

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**



ПОБЕДИТЕЛЬ КОНКУРСА ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ ВУЗОВ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

май–июнь 2010

№ 3(67)



ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

д.т.н., профессор В.О. Никифоров

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н., профессор А.А. Бобцов, д.т.н. А.В. Бухановский,
д.т.н., профессор В.А. Валетов, д.ф.-м.н., ст.н.с. Т.А. Вартанян,
д.т.н. М.А. Ган, д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин, д.т.н., профессор А.В. Демин,
к.т.н., доцент Н.С. Кармановский (заместитель главного редактора),
д.ф.-м.н., профессор Ю.Л. Колесников, д.ф.-м.н., профессор С.А. Козлов,
д.т.н., профессор А.Г. Коробейников, д.т.н., профессор В.В. Курейчик,
д.т.н., доцент Л.С. Лисицына, к.т.н., доцент В.Г. Мельников,
д.т.н., профессор Ю.И. Нечаев, д.т.н., профессор Н.В. Никоноров,
д.т.н., профессор А.А. Ожиганов, д.т.н., профессор П.П. Парамонов,
д.ф.-м.н., ст.н.с. Е.Ю. Перлин, д.т.н., профессор И.Г. Сидоркина,
д.т.н. О.А. Степанов, д.т.н., профессор В.Л. Ткалич,
д.т.н., профессор А.А. Шалыто, д.т.н., профессор Ю.Г. Якушенков

Секретарь – Г.О. Артемова

Редактор – к.т.н., ст.н.с. Н.Ф. Гусарова

Перевод – Н.Г. Лещикова

Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, СПбГУ ИТМО,
комн. 330

Телефон / факс (812) 233 45 51

[http: //books.ifmo.ru/ntv](http://books.ifmo.ru/ntv)

E-mail:karmanov@mail.ifmo.ru

1. ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ	5
Дукельский К.В., Коробейников А.Г., Тер-Нерсисянц Е.В. Методы уменьшения оптических потерь в фотонно-кристаллическом оптическом волокне.....	5
Миронов С.А. Методика расчета характеристик оптического циркулятора для волоконно-оптических линий связи.....	12
Демин А.В., Перл И.А. «Волновой» алгоритм для работы с линейкой ФПЗС.....	19
2. ФОТОНИКА И ОПТОИНФОРМАТИКА	26
Капорский Н., Кныш А.С. Наблюдение генерации второй гармоники при использовании молекулярных кристаллов DAST	26
3. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.	32
Арановский С.В., Бобцов А.А., Никифоров В.О. Синтез наблюдателя для нелинейного объекта в условиях гармонического возмущения, приложенного к выходной переменной.....	32
4. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	39
Беккер М.Я. Решение проблем ограничения доступа к памяти в 64-битных технологиях фирмы Microsoft.....	39
Бессмертный И.А. Быстрый логический вывод в среде программирования VISUAL PROLOG	50
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В АВИАНИКЕ.....	57
Сабо Ю.И., Жаринов И.О. Критерий подобия проектных решений требованиям технического задания в авионике	57
Гатчин Ю.А., Парамонов П.П. Метод определения Парето-оптимальных проектных решений в авионике	63
Шек-Иовсепянец Р.А., Жаринов И.О. Генерация проектных решений бортового оборудования с использованием аппарата генетических алгоритмов	67
Суслов В.Д., Козис Д.В. Моделирование траектории полета в навигационных комплексах летательных аппаратов в горизонтальной плоскости.....	71
Видин Б.В., Ульянова О.В. Особенности движения летательного аппарата в вертикальной плоскости в условиях ограниченной тяги двигателя.....	77
6. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	81
Тозик В.Т., Меженин А.В. Метод геометрического упрощения 3D полигональных объектов.....	81
Боголюбов Д.А., Кармановский Н.С. Автоматизированный расчет тепловых режимов радиоэлектронных конструктивов приемо-измерительных модулей	86
7. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ	92
Разумовский А.В. Модель конкуренции программного обеспечения.....	92
8. ЭКОНОМИКА И ФИНАНСЫ. МЕНЕДЖМЕНТ	96
Маслобоев А.В. Формальные спецификации активных программных компонентов мультиагентной виртуальной бизнес-среды развития инноваций.....	96
Мансуров Р.Е. Понятия интеллектуального потенциала и капитала компании, их составляющие и методика оценки	102
Цуканова О.А., Варзунов А.В. Концептуальные положения управления процессом повышения экономической результативности деятельности рекламно-издательского комплекса мегаполиса	107
9. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ	114
Котляров И.Д. Продуктивность научной работы профессорско-преподавательского состава: способы измерения и материального стимулирования	114
Рукшин С.Е. Классификация типов научных соревнований с автоматической обработкой решений.....	121
КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ	126
Марьин С.В., Ковальчук С.В., Рыбаков Г.М., Бухановский А.В. Динамическое управление распределенными вычислительными ресурсами в составе композитного приложения	126
Ким А.А., Ширишев П.С. Нелинейно-оптические эффекты в калиево-алюмооборатном стекле с наночастицами хлорида меди.....	127
Абдршин А.Н., Асеев В.А., Нуриев Р.К. Влияние нагрева на люминесцентные свойства ионов эрбия в стекле.....	128
Коняхин И.А., Копылова Т.В., Коняхин А.И., Мерсон А.Д. Синтез частных инвариантных преобразований в оптико-электронных системах измерения угла скручивания	129
Богатинский Е.М., Коротаев В.В., Мараев А.А., Тимофеев А.Н. Исследование путей ослабления влияния воздушного тракта в распределенных оптико-электронных системах предупреждения техногенных катастроф	130
SUMMARY	131

