архитектуре, разработчики могут спроектировать удобное, масштабируемое, расширяемое и надежное программное решение.

Для того чтобы снизить бизнес-риски, связанные с созданием и развертыванием программного решения, в архитектуре должны быть учтены следующие факторы [7]:

- категории пользователей программного решения и то, как они будут его использовать;
- ИТ-среда и класс систем, куда может быть интегрировано программное решение;
- каким образом программное решение будет развернуто в производстве и какие аппаратные ресурсы будут необходимы для этого;
- какие требования к качеству (безопасность, производительность и управляемость) будут предписаны к системе;
- бизнес- и технологические тенденции, которые могли бы повлиять на программное решение в долгосрочной перспективе;
- специфичные особенности системы, характерные для той ИТ-среды, в которой будет существовать данное программное решение.



■ Рис. 3. Архитектура электронной коммерции

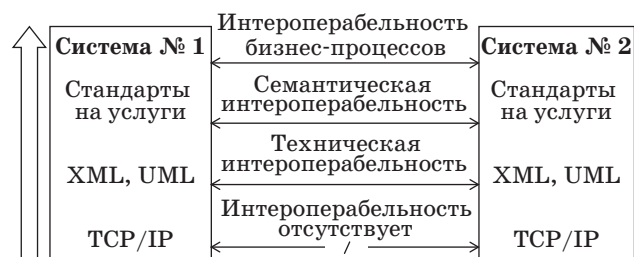
Исходя из данных особенностей мы предлагаем архитектуру, отражающую особенности сферы электронной коммерции (рис. 3).

Данная архитектура построена с позиции трех ключевых сущностей, характерных для области электронной коммерции: покупатель, продавец и посредник. Сама же система состоит из двух частей: открытой (front-end) и закрытой (back-end). Такое разделение необходимо для разграничения прав доступа между сущностями. К примеру, продавец, являющийся владельцем (или администратором) некоторой системы, может производить ее администрирование по защищенным каналам связи (https, ssh и др.). Кроме этого, администратор может настроить связь системы с другими сервисами, такими как Яндекс-маркет и др. Данная связь происходит с помощью обмена данными между системами, опять же по зашифрованным каналам связи.

Ключевую роль в данном процессе играет уровень интероперабельности системы. Поэтому авторы поставили себе задачу по разработке конечного программного решения (или модуля), которое бы обеспечило высокий уровень интероперабельности. Кодовое название модуля — «E-commerce Interoperability Module» (или EсIM), в котором будет использована технология XML и который позволит решить проблемы интероперабельности именно для области электронной коммерции.

Модель интероперабельности для электронной коммерции

Построение эталонной модели служит одним из ключевых этапов общего цикла обеспечения интероперабельности [8]. На рис. 4 показана эта-



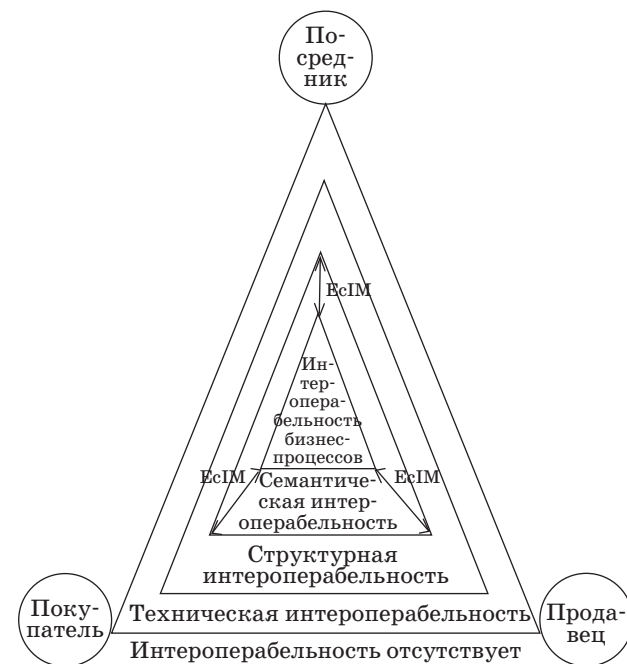
■ Рис. 4. Модель обеспечения интероперабельности

лонная модель интероперабельности. На каждом уровне используются свои стандарты.

Как говорилось ранее, авторы видят свою задачу в выработке единого подхода к обеспечению интероперабельности в области электронной коммерции и программной реализации данного подхода на основе языка XML. Для этого нами была разработана своя модель интероперабельности, характерная именно для области электронной коммерции и учитывающая все архитектурные особенности области электронной коммерции (рис. 5).

В отличие от вышеописанных моделей ведения электронной коммерции (B2B, B2C и др.) и эталонной модели (см. рис. 4), представленная модель имеет ряд особенностей:

- модель отражает 5 уровней интероперабельности;
- для данной модели характерно обязательное наличие двух систем: системы, которая потребляет услуги или товары, т. е. клиента; и си-



■ Рис. 5. Модель интероперабельности электронной коммерции

стемы, которая предоставляет услуги или товары, — продавца. Третьим звеном в данной цепочке является посредник. В большинстве случаев в качестве посредников выступают банки, платежные шлюзы, агентства и др.;

— наличие программного модуля, позволяющего достичь семантического уровня интероперабельности и перейти к интероперабельности бизнес-процессов.

Хочет отметить, что сущность «посредник» явно не упоминается в классической модели электронной коммерции (B2B, B2C и др.), но она, на самом деле, завуалирована (к примеру, B2B2C). Таким образом, мы акцентируем внимание на том, что у модели может быть дополнительная сущность «посредник», так как именно цепочка покупатель — посредник — продавец позволяет более широко понять процесс обеспечения интероперабельности электронной коммерции.

Согласованный набор стандартов в рамках модели

Для того чтобы реализовать модель на практике, необходимо согласовать набор стандартов, который будет использоваться в рамках этой модели. Опираясь на исследование Австралийского национального университета, приведем общий список стандартов, которые могут быть использованы в области электронной коммерции [9].

UN/EDIFACT расшифровывается как «Правила ООН электронного обмена документами для гос. управления, торговли и транспорта».

Электронный обмен документами (Electronic Data Interchange — EDI) налагает три основных требования:

- соблюдение единого синтаксиса обмена;
- возможность выбора элементов данных;
- единый формат, в котором эти элементы представлены при генерации сообщений и файлов для обмена.

В настоящее время реализуется проект ebXML «Создание единого глобального электронного рынка», который поддерживается Организацией продвижения стандартов структурированной информации OASIS. При разработке проекта ebXML применялись следующие основные принципы:

- простое, единое и повсеместное использование ebXML в электронном бизнесе;
- использование спецификаций XML в максимально возможных пределах;
- обеспечение открытыми стандартами электронной торговли: B2B (business to business) и BC (business to customer);
- объединение структуры и содержания компонентов расходящихся XML-инициатив в единый XML-бизнес-стандарт;

— минимизация затрат при обмене приложение-приложение;

— обеспечение мультязычной поддержки;

— поддержка национальных и международных правил торговли;

— поддержка традиционных принципов EDI на основе стандарта UN/EDIFACT.

XML DTD описывает схему документа для конкретного языка разметки посредством набора объявлений (объектов-параметров, элементов и атрибутов), которые описывают его класс (или тип) с точки зрения синтаксических ограничений этого документа. Также DTD может объявлять конструкции, которые всегда необходимы для определения структуры документа и могут влиять на интерпретацию определенных документов.

В XML-документах DTD определяет набор действительных элементов, идентифицирует элементы, которые могут находиться в других элементах, и определяет действительные атрибуты для каждого из них. Синтаксис DTD весьма своеобразен, и от автора-разработчика требуются дополнительные усилия при создании таких документов. В XML использовать DTD не обязательно — документы, созданные без этих правил, будут правильно обрабатываться программой-анализатором, если они удовлетворяют основным требованиям синтаксиса XML. Однако контроль за типами элементов и корректностью отношений между ними в этом случае будет полностью возлагаться на автора документа.

Стандарт W3C¹ XML E-commerce содержит:

- WSDL (Web Services Description Language) — язык описания веб-сервисов и доступа к ним, основанный на языке XML. Последние официальные спецификации — версия 2.0, которая имеет статус рекомендации, и версия 1.1, которая имеет статус заметки (note);
- SOAP — облегченный протокол для обмена структурированной информацией в децентрализованной, распределенной среде;
- XML Schema — язык для описания структуры и ограничения содержимого XML-документов.

Document Related Standards определяет 4 типа стандартов разметки документов:

- XSL — расширяемый язык таблиц стилей;
- XSLT — язык для преобразования XML-документов в другие XML-документы;
- XHTML — семейство языков разметки веб-страниц на основе XML, повторяющих и расширяющих возможности HTML. Спецификации XHTML 1.0 и XHTML 1.1;
- XML — расширяемый язык разметки.

¹ Консорциум Всемирной паутины (World Wide Web Consortium, W3C) — организация, разрабатывающая и внедряющая технологические стандарты для Всемирной паутины.

Программная реализация интероперабельности на семантическом уровне

Исходя из набора стандартов, приведенного выше, можно сделать вывод, что в основе наиболее удачных и эффективных решений заложена технология XML. XML стал стандартом по форме рекомендации W3C, а потребность в приложениях, основанных на данной технологии, растет очень быстро.

Если рассматривать связь XML с другими стандартами, то можно выделить следующие ключевые технологии XML TM [10]:

- использует правила, определенные консорциумом W3C;
- рекомендует использовать Unicode TR29 для обеспечения эффективной разметки текстовых элементов, что является необходимым условием для сегментации количества слов и символов;
- использует правила, определенные в стандарте SRX, для сегментации отдельных блоков текста в предложении;
- включает в себя стандарт XLIFF для извлечения текста для последующего перевода;
- позволяет легко создавать TMX-файлы для выгрузки из памяти сохраненных переводов между программной и клиентской частью.