1. OPTICAL AND OPTICAL ELECTRONIC SYSTEMS. OPTICAL TECHNOLOGIES	5
K. Dukel'skiy, A. Korobeynikov, E. Ter-Nersesyan	
Reduction methods of optical losses in a photonic-crystal optical fibre	5
S. Mironov	
Calculation method of polarization-independent optical circulator characteristics for fiber-optic transmission systems	12
A. Dyomin, I. Perl	
"Wave" algorithm for processing with CCD line	19
2. PHOTONICS AND OPTICAL INFORMATICS	26
L. Kaporsky, A. Knysh	
Generation monitoring of the second harmonic by use of DAST molecular crystals	26
3. ANALYSIS AND SYNTHESIS OF COMPLEX SYSTEMS	32
S. Aranovskiy, A. Bobtsov, V. Nikiforov	
Observer design of an unknown sinusoidal output disturbance for nonlinear plant	32
4. COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES	39
M. Becker	
Solving memory access limitations with 64-bit Microsoft technology	39
I. Bessmertny	
Fast inference technique in VISUAL PROLOG	50
5. DESIGN AND SIMULATION IN AVIONICS	57
Yu. Sabo, I. Zharinov	
Similarity criterion of design decisions to requirements of the technical project in avionics	57
Y. Gatchin, P. Paramonov	
Definition method of Pareto-optimum design decisions in avionics	63
R. Shek-Iovsepjantz, I. Zharinov	
Design generation of the avionic equipment by genetic algorithms	67
V. Suslov, D. Kozis	
Flight trajectory modeling in navigating complexes of aircrafts in a horizontal plane	71
B. Vidin, O. Uljanova	
Features of the aircraft movement in a vertical plane with the limited draft of the engine	77
6. COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS	81
V. Tozik, A. Mezhenin	
Method of geometric simplification of 3D polygonal objects	81
D. Bogolyubov, N. Karmanovskiy	
Computer-aided thermal analysis of radio-electronic items of transceiver modules	86
7. INFORMATION SECURITY METHODS AND SYSTEMS	92
A. Razumovskiy	
Software competition model	92
8. ECONOMICS AND FINANCES. MANAGEMENT	96
A. Masloboev	
Formal specifications of pro-active software components in the multi-agent virtual business environment of innovations development	96
R. Mansurov	
Concepts of the company intellectual potential and capital, their components and estimation technique	102
O. Tsukanova, A. Varzunov	
The conceptual positions of management for increasing the economic effectiveness of megapolis publicity-publishing enterprises	107
9. NEW TECHNOLOGIES IN EDUCATION	114
I. Kotlyarov	
Faculty scientific output: methods of measurement and compensation	114
S. Rukshin	
Types classification of scientific competitions with automatic verification of solutions	121
BRIEF REPORTS	126
S. Maryin, S. Kovalchuk, G. Rybakov, A. Bukhanovsky	
Distributed computing resources dynamic management within composite application	126
A. Kim, P. Shirshnev	
Nonlinear optical effects in potassium-alumina-boria glass with copper chloride nanoparticles	127
A. Abdrshin, V. Aseev, R. Nuryev	
Heating influence on the luminescence properties of erbium ions in glass	128
I. Konyakhin, T. Kopylova, A. Konyakhin, A. Merson	
Synthesis of the particular invariant transformations for the roll angle optical-electronic measuring systems	129
E. Bogatinsky, V. Korotaev, A. Maraev, A. Timofeev	
Research of ways of optical path influence decrease in distributed optical-electronic systems for prevention of anthropogenic disasters	130
SUMMARY	131

1

ОПТИЧЕСКИЕ И ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ. ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 681.7

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

К.В. Дукельский, А.Г. Коробейников, Е.В. Тер-Нерсисянц

Рассмотрены методы уменьшения световых потерь в микроструктурированных световодах на основе минимизации содержания макро- и микропримесей на внутренних и внешних поверхностях собираемых в пакет капилляров. Представлены результаты исследований влияния химической обработки и продувки на качество заготовок.