Важно также рассмотреть роль XML в электронной коммерции и проблемы, которые необходимо преодолеть, чтобы сохранить их эффект от взаимодействия. С точки зрения электронной коммерции, в XML заложены следующие преимущества [11].

Стандартизация XML. Стандартизация в представлении и передаче информации имеет решающее значение для B2B и B2C электронной коммерции. XML не зависит от платформы, и приложения, построенные на технологии XML, независимы.

Управляемость. Приложения, построенные на XML, могут быть преобразованы под различные мультимедийные устройства (веб-браузер, документы, компакт-диски и т. д.).

Продолжительный жизненный цикл информационной системы. XML-форматы, а также системы, использующие XML, существуют в виде обычного текста. Это дает возможность использо-

вать данные на протяжении более длительного срока службы с возможностью использовать их повторно. Даже если система окажется устаревшей, данные будут актуальными и доступными в долгосрочной перспективе.

Расширяемость. XML, как мета-язык, обеспечивает стандартные рамки для создания бизнес-ориентированных словарей.

Интернационализация данных. Одним из главных преимуществ ведения бизнеса в Интернете является расширение клиентской базы в сторону глобализации, без необходимости привязки к конкретному офису. С поддержкой юникода в XML веб-сайты и интернет-магазины могут быть многоязычными.

Перечень достоинств XML можно продолжить и дальше. Следует сказать, что само по себе использование XML не может дать успешного решения в области электронной торговли, но может предложить огромный потенциал для бизнеса, разработчиков и потребителей, участвующих в электронной торговле. XML является надежным фундаментом для построения приложений, которые будут обладать высоким уровнем интероперабельности.

Заключение

В данной статье была предложена концепция по обеспечению интероперабельности в области электронной коммерции, состоящая из пяти этапов. Были рассмотрены основные положения, архитектура, модель, стандарты и реализация, на основе чего можно сделать следующие выводы:

- зачастую некоторые из этапов могут быть опущены или объединены (к примеру, модель и архитектура) исходя из специфики рассматриваемой области деятельности человека;
- особенностями модели интероперабельности электронной коммерции является наличие трех сущностей, в отличие от классической модели (B2B, B2C и т. д.).

Разработанная концепция позволила перейти к реализации программного решения (модуля EsIM) на основе технологии XML. Планируется внедрить EsIM в реальный проект (электронную площадку).

Литература

1. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability standards, 2010. http://www.nist.gov/public_affairs/releases/upload/smartgrid_interoperability_final.pdf (дата обращения: 09.07.2012).

2. National E-Health Transition Authority Framework, 2008. http://www.nehta.gov.au/component/docman/doc_details/391-interoperability-framework-v20 (дата обращения: 09.07.2012).

3. **Олейников А. Я.** Технология открытых систем. — М.: Янус-К, 2004. — 286 с.
4. **Разинкин Е. И.** Обзор концептуальных документов, архитектур и моделей в области обеспечения интероперабельности в сфере e-commerce // Стандартизация, сертификация, обеспечение эффективности, качества и безопасности информационных технологий: сб. ст. Междунар. конф. «СИТОП», 2011. С. 46–50.
5. **Разинкин Е. И.** Разработка информационной предметной среды на основе технологии открытых систем: тез. докл. внутривуз. студ. конф. по итогам НИРС за 2006/07 учеб. год / под общ. ред. П. Ю. Романова, Т. В. Саляевой. Магнитогорск: МаГУ, 2007. С. 273.
6. **Handfield R. B., Nichols E. L.** Supply chain redesign. Transforming supply chains into integrated value systems. — Financial Times Prentice Hall books, 2002. — 371 p.
7. **Sikander J. B., Sarma V. O.** A Prescriptive Architecture for Electronic Commerce and Digital Marketing. — Microsoft Ltd, 2010. — 98 p.
8. **Батоврин В. К., Гуляев Ю. В., Олейников А. Я.** Обеспечение интероперабельности — основная тенденция в развитии открытых систем // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. № 5. С. 7–15.
9. **Information Technology in Electronic Commerce.** Australian National University. <https://wattle.anu.edu.au> (дата обращения: 09.07.2012).
10. **Kamthan P. B., Pai H. I.** Perspectives of XML in E-Commerce. — IRT, 2002. — 40 p.
11. **Anderson M. M.** Workflow Interoperability — Enabling e-commerce. — WfMC White Paper, 1999. — 12 p.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи.

Процедуры согласования текста статьи могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (80x@mail.ru).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию, при необходимости доработать статью — рецензию. Рукописи не возвращаются.

Редакция журнала напоминает, что ответственность за достоверность и точность рекламных материалов несут рекламодатели.

УДК 616.31

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ВРАЧА

Е. В. Садыкова,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Представлен пример моделирования процесса прогноза заражения внутрибольничной инфекцией для системы поддержки принятия решений врача. Для построения модели предлагается подход, который позволяет объединить экспериментальные данные о количестве заболеваний внутрибольничной инфекцией с экспертной оценкой о закономерностях, извлекаемых из экспертных данных. Полученные закономерности формализуются при помощи нечеткой логики путем настраивания нечетких правил.

Ключевые слова — системы поддержки принятия решений, информационные технологии, дифференциальный диагноз, модель прогноза заражения внутрибольничной инфекцией.

Введение

Задача синтеза систем поддержки принятия решений медицинских специалистов должна опираться, с одной стороны, на возможности современных информационных технологий, а с другой — на достаточно полное, глубокое знание успешного решения задач дифференциальной диагностики заболеваний человека [1].

Однако вопросы методологии, технологии исследования оценки функционального состояния здоровья и диагностики заболеваний человека остаются нерешенными. Современный уровень развития медицины, биологии, информационных технологий, техники требует решения подобных вопросов на качественно новом уровне.

Целью проводимых исследований является создание моделей, алгоритмов и программного обеспечения систем поддержки принятия решений врача (СППРВ) путем эффективного использования аналитических и физиологических методов дифференциальной диагностики различных заболеваний.

На стадии дифференциального диагноза решаются две задачи: отделение данного заболевания от других болезней и формирование диагностической гипотезы о нозологической форме и особенностях ее течения у данного больного. Абсолютной истины, как и абсолютно достоверного диагноза, не существует, поэтому в каждый данный момент необходима такая степень точности диагноза, которая должна настолько четко отражать заболевание

и состояние больного, чтобы явиться основанием для эффективных практических врачебных действий [2]. Умение правильно оценивать клинический фон, на котором выделяются признаки болезни, постигается в результате учебного процесса либо методом «проб и ошибок». И хотя этому умению нельзя полностью научиться при помощи СППРВ, все же она даст врачу комплекс знаний по проблеме и наметит основные пути анализа фактов, выявленных им при исследовании больного.

Технологии создания СППРВ

Системы поддержки принятия решений врача способны осуществлять интеллектуальный анализ медицинских данных с использованием математических методов машинного обучения, таких как статистические методы, нейронные сети, искусственный интеллект, генетические алгоритмы, деревья решений и т. д. Интеллектуальный анализ медицинских данных в таких системах позволяет получать диагностическую информацию о различных заболеваниях.

В состав системы поддержки принятия решений входят три главных компонента: база данных, база моделей и программная подсистема, которая состоит из систем управления базой данных, базой моделей и интерфейсом между пользователем и компьютером [3].

База данных играет в информационной технологии поддержки принятия решений важную роль. Данные могут использоваться непосредствен-

но врачом для получения диагностической информации при помощи математических моделей.

Целью создания моделей являются описание и оптимизация некоторого объекта или процесса. Использование моделей обеспечивает проведение анализа в системах поддержки принятия решений. Модели, базируясь на математической интерпретации проблемы, при помощи определенных алгоритмов способствуют нахождению информации, полезной для принятия правильных решений.

Математические модели состоят из совокупности модельных блоков, модулей и процедур, реализующих математические методы. В данном случае часто используют процедуры линейного программирования, статистического анализа временных рядов, регрессионного анализа. Модельные блоки, модули и процедуры могут использоваться как поодиночке, так и комплексно для построения и поддержания моделей.

Модель прогноза заражения внутрибольничной инфекцией для СППРВ бактериолога

В статье представлен пример моделирования процесса прогноза заражения внутрибольничной инфекцией (ВБИ) для СППРВ. Для построения модели использованы экспериментальные данные о количестве заболеваний ВБИ стационаров. После экспертной оценки экспериментальных данных можно сделать вывод о закономерностях возникновения ВБИ. Полученные закономерности формализуются при помощи нечеткой логики путем настраивания нечетких правил ЕСЛИ-ТО с помощью существующих экспериментальных данных. Такая модель позволяет построить прогноз в условиях малых экспериментальных выборок, поэтому ее можно применить для прогноза заражения конкретной ВБИ стационара.

Анализируя динамику изменений числа заболеваний некоторых стационаров на протяжении 15 лет, можно заметить 4 цикла за 4 года, в каждом году 4 периода, приходящихся на максимум заболеваемости ВБИ (рис. 1).

На основании сделанных выводов о закономерностях распространения ВБИ в различных стационарах можно сказать, что заболевания ВБИ имеют циклический характер, максимумы ВБИ возникают через 3–4 месяца.

Пусть ... x_4^{i-1} ($x_1^i, x_2^i, x_3^i, x_4^i$) (x_1^{i+1}, \dots — циклы, где i — номер цикла; $x_1^i, x_2^i, x_3^i, x_4^i$ — количество заболеваний ВБИ в 1–4 периодах года соответственно).

Сеть зависимостей, которая объединяет сформированные логические правила G_i в i -м и $(i + 1)$ -м циклах, показывает, что по двум первым периодам года i -го цикла можно прогнозировать

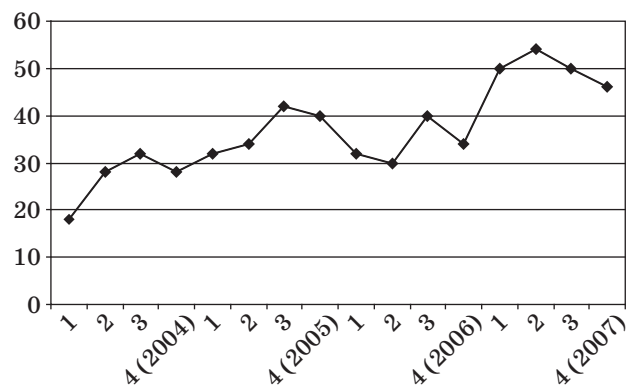


Рис. 1. Динамика изменений количества заболеваний пневмонией

на год вперед: на два последних периода года i -го цикла и на два первых периода года следующего $(i + 1)$ -го цикла.

Логические правила G_i , имеющие экспертные оценки «низкий» (Н), «ниже среднего» (НС), «средний» (С), «выше среднего» (ВС), «высокий» (В), согласно теории нечетких множеств формализуем при помощи функции принадлежности $\mu^T(x)$, которая лежит в диапазоне $[0, 1]$ и имеет следующий вид: $\mu^T(x) = 1/(1 + ((x - b)/c)^2)$, где b и c — параметры настройки, которые вначале выбираются экспертом, а затем настраиваются на экспериментальные данные: b — координата максимума функции, $\mu^T(b) = 1$; c — коэффициент концентрации (растяжения функции).

Используя введенные в теории нечетких множеств логические операции \min (И), \max (ИЛИ) и принцип взвешенной суммы для преобразования функции принадлежности к четкому числу, получим модель прогноза пневмонии (ВБИ):

$$G_1: x_3^i = (x_2 \mu^C(x_2^i) + x_3 \mu^{BC}(x_2^i) + x_4 \mu^B(x_2^i)) / (\mu^C(x_2^i) + \mu^{BC}(x_2^i) + \mu^B(x_2^i));$$

$$\mu^C(x_2^i) = \min(\mu^H(x_1^i), \mu^{HC}(x_2^i));$$

$$\mu^{BC}(x_2^i) = \min(\mu^C(x_1^i), \mu^C(x_2^i));$$

$$\mu^B(x_2^i) = \min(\mu^B(x_1^i), \mu^B(x_2^i)).$$

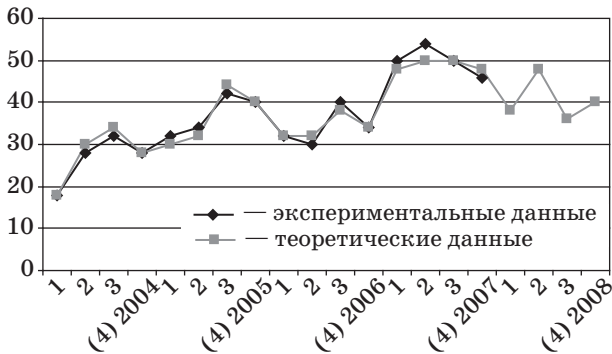
$$G_2: x_4^i = (x_1 \mu^{HC}(x_1^i) + x_2 \mu^C(x_1^i) + x_3 \mu^{BC}(x_1^i)) / (\mu^{HC}(x_1^i) + \mu^C(x_1^i) + \mu^{BC}(x_1^i));$$

$$\mu^{HC}(x_1^i) = \min(\mu^H(x_1^i), \mu^{HC}(x_2^i));$$

$$\mu^C(x_1^i) = \min(\mu^C(x_1^i), \mu^C(x_2^i));$$

$$\mu^{BC}(x_1^i) = \max(\min(\mu^B(x_1^i), \mu^B(x_2^i)); \min(\mu^C(x_1^i), \mu^C(x_2^i))).$$

$$G_3: x_1^{i+1} = (x_2 \mu^C(x_1^{i+1}) + x_4 \mu^B(x_1^{i+1})) / (\mu^C(x_1^{i+1}) + \mu^B(x_1^{i+1}));$$



■ Рис. 2. Сопоставление экспериментальных и теоретических данных после настройки



■ Рис. 3. Сопоставление результатов ошибки с теоретическими и экспериментальными данными числа заболеваний пневмонией (ВБИ)

$$\mu^C(x_1^{i+1}) = \max(\mu^{HC}(x_4^i), \mu^{BC}(x_4^i));$$

$$\mu^B(x_1^{i+1}) = \mu^C(x_4^i).$$

G_4 :

$$x_3^i = (x_1 \mu^{HC}(x_2^{i+1}) + x_2 \mu^C(x_2^{i+1}) + x_4 \mu^B(x_2^{i+1})) / (\mu^{HC}(x_2^{i+1}) + \mu^C(x_2^{i+1}) + \mu^B(x_2^{i+1}));$$

$$\mu^{HC}(x_2^{i+1}) = \min(\mu^{BC}(x_4^i), \mu^C(x_1^{i+1}));$$

$$\mu^C(x_2^{i+1}) = \min(\mu^{HC}(x_4^i), \mu^C(x_1^{i+1}));$$

$$\mu^B(x_2^{i+1}) = \min(\mu^C(x_4^i), \mu^{BC}(x_1^{i+1})).$$

При помощи полученной модели можно грубо прогнозировать количество заболеваний. Для повышения точности прогноза необходимо перейти к настройке модели. Задача настройки состоит в подборе таких параметров b и c функций принадлежности методом наименьших квадратов, которые обеспечат минимум расхождения между теоретическим и экспериментальным количеством заболеваний (рис. 2).

Применение настроенных функций принадлежности позволяет получить теоретические данные, достаточно близкие к экспериментальным данным, и модель прогнозирования на 2013 г. Пример прогноза на 2008 г. (рис. 3) проверен на медицинских данных и имеет хорошие результаты.

На основании разработанной модели прогноза заражения общего числа ВБИ можно строить прогноз заражения общего количества ВБИ по стационару на год.

Эффективность и гибкость информационной технологии во многом зависят от характеристик интерфейса системы поддержки принятия решений. Интерфейс определяет язык пользователя; язык сообщений компьютера, организующий диалог на экране дисплея; знания пользователя.

Заключение

Сформулированные рекомендации по созданию систем поддержки принятия решений медицинских специалистов позволяют предложить модели, диагностические алгоритмы, технологии прогнозирования состояния человека, повышающие эффективность лечебного процесса.

Главной особенностью информационной технологии поддержки принятия решений является качественно новый метод организации взаимодействия врача и компьютера. Выработка диагностического решения, что является основной целью этой технологии, происходит в результате взаимодействия системы поддержки принятия решений с врачом как лицом, принимающим решение, задающим входные данные и оценивающим полученный результат вычислений на компьютере. В этом случае можно говорить о способности информационной системы совместно с врачом создавать новую информацию для принятия решений.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (государственный контракт № П1081 от 31.05.2010).

Литература

1. Садыкова Е. В., Абувда Ахмед М. А. Система поддержки принятия решения врача-бактериолога в микробиологической лаборатории // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2009. № 2. С. 63–68.
2. Садыкова Е. В. Автоматизированный анализ внутрибольничных инфекций // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 11. С. 57–62.
3. Садыкова Е. В., Максимова О. В. Математические и концептуальные модели заболеваний для системы поддержки принятия решений врача-клинициста // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 11. С. 39–43.

УДК 519.614

ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦ АДАМАРА – МЕРСЕННА

Н. А. Балонин,

доктор техн. наук, профессор, старший научный сотрудник

М. Б. Сергеев,

доктор техн. наук, профессор, директор

НИИ информационно-управляющих систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики

Л. А. Мироновский,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Приведено определение обобщенных матриц Адамара, порядок которых равен числам Мерсенна. Рассмотрены свойства матриц Адамара – Мерсенна, описан алгоритм их построения, приведены числовые примеры.

Ключевые слова – ортогональные матрицы, матрицы Адамара, матрицы Белевича, числа Мерсенна.

Введение

Матрицы Адамара нашли применение в практике построения помехоустойчивых и защитных кодов, в шифровании и маскировании. К сожалению, матрицы Адамара существуют не для всех порядков n , поэтому актуальной остается задача поиска ортогональных матриц, близких к ним по смыслу. Решению этой проблемы посвящены работы [1–5].

Элементы искомых матриц распадаются на некоторые группы (уровни) одинаковых по абсолютным величинам чисел [1, 2]. Наиболее экономно устроены матрицы Адамара, имеющие одноуровневую структуру — все их элементы равны $\{1, -1\}$.

Классический способ построения матриц Адамара порядков $n = 2^k$ основан на использовании итерационной формулы Сильвестра

$$S_{2n} = \begin{pmatrix} S_n & S_n \\ S_n & -S_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где в качестве начального значения принято число $S_1 = 1$.

Помимо простоты построения, матрицы Адамара отличает экстремальное свойство: максимальный по абсолютной величине элемент такой матрицы (m -норма) имеет наименьшее значение на множестве ортонормированных матриц того же порядка. Расширительное толкование матриц Адамара возможно при опоре на отмеченное минимальное свойство [1, 2] при одновременном ос-

лаблении жесткого ограничения на значения уровней, а именно, допуская для элементов M -матриц два значения $\pm a$ и $\pm b$. Далее без ограничения общности будем считать, что $|a| = 1$, $|b| < 1$.

Таким образом, задача сводится к отысканию матриц с минимальной m -нормой на множестве ортогональных двухуровневых матриц.

Модифицированная формула Сильвестра

Цель данной работы состоит в описании последовательности двухуровневых ортогональных M -матриц, аналогичных последовательности Сильвестра (1), но построенной для чисел Мерсенна $n = 2^k - 1$, где k — целое. Так как значения уровней элементов матриц изменились, модифицируем формулу удвоения порядка Сильвестра.

Положение 1. Рассмотрим модифицированную формулу Сильвестра

$$S_{2n} = \begin{pmatrix} M_n & M_n \\ M_n & M_n^* \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где матрица M_n^* образована перестановкой уровней $a = 1$ и $-b$. Полученная по этой формуле матрица S_{2n} симметрична, но ее порядок четен и на единицу меньше порядка следующей матрицы Мерсенна M_{2n+1} . Для рекурсивного перехода от матрицы к матрице одного лишь удвоения порядка недостаточно, необходимо дополнительное окаймление матрицы S_{2n} (добавление строки и столбца).



■ В наши дни Марен Мерсенн известен более всего как исследователь «чисел Мерсенна», играющих важную роль в теории чисел, криптографии и генераторах псевдослучайных чисел. Однако Мерсенн — один из первых, кто оценил скорость звука. Он описал схему зеркального телескопа, позднее реализованную Ньютоном. Основываясь на его исследованиях, французский математик Жозеф Совер объяснил феномен обертонов. Мерсенн также издал перевод на французский язык «Механики» Галилея (1634), редактировал издания Евклида, Архимеда и других античных классиков

Алгоритм построения матриц Адамара — Мерсенна

Алгоритм основан на свойствах собственных чисел и собственных векторов блочных матриц.

Положение 2. Сформируем матрицу M_{2n+1} путем следующего окаймления матрицы S_{2n} вида (2):

$$M_{2n+1} = \begin{pmatrix} -\lambda & \mathbf{e}' \\ \mathbf{e} & S_{2n} \end{pmatrix},$$

где λ , \mathbf{e} — соответственно собственное число и собственный вектор матрицы S_{2n} . Полученная таким образом матрица будет симметричной и ортогональной при старте итераций с начальной матрицы

$$M_3 = \begin{pmatrix} a & -b & a \\ -b & a & a \\ a & a & -b \end{pmatrix}.$$

Собственное значение матрицы удвоенного порядка будет равно $\lambda = -a$. При этом половина компонент собственного вектора состоит из $-b$, остальная половина — из a . Происходит это при следующих значениях образующей пары: $b = a/2$

Уравнения и значения уровней М-матриц

| k | Матрица | Уравнение | Уровни |
|-----|-----------|-----------------------------|------------------------------|
| 1 | M_1 | $b = a$ | $b = a$ |
| 2 | M_3 | $2b + a = 0$ | $b = a/2$ |
| 3 | M_7 | $b^2 - 4ab + 2a^2 = 0$ | $b = (2 \pm \sqrt{2})a$ |
| 4 | M_{15} | $3b^2 - 8ab + 4a^2 = 0$ | $b = 2a/3$ и $b = 2a$ |
| 5 | M_{31} | $7b^2 - 16ab + 8a^2 = 0$ | $b = (8 \pm 2\sqrt{2})a/7$ |
| 6 | M_{63} | $15b^2 - 32ab + 16a^2 = 0$ | $b = 4a/5, b = 4a/3$ |
| 7 | M_{127} | $31b^2 - 64ab + 32a^2 = 0$ | $b = (32 \pm 4\sqrt{2})a/31$ |
| 8 | M_{255} | $63b^2 - 128ab + 64a^2 = 0$ | $b = 8a/9$ и $b = 8a/7$ |

при $n = 3$, в остальных случаях $b = \frac{p \pm \sqrt{4p}}{p-4}a, p =$

$= n + 1$. Справедливость положения следует из условия ортогональности.

Указанные значения элементов матриц являются корнями некоторых алгебраических уравнений, называемых далее характеристическими. Примеры характеристических уравнений для уровней, отвечающих условию ортогональности столбцов матрицы Адамара — Мерсенна, приведены в таблице.

В случае построения из матриц Якобсталя матриц Белевича [5] собственному значению $\lambda = 0$ соответствует собственный вектор \mathbf{e} , состоящий из 1. Строительный блок матрицы Адамара — Мерсенна отличается от них только тем, что $\lambda = -a$, а собственный вектор содержит элементы $-b$ и a . Единственная сложность состоит в том, что с ростом порядка эти параметры не остаются постоянными, но их модули сближаются. Иными словами, значения элементов матриц Адамара — Мерсенна стремятся к $\{1, -1\}$, т. е. в пределе они точно такие же, как и матрицы Адамара.

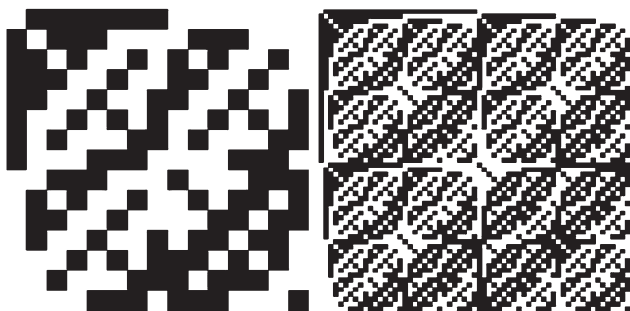
Пример 1. Одна итерация модифицированного алгоритма Сильвестра дает

$$M_3 = \begin{pmatrix} a & -b & a \\ -b & a & a \\ a & a & -b \end{pmatrix};$$

$$S_6 = \begin{pmatrix} a & -b & a & a & -b & a \\ -b & a & a & -b & a & a \\ a & a & -b & a & a & -b \\ a & -b & a & -b & a & -b \\ -b & a & a & a & -b & -b \\ a & a & -b & -b & -b & a \end{pmatrix}.$$

Уровни матрицы Адамара — Мерсенна $M_7: a = 1,$

$b = \frac{p - \sqrt{4p}}{p-4} \cong 0.5858$ при $p = 8$. Среди собствен-



■ Примеры матриц Адамара — Мерсенна M_{15} , M_{63} (белое поле — элемент матрицы со значением $a = 1$, черное поле — элемент со значением $-b$)

ных чисел $\{-1, -2.2426, -2.2426, 2.2426, 2.2426, 2.2426\}$ выберем $\lambda = -1$, отвечающее уровню $a = 1$ этой матрицы. Соответствующий собственный вектор $e = (-b, -b, -b, a, a, a) \cong (-0.5858, -0.5858, -0.5858, 1, 1, 1)$. Добавляя кайму, получаем

$$M_7 = \begin{pmatrix} a & -b & -b & -b & a & a & a \\ -b & a & -b & a & a & -b & a \\ -b & -b & a & a & -b & a & a \\ -b & a & a & -b & a & a & -b \\ a & a & -b & a & -b & a & -b \\ a & -b & a & a & a & -b & -b \\ a & a & a & -b & -b & -b & a \end{pmatrix}.$$

Портреты матриц более высоких порядков представлены на рисунке.

Пример 2. Симметричная матрица Адамара восьмого порядка

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Среди собственных чисел $\{-1, -2.8284, -2.8284, -2.8284, 2.8284, 2.8284, 2.8284\}$ матрицы седьмого порядка, полученной отбрасыванием первой строки и первого столбца, выберем $\lambda = -1$, отвечающее уровню $a = 1$ этой матрицы. Соответствующий собственный вектор имеет вид $e = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$.

Пример 3. Симметричная матрица Белевича [5] шестого порядка имеет вид

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Среди собственных чисел $\{0, -2.2361, -2.2361, 2.2361, 2.2361\}$ матрицы пятого порядка, полученной отбрасыванием первой строки и первого столбца, выберем $\lambda = 0$, отвечающее нулевому диагональному элементу этой матрицы. Соответствующий собственный вектор имеет вид $e = (1, 1, 1, 1, 1)$.

Заключение

В процессе поиска матриц нечетных порядков, близких к матрицам Адамара, удалось выделить класс двухуровневых матриц, названных матрицами Адамара — Мерсенна. Размер этих матриц равен числам Мерсенна $2^k - 1$, а их элементы с ростом значений целочисленного аргумента k стремятся к значениям $\{1, -1\}$, как и у матриц Адамара. В области четных порядков пропуски среди матриц Белевича [5] также восполняются М-матрицами с большим количеством уровней [3]. Практическое применение М-матриц целесообразно в задачах повышения степени помехоустойчивости и защищенности при передаче информации.

Литература

1. Балонин Н. А., Сергеев М. Б. М-матрицы // Информационно-управляющие системы. 2011. № 1. С. 14–21.
2. Балонин Н. А., Мироновский Л. А. Матрицы Адамара нечетного порядка // Информационно-управляющие системы. 2006. № 3. С. 46–50.
3. Балонин Ю. Н., Сергеев М. Б. М-матрица 22-го порядка // Информационно-управляющие системы. 2011. № 5. С. 87–90.
4. Шинтяков Д. В. Алгоритм поиска матриц Адамара нечетного порядка // Сб. докл. Девятой научной сессии ГУАП: Ч. II. Технич. науки / ГУАП. СПб., 2006. С. 207–211.
5. Belevitch V. Theorem of 2n-terminal networks with application to conference telephony // Electr. Commun. 1950. Vol. 26. P. 231–244.

АЛЕКСАНИЯ
Зоя
Араратовна



Кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь Института мозга человека им. Н. П. Бехтерева РАН, г. Санкт-Петербург. В 1958 году окончила 1-й Ленинградский медицинский институт им. акад. И. П. Павлова по специальности «Врач-лечебник». В 1967 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. Является автором 185 научных публикаций. Область научных интересов — нейрофизиология, интегративные функции мозга, обучение, организация двигательных функций в норме и патологии, низкочастотные электромагнитные поля и применение ЭМП в медицине. Эл. адрес: aro@ihb.spb.ru

БАЖИН
Сергей
Александрович



Заместитель генерального директора ЗАО ИК «Неотек-Марин», г. Санкт-Петербург, старший преподаватель кафедры моделирования вычислительных и электронных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1979 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Электронные устройства систем управления». Является автором более 20 научных публикаций. Область научных интересов — интеллектуальные системы управления, моделирование систем управления, системы информационной безопасности. Эл. адрес: sabazhin@yandex.ru

БАЛАЦКАЯ
Лидия
Николаевна



Ведущий научный сотрудник отделения опухолей головы и шеи НИИ онкологии Сибирского отделения РАМН, г. Томск. В 1983 году окончила Томский государственный педагогический университет по специальности «Биология». В 2001 году защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук. Является автором более 210 научных публикаций. Область научных интересов — разработка современных методических подходов к голосовой и речевой реабилитации больных после комбинированного лечения рака гортани, гортаноглотки, органов полости рта и ротоглотки и др. Эл. адрес: balatskaya@oncology.tomsk.ru

БАРДОВ
Владимир
Михайлович



Аспирант кафедры систем управления и информатики Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. В 2011 году окончил магистратуру Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики по специальности «Автоматизация и управление». Является автором трех научных публикаций. Область научных интересов — интеллектуальные транспортные системы, оценка параметров транспортных средств, управление дорожным движением. Эл. адрес: vladimir.bardov@gmail.com

ВАСИЛЬЕВ
Владимир
Николаевич



Профессор, ректор, заведующий кафедрой компьютерных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, член ряда академий, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, награжден рядом правительственных наград. В 1974 году окончил Ленинградский политехнический институт. В 1990 году защитил диссертацию на соискание степени доктора технических наук. Является автором более 150 публикаций и 15 изобретений. Область научных интересов — оптико-информационные системы и технологии, нанотехнологии, компьютерные и телекоммуникационные технологии. Эл. адрес: vasilev@mail.ifmo.ru

ВАСИЛЬЕВСКИЙ
Александр
Сергеевич



Ведущий научный сотрудник ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», г. Санкт-Петербург. В 1968 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина) по специальности «Автоматика и телемеханика». В 1978 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных публикаций. Область научных интересов — интеллектуальные системы управления, системы жесткого реального времени. Эл. адрес: vas727@peterlink.ru

ВОЛКОВ
Владимир
Юрьевич



Профессор, заведующий кафедрой радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

В 1972 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Радиоэлектронные устройства». В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 200 научных публикаций, 28 изобретений и программ для ЭВМ.

Область научных интересов — цифровая обработка сигналов и изображений, прием сигналов в условиях априорной неопределенности, адаптивные, инвариантные и робастные алгоритмы различения и фильтрации и др.

Эл. адрес: vladimi-volkov@yandex.ru

КАШЕВНИК
Алексей
Михайлович



Старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН.

В 2005 году окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

В 2008 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных публикаций.

Область научных интересов — управление онтологиями, управление контекстом, сервис-ориентированная архитектура, профилирование пользователей, интеллектуальные пространства, системы поддержки принятия решений.

Эл. адрес: alexey@iias.spb.su

ЛЕРНЕР
Вадим
Давидович



Начальник отдела информационно-коммуникационного обеспечения ООО «Космос СПб», г. Санкт-Петербург.

В 1997 году окончил Санкт-Петербургскую государственную академию аэрокосмического приборостроения по специальности «Автоматизированные системы управления».

Область научных интересов — многоуровневые системы защиты информации.

Эл. адрес: lernervj@mail.ru

ЖИЛЯЕВ
Алексей
Александрович



Разработчик ООО «НПК «Разумные решения», студент факультета информатики Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева.

Является автором одной научной публикации.

Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами.

Эл. адрес: blackfenix@inbox.com

ЛАПШИН
Кирилл
Владимирович



Начальник научно-исследовательской лаборатории ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», г. Санкт-Петербург.

В 1998 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Приборы и системы ориентации, навигации и стабилизации летательного аппарата».

Является автором девяти научных публикаций.

Область научных интересов — системы управления сложными динамическими объектами.

Эл. адрес: kir_i_k@mail.ru

ЛИВШИЦ
Ирина
Леонидовна



Старший научный сотрудник, заведующая лабораторией специальных оптических и ТВ-систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

В 1974 году окончила Ленинградский институт точной механики и оптики.

В 1980 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Является автором более 120 научных публикаций. Область научных интересов — оптические и оптико-информационные системы.

Эл. адрес: irina@jupiter.spb.ru

ЛИМАНОВА
Наталья
Игоревна



Профессор кафедры прикладной математики и информатики Тольяттинского государственного университета.

В 1986 году окончила радиотехнический факультет Куйбышевского авиационного института им. акад. С. П. Королева по специальности «Конструирование и производство радиоаппаратуры».

В 2007 году защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором 124 научных публикаций и 17 запатентованных изобретений.

Область научных интересов — автоматизация и управление в информационных системах, математическое моделирование в физике и технике.

Эл. адрес:
Nataliya.I.Limanova@gmail.com

МЕЩЕРЯКОВ
Роман
Валерьевич



Доцент кафедры комплексной информационной безопасности систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, лауреат премии правительства РФ 2009 г. в сфере образования.

В 1997 году окончил Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова по специальности «Информационно-измерительная техника и технологии».

В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 150 научных публикаций и двух изобретений.

Область научных интересов — системный анализ, информационная безопасность, медицинское приборостроение.

Эл. адрес: mrv@security.tomsk.ru

ОБЕРТОВ
Дмитрий
Евгеньевич



Аспирант кафедры систем управления и информатики Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.

В 2011 году окончил магистратуру Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики по специальности «Автоматизация и управление».

Является автором одной научной публикации.

Область научных интересов — пьезоэлектрические приводы, интеллектуальные транспортные системы, идентификация классов транспортных средств.

Эл. адрес: dimondking@mail.ru

ОНЕШКО
Александр
Викторович



Аспирант кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

В 2009 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича по специальности «Радиотехника».

Является автором трех научных публикаций.

Область научных интересов — цифровая обработка сигналов и изображений, морская радиопеленгация и радиомониторинг.

Эл. адрес: aleksandr286@mail.ru

РАЗИНКИН
Евгений
Игоревич



Аспирант Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, г. Москва.

В 2009 году окончил Магнитогорский государственный университет, 2011 году — Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» по специальности «Бизнес-информатика».

Является автором восьми научных публикаций.

Область научных интересов — технологии открытых систем, интероперабельность систем.

Эл. адрес: erazinkin@mail.ru

РОМАНОВ
Сергей
Петрович



Доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии рецепции Института физиологии им. И. П. Павлова РАН.

В 1965 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Радиоэлектронные устройства». В 1989 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора биологических наук. Является автором 283 научных публикаций, 20 авторских свидетельств и четырех патентов.

Область научных интересов — нейрофизиология, физиология движений, моделирование нейронов и нейронных структур, модели мышечного сокращения, механизмы реализации двигательной функции, кибернетика, нейроинформатика.

Эл. адрес:
sromanov@SR1070.spb.edu

САДЫКОВА
Елена
Владимировна



Доцент кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ».

В 1993 году окончила Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) по специальности «Электронно-медицинская аппаратура».

В 2000 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 60 научных публикаций.

Область научных интересов — разработка систем поддержки принятия решений медицинских специалистов.

Эл. адрес:
elensadykova@yandex.ru

СЕДОВ
Максим
Николаевич



Инженер-программист I категории мэрии городского округа Тольятти.

В 2004 году окончил Тольяттинский государственный университет по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств».

Является автором двух научных публикаций.

Область научных интересов — системы принятия решений, автоматизация управления в информационных системах.

Эл. адрес: SedovMN@inbox.ru

СЕМЕНОВ
Петр
Константинович



Аспирант кафедры распределенных вычислений и компьютерных сетей Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

В 2009 году окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет по специальности «Автоматизированные системы управления и обработки информации».

Область научных интересов — теория помехоустойчивого кодирования.

Эл. адрес: spk@dcn.ftk.spbstu.ru

СЕРГЕЕВ
Михаил
Борисович



Профессор, заведующий кафедрой вычислительных систем и сетей Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, почетный работник высшего профессионального образования РФ.

В 1980 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина).

В 2001 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 100 научных публикаций, 13 запатентованных изобретений.

Область научных интересов — теория разрядных вычислений, методы проектирования спецпроцессоров для систем контроля и управления, оптико-информационные системы.

Эл. адрес: ius@aanet.ru

СИМОНОВА
Елена
Витальевна



Доцент кафедры информационных систем и технологий Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева, ведущий аналитик ООО «НПК «Разумные решения».

В 1985 году окончила Куйбышевский авиационный институт им. акад. С. П. Королева по специальности «Автоматизированные системы управления».

В 1994 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 85 научных публикаций.

Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами, онтологическое представление знаний.

Эл. адрес:
simonova.elena.v@gmail.com

СКОБЕЛЕВ
Петр
Олегович



Профессор кафедры инженерии знаний Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, ведущий научный сотрудник Института проблем управления сложными системами РАН, г. Самара, президент группы компаний «Генезис знаний».

В 1983 году окончил Куйбышевский авиационный институт им. акад. С. П. Королева.

В 2003 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором 120 научных публикаций и трех запатентованных изобретений.

Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами, понимании текста, извлечении знаний и др.

Эл. адрес:
petr.skobelev@gmail.com

**СОКОЛОВА
Елена
Алексеевна**



Старший научный сотрудник лаборатории автоматизированного проектирования оптико-информационных и энергосберегающих систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. В 1981 году окончила Ленинградский институт точной механики и оптики по специальности «Оптические и оптико-электронные системы». В 2000 году защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором 63 научных публикаций и девяти запатентованных изобретений. Область научных интересов — теория и методы изготовления дифракционных решеток и их применение в спектральных приборах, дифракционная оптика и др. Эл. адрес: elena@scarlet.nl

**СТЕПАНОВ
Максим
Евгеньевич**



Разработчик ООО «НПК «Разумные решения», студент факультета информатики Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева. Является автором четырех научных публикаций. Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами. Эл. адрес: multinodus@gmail.com

**ЦАРЕВ
Александр
Вячеславович**



Генеральный директор ООО «НПК «Разумные решения», аспирант Института проблем управления сложными системами РАН, г. Самара. В 2001 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева по специальности «Физика». Является автором более 30 научных публикаций. Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами, онтологическое представление знаний, искусственный интеллект. Эл. адрес: at@anarun.net

**СОЛЛОГУБ
Анатолий
Владимирович**



Профессор, главный научный сотрудник ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара. Лауреат Ленинской премии, заслуженный деятель науки и техники РФ, действительный член Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, Академии навигации и управления движением. Является автором более 100 научных публикаций и четырех запатентованных изобретений. Область научных интересов — моделирование и автоматизация проектирования ракетно-космической техники. Эл. адрес: SollogubAV@mail.ru

**ТУРНЕЦКИЙ
Леонид
Сергеевич**



Начальник отдела проектирования перспективных радиоэлектронных систем ОАО «НПП «Радар ммс», г. Санкт-Петербург. Заслуженный изобретатель РФ. В 1970 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1984 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 500 научных публикаций, в том числе двух монографий, 110 изобретений и одного научного открытия (МААНОИ). Область научных интересов — комплексные радиоэлектронные информационно-управляющие системы навигационных комплексов летательных аппаратов, статистическая радиотехника и радиолокация. Эл. адрес: tournetsky@radar-mms.com

**ЧЕКАНИН
Александр
Васильевич**



Профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов Московского государственного технологического университета «СТАНКИН». В 1983 году окончил Оренбургский политехнический университет по специальности «Технология машиностроения». В 1999 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности «Строительная механика». Является автором 83 научных и учебно-методических публикаций. Область научных интересов — информационные технологии, комбинаторная оптимизация, эволюционные алгоритмы, системы автоматизации прочностных расчетов. Эл. адрес: avchekanin@rambler.ru

ЧЕКАНИН
Владислав
Александрович



Доцент кафедры сопротивления материалов Московского государственного технологического университета «СТАНКИИ».

В 2010 году окончил Московский государственный технологический университет «СТАНКИИ» по специальности «Автоматизация и управление».

В 2011 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Теоретические основы информатики».

Является автором 31 научной и учебно-методической публикации.

Область научных интересов — информационные технологии, комбинаторная оптимизация, эволюционные алгоритмы.

Эл. адрес:
vladchekanin@rambler.ru

ЧОЙНЗОНОВ
Евгений
Лхамцацренович



Академик РАМН, профессор, директор НИИ онкологии Сибирского отделения РАМН, заведующий отделением опухолей головы и шеи, г. Томск.

В 1976 году окончил Томский ордена Трудового Красного Знамени медицинский институт по специальности «Лечебное дело».

В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора медицинских наук.

Является автором более 560 научных публикаций, в том числе девяти монографий и 21 изобретения.

Область научных интересов — разработка методов ранней диагностики, органосохранного и реконструктивно-пластического хирургического лечения, комбинированной терапии, реабилитации больных со злокачественными новообразованиями области головы и шеи и др.

Эл. адрес: nii@oncology.tomsk.ru

ШИЛОВ
Николай
Германович



Доцент, старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем автоматизации Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН.

В 1998 году окончил Санкт-Петербургский государственный технический университет по специальности «Экономист-менеджер».

В 2005 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Является автором более 150 научных публикаций.

Область научных интересов — конфигурирование сложных систем, сетевые организации, рекомендующие системы, управление онтологиями, управление контекстом, сервис-ориентированная архитектура.

Эл. адрес: nick@iias.spb.su

УДК 681.45

Гибридный микрообъектив для оптико-информационных систем комбинационного рассеяния

Васильев В. Н., Лившиц И. Л., Сергеев М. Б., Соколова Е. А. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 2–6.

Рассматриваются вопросы создания гибридных оптических систем, содержащих комбинацию рефракционных и дифракционных элементов. Сочетание таких элементов является средством повышения информативности оптико-информационных систем комбинационного рассеяния. Это достигается благодаря улучшению коррекции хроматических aberrаций микрообъектива в расширенном спектральном диапазоне. При этом не используются проблемные для комбинационного рассеяния оптические материалы.

Ключевые слова — повышение информативности системы, комбинационное рассеяние, микрообъектив, спектральный диапазон, хроматические aberrации.

Список лит.: 16 назв.

УДК 621.397:621.396.96

Описание и выделение объектов на изображениях с использованием прямолинейных сегментов

Волков В. Ю., Турецкий Л. С., Онешко А. В. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 7–14.

Развит новый метод описания объектов на цифровых изображениях, который применим для сравнения различных изображений одной и той же сцены, получаемых от одного или разных источников. Он может найти применение при обработке самолетных и спутниковых изображений, для описания категорий объектов, для автоматического выделения зданий, мостов и других сооружений на изображениях. Метод включает направленную фильтрацию градиентного изображения и выделение прямолинейных сегментов в каждом направлении с учетом знака градиента. Приводятся примеры описания объектов на реальных изображениях.

Ключевые слова — распознавание образов, геометрические примитивы, детектор кромки, совмещение изображений, группирование признаков, выделение зданий и дорог.

Список лит.: 28 назв.

УДК 004.93 + 62.51 + 625.03

Алгоритм идентификации классов транспортных средств при помощи акселерометров

Обертов Д. Е., Бардов В. М. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 15–18.

Рассматриваются проблемы идентификации классов транспортных средств с помощью акселерометров. Реализуется алгоритм определения классов автомобилей, основанный на измерениях с акселерометров. Последовательность действий алгоритма включает в себя фильтрацию полосовым фильтром, возведение в квадрат, сглаживание скользящим окном и фильтром нижних частот, а также удаление помех путем сравнения с порогом. Приведены результаты обработки данных с помощью алгоритма, демонстрирующие его эффективность.

Ключевые слова — акселерометр, идентификация, классы транспортных средств, интеллектуальные транспортные системы.

Список лит.: 5 назв.

UDC 681.45

Hybrid Microscope Objective for Optical Information Systems of Raman Scattering

Vasilyev V. N., Livshits I. L., Sergeev M. B., Sokolova E. A. IUS, 2012. N 5. P. 2–6.

The issues of creation of hybrid optical systems containing a set of refraction and diffraction elements are considered. Combination of these elements serves for enhancing information ability of Raman scattering information systems by improving chromatic aberration correction in the microscope objective in extended spectral range without using optical materials critical for Raman application.

Keywords — Enhancing Information Ability, Raman Scattering, Microscope Objective, Spectral Range, Chromatic Aberrations.

Refs: 16 titles.

UDC 621.397:621.396.96

Object Description and Extraction Using Straight Line Segments in Digital Images

Volkov V. Yu., Turnetsky L. S., Oneshko A. V. IUS, 2012. N 5. P. 7–14.

A new method for object description in digital images which is applied for comparing different images of the same scene obtained from the same or different sources has been developed. It could be used for processing real aerial and satellite images, description of object categories, automated extraction of buildings, bridges and other structures in images. The method implies directed filtering of the gradient image and extraction of straight line segments in each direction with account of the gradient digit. The examples of object description in real images are given.

Keywords — Object Recognition, Geometric Primitives, Edge-Based Feature Detector, Feature-Based Image Matching, Perceptual Grouping, Building Extraction, Road Extraction.

Refs: 28 titles.

UDC 004.93 + 62.51 + 625.03

Algorithm of Identification of Vehicle Classes Using Accelerometers

Obertov D. E., Bardov V. M. IUS, 2012. N 5. P. 15–18.

The issues of identification of vehicle classes using accelerometers are discussed. An algorithm for vehicle classification based on accelerometer measurements is used. The algorithm consequence includes bandpass filtering, raising to the second power, flattening by the running window and low frequency filter as well as noise elimination by comparison with the threshold. The results of data processing by the algorithms showing performance, advantages and disadvantages are shown.

Keywords — Accelerometers, Identification, Intelligent Transport Systems, Vehicle Classification.

Refs: 5 titles.

УДК 004.896

Стратегия проектирования антропоморфных систем

Бажин С. А., Васильевский А. С., Лапшин К. В. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 19–23.

Рассматриваются основные подходы и методы создания систем интеллектуального проектирования антропоморфных объектов. Показано, что проблема сокращения сроков проектирования сложных технических объектов является актуальной научно-практической задачей, а создание основ интеллектуальной технологии проектирования на базе методов алгоритмизации ранних этапов проектирования наряду с разработкой и включением в технологический контур проектирования гибридных экспертных систем — эффективный путь ее решения.

Ключевые слова — интеллектуальное проектирование, экспертная система, система управления.

Список лит.: 3 назв.

УДК 629.78

Оценка эффективности кластера малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли

Соллогуб А. В., Скобелев П. О., Симонова Е. В., Царев А. В., Степанов М. Е., Жилыев А. А. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 24–28.

Предлагаются модели оценки эффективности при формировании кластера малых космических аппаратов для мониторинга поверхности Земли в целях обеспечения требований по оперативности доставки информации потребителю и надежности решения функциональных задач.

Ключевые слова — эффективность, кластер малых космических аппаратов, оперативность доставки информации, надежность решения функциональных задач.

Список лит.: 9 назв.

УДК 004.94

Эффективные модели представления ортогональных ресурсов при решении задачи упаковки

Чеканин В. А., Чеканин А. В. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 29–32.

Описана NP-полная задача ортогональной упаковки объектов произвольной размерности в общем виде. Предлагается новая модель «виртуальные объекты» представления ортогональных объектов в контейнерах. Разработан унифицированный декодер строки размещения. Приведены результаты вычислительных экспериментов.

Ключевые слова — задача ортогональной упаковки, распределение ресурсов, модель представления объектов, декодер, вычислительный эксперимент.

Список лит.: 5 назв.

UDC 004.896

Design Strategy for Anthropomorphic Systems

Bazhin S. A., Vasilyevsky A. S., Lapshin K. V. IUS, 2012. N 5. P. 19–23.

There have been analyzed main approaches and methods of developing of intellectual systems to create anthropomorphic objects. It is demonstrated that the issue of reducing terms of developing complex technical objects is an urgent scientific and practical problem. The effective way to solve this problem is creation of intellectual developing technology based on methods of algorithmization of early stages development along with design and incorporation of hybrid expert systems into technological contour of design.

Keywords — Intellectual Design, Expert System, Control System.

Refs: 3 titles.

UDC 629.78

Evaluation of Efficiency of a Small Satellites Cluster for the Earth Remote Sensing Based on Indicators of Reliability in Solving Functional Problems

Sollogub A. V., Skobelev P. O., Simonova E. V., Tzarev A. V., Stepanov M. E., Zhilyaev A. A. IUS, 2012. N 5. P. 24–28.

The models to assess efficiency at forming clusters of small satellites to monitor Earth surface based on the requirements for timeliness of information delivery and reliability in solving functional problems are proposed.

Keywords — Efficiency, Small Satellites Cluster, Efficiency of Information Delivery, Reliability in Solving Functional Problems.

Refs: 9 titles.

UDC 004.94

Effective Models of Representation of Orthogonal Recourses in Packing Tasks Solution

Chekanin V. A., Chekanin A. V. IUS, 2012. N 5. P. 29–32.

The NP-completed orthogonal task of packing objects of arbitrary dimension is described in general terms. The new model of representation of orthogonal objects in containers named «virtual objects» is proposed. The unified decoder of a placement string has been developed. The results of performed computational experiments are shown.

Keywords — Orthogonal Packing Task, Recourses Replacement Problem, Model of Representation of Objects, Decoder, Computational Experiment.

Refs: 5 titles.

УДК 621.3

Поиск реквизитов физических лиц в базах данных с использованием технологии Data Mining

Лиманова Н. И., Седов М. Н. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 33–36.

При передаче данных от одного учреждения к другому возникает проблема персональной идентификации физических лиц, у которых частично или полностью не совпадают реквизиты. В работе оптимальный алгоритм идентификации, позволяющий выполнять поиск физических лиц в базе данных на основе нечеткого сравнения, представлен в виде процесса Data Mining. Алгоритм реализован на языке PL-SQL в СУБД Oracle 11g.

Ключевые слова — межведомственный информационный обмен, идентификация, нечеткое сравнение, поиск реквизитов физических лиц, функция интеллектуального сравнения, персональный идентификационный номер.

Список лит.: 5 назв.

УДК 004.056.5

Криптографическое распределение ключей для защиты информации в иерархических системах

Лернер В. Д. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 37–43.

Рассматриваются современные системы многоуровневой защиты информации, приводятся ключевые достоинства систем и обосновываются их недостатки. На основе формируемых требований к таким системам предлагается комбинированный алгоритм для криптографического распределения ключей.

Ключевые слова — защита информации, иерархические системы, криптографическое распределение ключей.

Список лит.: 14 назв.

УДК 519.725.2

Декодирование обобщенных каскадных кодов с внутренними полярными кодами

Семенов П. К. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 44–50.

Приводится алгоритм декодирования для обобщенных каскадных кодов с внутренними полярными кодами. Предлагаемый декодер является списочным и основан на описанных в работе структурах данных — деревьях решений для внутреннего и для всего каскадного кодов. Для этих структур данных в работе рассматривается способ эффективной реализации. Предлагаемый в работе алгоритм декодирования позволяет достичь лучшей корректирующей способности по сравнению с традиционным декодером обобщенных каскадных кодов и декодером по максимуму правдоподобия для полярных кодов.

Ключевые слова — обобщенные каскадные коды, декодирование, полярные коды.

Список лит.: 8 назв.

UDC 621.3

Search of Essential Elements of Individuals in Databases Using the Technology of Data Mining.

Limanova N. I., Sedov M. N. IUS, 2012. N 5. P. 33–36.

When transferring data from one institution to another there is a problem of personal identification of individuals whose essential elements do not match partially or completely. In the framework of an optimal identification algorithm which allows to search individuals in the database based on indistinct matching is presented in the form of Data Mining. The algorithm is implemented in the language PL-SQL in Oracle 11g.

Keywords — Interdepartmental Information Exchange, Identification, Indistinct Matching, Search of Essential Elements of Individuals, Function of Intellectual Matching, Personal Identification Number.

Refs: 5 titles.

UDC 004.056.5

Cryptographic Key Management Scheme for Access Control in Hierarchical Systems

Lerner V. D. IUS, 2012. N 5. P. 37–43.

The modern systems of multi-level access control in hierarchy are considered, key advantages and drawbacks of such systems are given. The combined algorithm for cryptographic key distribution which meets the qualifying requirements to such system is proposed.

Keywords — Access Control, Hierarchical Systems, Cryptographic Key Management.

Refs: 14 titles.

UDC 519.725.2

Decoding of Generalized Cascade Codes with Polar Inner Codes

Semenov P. K. IUS, 2012. N 5. P. 44–50.

The algorithm of decoding for generalized cascade codes with polar inner codes is proposed. The proposed algorithm is a list decoder based on new data structures, decision trees for the inner code and for the whole cascade code. The method of effective implementation of data structures is considered in the paper. The proposed decoding algorithm allows to improve corrective performance in comparison with the classical decoder for generalized cascade codes and with the maximum likelihood decoder for polar codes.

Keywords — Generalized Cascade Codes, Decoding, Polar Inner Codes.

Refs: 8 titles.

УДК 004.91

Специализированная информационная система поддержки деятельности медицинского учреждения
Мещеряков Р. В., Балацкая Л. Н., Чойнзонов Е. Ц. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 51–56.

Описан состав и функциональные возможности специализированной информационной системы поддержки деятельности медицинского учреждения онкологического профиля с учетом процесса голосовой реабилитации. Предлагается совмещение двух функций — сопровождения лиц с заболеваниями гортани и реабилитационного комплекса. Приводится описание разработанного программного обеспечения.

Ключевые слова — информационная система, программа, управление, бизнес-процесс.

Список лит.: 11 назв.

УДК 612:821+612.76+612.82+612.833

Особенность активности нервной системы при управлении движением

Романов С. П., Алексанян З. А. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 57–68.

Неинвазивным методом на человеке изучается особенность формирования нисходящих команд системой управления движениями к мышцам. Методами анализа последовательных временных рядов выявлены диапазоны частот, характеризующие структуру нисходящей активности. Данные интерпретируются в соответствии с представлениями о многоуровневой организации системы управления движениями.

Ключевые слова — управление движениями, изометрическое усилие, анализ временных рядов.

Список лит.: 32 назв.

УДК 004.8

Групповые рекомендуемые системы для конфигурирования гибких сетевых организаций

Шилов Н. Г. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 69–74.

Рассматриваются гибкие сетевые организации, а также новый класс систем «продукт—услуга», основанный на идее сетевой организации. Обсуждены аспекты их конфигурирования. Предложены сервис-ориентированная архитектура и основные компоненты контекстно-зависимой групповой рекомендуемой системы для управления конфигурациями гибких сетевых организаций.

Ключевые слова — гибкая сетевая организация, конфигурирование, групповая рекомендуемая система, сервис-ориентированная архитектура.

Список лит.: 17 назв.

UDC 004.91

The Special Information System Supporting the Medical Institution Activities

Meshcheryakov R. V., Balatskaya L. N., Choinzov E. L. IUS, 2012. N 5. P. 51–56.

The composition and functionality of the special information system supporting activities of the medical institution specialized in oncology with account of voice process rehabilitation are described. It is proposed to combine two functions — support of individuals with diseases of the larynx and rehabilitation complex. The description of the developed software is given.

Keywords — Information System, Software, Management, Business Process.

Refs: 11 titles.

UDC 612:821+612.76+612.82+612.833

Peculiarity of Motor Control by the Nervous System

Romanov S. P., Aleksanyan Z. A. IUS, 2012. N 5. P. 57–68.

The peculiarity of shaping the descending commands by the motor control system to muscles has been studied by noninvasive techniques applied to the human-being. The time-series analysis methods revealed the ranges of frequencies characterizing the structure of descending activity. The data are interpreted according to the notion of the multilevel organization of the motor control system.

Keywords — Motor Control, Isometric Effort, Time-Series Analysis.

Refs: 32 titles.

UDC 004.8

Group Recommending Systems for Configuring Flexible Networked Organizations

Shilov N. G. IUS, 2012. N 5. P. 69–74.

Flexible networked organizations are presented along with a new «product-service» system class based on the idea of networked organization. Their configuration aspects are discussed. Service-oriented architecture and the main components of context-dependent group recommending systems for configuration control over flexible networked organizations are proposed.

Keywords — Flexible Networked Organization, Configuration, Group Recommending System, Service-Oriented Architecture.

Refs: 17 titles.

УДК 004.8

Интеллектуальная система управления логистической сетью при совместном использовании автотранспорта

Кашевник А. М. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 75–81.

Рассматривается применение концепции интеллектуальных пространств для разработки интеллектуальной системы управления логистической сетью при совместном использовании автотранспорта. Система базируется на онтологии интеллектуального пространства, построенной на основе интеграции соответствующих частей онтологий мобильных устройств участников системы. Предложен алгоритм для поиска попутчиков для водителей на основе совпадения путей водителей и начальных и конечных точек путей пассажиров. Ввиду достаточно большой размерности задачи для ее решения предлагается использование эвристики, позволяющих снизить ее размерность, что дает возможность существенно сократить время работы системы.

Ключевые слова — онтология, интеллектуальное пространство, транспортная логистика, карпул.

Список лит.: 16 назв.

УДК 004.06

Концепция обеспечения интероперабельности в области электронной коммерции

Разинкин Е. И. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 82–88.

Рассмотрена проблема интероперабельности и предложен общий подход к ее достижению, основанный на лучших практиках крупных исследовательских проектов. Разработана концепция обеспечения интероперабельности в области электронной коммерции, которая включает в себя общий подход к обеспечению интероперабельности, построение архитектуры и модели интероперабельности, а также определение набора стандартов, необходимых для дальнейшей реализации поставленной задачи на основе технологии XML.

Ключевые слова — интероперабельность, электронная коммерция, XML.

Список лит.: 11 назв.

УДК 616.31

Информационные технологии систем поддержки принятия решений врача

Садькова Е. В. Информационно-управляющие системы, 2012. № 5. С. 89–91.

Представлен пример моделирования процесса прогноза заражения внутрибольничной инфекцией для системы поддержки принятия решений врача. Для построения модели предлагается подход, который позволяет объединить экспериментальные данные о количестве заболеваний внутрибольничной инфекцией с экспертной оценкой о закономерностях, извлекаемых из экспертных данных. Полученные закономерности формализуются при помощи нечеткой логики путем настраивания нечетких правил.

Ключевые слова — системы поддержки принятия решений, информационные технологии, дифференциальный диагноз, модель прогноза заражения внутрибольничной инфекцией.

Список лит.: 3 назв.

UDC 004.8

Intelligent Logistic Network Management System for Carpooling

Kashevnik A. M. IUS, 2012. N 5. P. 75–81.

Use of the concept of smart spaces for developing intelligent logistic network management system for carpooling is considered in the paper. The system is based on smart space ontology developed as integration of different parts of drivers and passengers mobile device ontologies. An algorithm for searching passengers for drivers based on matching drivers routes and start and end points of passengers routes is proposed. Two heuristics are suggested to reduce the algorithm complexity.

Keywords — Ontologies, Smart Spaces, Logistics, Carpool.

Refs: 16 titles.

UDC 004.06

The Concept of Ensuring Interoperability in Electronic Commerce

Razinkin E. I. IUS, 2012. N 5. P. 82–88.

The problem of interoperability is considered and the general approach to achieve it based on the best practices of large research projects is offered. The concept of ensuring interoperability in the field of electronic commerce which includes the general approach to ensuring interoperability, creation of architecture and interoperability model as well as definition of a set of standards necessary for further implementation of the set task on the basis of XML technology is developed.

Keywords — Interoperability, Electronic Commerce, XML.

Refs: 11 titles.

UDC 616.31

Information Technology of Medical Expert Decision Making Support Systems

Sadykova E. V. IUS, 2012. N 5. P. 89–91.

The subject of this article is description of information technology introduction in medical prophylactic institutions staff everyday practice and medical expert decision making support system development. An example of in-hospital infection prognosis process modeling for a medical expert decision making support system is given. In order to create the model a method which provides combining the experimental data concerning the number of in-hospital infection cases and expert estimation of appropriateness taken from expert data is proposed. The appropriateness obtained is formalized by means of illegible logics via illegible rules tuning.

Keywords — Decision Making Support Systems, Information Technology, Differential Diagnosis, In-Hospital Infection Prognosis Model.

Refs: 3 titles.

УДК 519.614

Вычисление матриц Адамара — Мерсенна

Балонин Н. А., Сергеев М. Б., Мироновский Л. А.
Информационно-управляющие системы, 2012. № 5.
С. 92–94.

Приведено определение обобщенных матриц Адамара, порядок которых равен числам Мерсенна. Рассмотрены свойства матриц Адамара — Мерсенна, описан алгоритм их построения, приведены числовые примеры.

Ключевые слова — ортогональные матрицы, матрицы Адамара, матрицы Белевича, числа Мерсенна.
Список лит.: 5 назв.

UDC 519.614

Calculation of Hadamard-Mersenne Matrices

Balonin N. A., Sergeev M. B., Mironovsky L. A. IUS,
2012. N 5. P. 92–94.

The paper defines Hadamard generalized matrices which degree is equal to Mersenne numbers. The properties of Hadamard-Mersenne Matrices have been considered, the algorithm of their construction has been described, numerical parameters have been given.

Keywords — Orthogonal Matrices, Hadamard Matrices, Belevich Matrices, Mersenne Matrices.

Refs: 5 titles.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

При подготовке рукописей статей необходимо руководствоваться следующими рекомендациями.

Статьи должны содержать изложение новых научных результатов. Название статьи должно быть кратким, но информативным. В названии недопустимо использование сокращений, кроме самых общепринятых (РАН, РФ, САПР и т. п.).

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала Word шрифтом Times New Roman размером 13, поля не менее двух сантиметров.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание (при отсутствии — должность), полное название организации, аннотация и ключевые слова на русском и английском языках, электронные адреса авторов, которые по требованию ВАК должны быть опубликованы на страницах журнала. При написании аннотации не используйте аббревиатур и не делайте ссылок на источники в списке литературы.

Статьи авторов, не имеющих ученой степени, рекомендуется публиковать в соавторстве с научным руководителем, наличие подписи научного руководителя на рукописи обязательно; в случае самостоятельной публикации обязательно предоставляйте заверенную по месту работы рекомендацию научного руководителя с указанием его фамилии, имени, отчества, места работы, должности, ученого звания, ученой степени — эта информация будет опубликована в ссылке на первой странице.

Формулы набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), при необходимости можно использовать формульный редактор; для набора одной формулы не используйте два редактора; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте заводские установки редактора, не подгоняйте размер символов в формулах под размер шрифта в тексте статьи, не растягивайте и не сжимайте мышью формулы, вставленные в текст; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = -.

Для набора формул в Word никогда не используйте Конструктор (на верхней панели: «Работа с формулами» — «Конструктор»), т. к. этот ресурс предназначен только для внутреннего использования в Word и не поддерживается программами, предназначенными для изготовления оригинал-макета журнала.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

Иллюстрации в текст не заверстываются и предоставляются отдельными исходными файлами, поддающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы изготавливаются в векторных программах: Visio 4, 5, 2002–2003 (*.vsd); Coreldraw (*.cdr); Excel; Word; AdobeIllustrator; AutoCad (*.dxf); Компас; Matlab (экспорт в формат *.ai);

— фото и растровые — в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

Наличие подписочных подписей обязательно (желательно не повторяющих дословно комментарии к рисункам в тексте статьи).

В редакцию предоставляются:

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, факс, e-mail), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40 × 55 мм;

— экспертное заключение.

Список литературы составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Более подробно правила подготовки текста с образцами изложены на нашем сайте в разделе «Оформление статей».

Контакты

Куда: 190000, Санкт-Петербург,

Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ

Кому: Редакция журнала «Информационно-управляющие системы»

Факс: (812) 494-70-18 (с пометкой «Для РИЦ»)

Тел.: (812) 494-70-02

Эл. почта: 80x@mail.ru

Сайт: www.i-us.ru

18 – 19 АПРЕЛЯ 2013

Турция • Стамбул

Гостиница «Хилтон Стамбул»



12-я РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА-ПРЕЗЕНТАЦИЯ
ПО ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯМ, ИТ-ТЕХНОЛОГИЯМ ДЛЯ СТРАН СНГ,
КАСПИЙСКОГО И ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНОВ,
ТУРЦИИ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ



ITE Moscow LLC
Наталья Ситникова
Тел.: +7 (495) 935 7350#4174
Факс: +7 (495) 935 7351
E-mail: sitnikova@ite-expo.ru



ITE Turkey / EUF
Acelya Bayraktar
Тел.: +90 (212) 291 8310#168
Факс: +90 (212) 240 4381
E-mail: acelyab@ite-turkey.com



ITECA Caspian LLC
Рена Абуталибова
Тел.: +99412 4474774
Факс: +99412 4478558
E-mail: telecoms@iteca.az



GULF FZ LLC

ITE Gulf FZ LLC
Яна Сапунова
Тел.: +971 4 4332974
Факс: +971 4 4471797
www.ite-gulf.com

www.caspiantelecoms.com

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ



**VIII Международная специализированная выставка
Передовые Технологии Автоматизации**

ПТА-Урал 2012



7-9 ноября

**Центр Международной
Торговли Екатеринбург
ул. Куйбышева, д. 44**

При поддержке:



Организатор:

Экспоурал

Екатеринбург:

Тел.: (343) 376-24-76

E-mail: info@ural.pta-expo.ru

Москва:

Тел.: (495) 234-22-10

E-mail: info@pta-expo.ru

ISSN 1684-8853