Ключевые слова: фотонно-кристаллическое оптическое волокно, микроструктурированное оптическое волокно.

Введение

В настоящее время проблемы освоения оптического диапазона связи в значительной степени решены, и дальнейшее развитие оптических систем передачи информации существенно зависит от уровня и состояния технологии производства оптических и оптико-электронных компонентов таких систем. Одним из наиболее значительных достижений оптических технологий последних лет является создание микроструктурированного (МС) оптического волокна. МС-волокно, в том числе и его разновидность – фотонно-кристаллическое оптическое волокно, обладающее свойствами фотонного кристалла, представляет собой волокно со сплошной или полый сердцевинкой, окруженной периодической структурой из воздушных отверстий, образующих светоотражающую оболочку. Такие оптические волокна обладают рядом уникальных свойств по сравнению с волокнами, изготавливаемыми по традиционной технологии, когда сердцевина и оболочка изготовлены из сплошных оптических сред. Особенно важно, что МС-волокно может изготавливаться с заданными свойствами в широком диапазоне требуемых оптических или иных физических параметров. В частности, МС-волокно обладает такими дисперсионными характеристиками, которые при достаточно низких уровнях затухания позволяют выполнять эффективные нелинейные преобразования сверхкоротких лазерных импульсов, получать высокие значения числовой апертуры и осуществлять как многомодовый, так и одномодовый режим распространения излучения в аномально широкой области спектра. При этом сохраняются многие преимущества обычного оптоволокна – возможность передачи как цифровых, так и аналоговых сигналов, высокая помехозащищенность, высокая механическая прочность, радиационная стойкость и устойчивость к агрессивным средам. В России первые работы, направленные на развитие новых оптических технологий на базе микроструктурированных световодов, были опубликованы в 2000 г. [1–3]. В этих работах были получены и МС-волокна, обеспечивающие эффективное уширение спектра сверхкоротких лазерных импульсов и преобразование таких импульсов в излучение с широким непрерывным спектром (излучение суперконтинуума).

Отметим, что количество производителей МС-волокон в мире невелико. Так, американская фирма «Corning» предлагает только одномодовое МС-волокно с полый сердцевинкой для эксплуатации в диапазоне на длинах волн 1060, 1300 и 1550 нм. В Европе МС-волокно могут производить четыре научных центра: два – в Великобритании (Исследовательский центр оптоэлектроники университета Великобритании в Саутгемптон и кафедра физики Университета в г. Баф); третья группа – кафедра оптики Универ-

ситета Валенсии в Испании, а четвертая – ученые исследовательского центра КОМ (коммуникации, оптика, материалы) технического университета Дании («Crystal Fibre»). В России более всего готовы к производству МС-волокон и производят их в соответствии с имеющимися потребностями физические факультеты МГУ, Саратовского ГУ и лаборатория волоконной оптики ФГУП НИТИОМ (Санкт-Петербург).

Основные технологические задачи, возникающие при изготовлении микроструктурированного оптического волокна

Одной из основных технологических проблем, возникающих в процессе изготовления МС-волокон, является проблема создания такой заготовки (преформы), в процессе вытяжки из которой в финишном волокне можно будет получить низкие оптические потери. Существующие на данный момент в России и мире публикации, описывающие в той или иной мере процесс создания МС-волокон, предлагают два варианта создания заготовок для производства такого волокна: сверление отверстий в нужном порядке в цельной кварцевой заготовке или укладывание микрокапилляров и микроштабиков для создания геометрической структуры (рис. 1). Однако нигде не описывается процесс производства и подготовки (очистки) элементов заготовки (капилляров и штабиков), а также влияние различных методов их подготовки на характеристики получаемого из заготовок волокна. Разработка таких методов для решения задачи повышения качества МС-волокон является актуальной проблемой. Результаты исследования этой задачи представлены в статье.

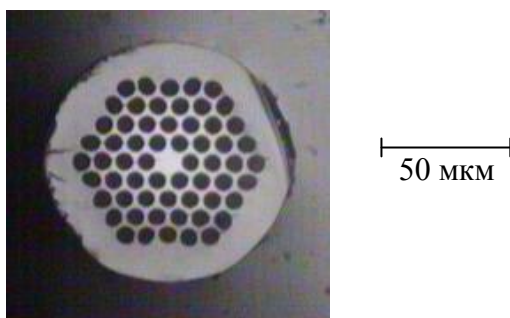


Рис. 1. Микроструктурированное оптическое волокно

Технология получения микроструктурированного кварцевого оптического волокна предполагает решение следующих основных задач:

- создание необходимой геометрической структуры оптоволокна в зависимости от его расчетных оптических характеристик;
- вытягивание световода требуемой длины с сохранением заданной геометрической структуры по всей длине световода;
- минимизация световых потерь при прохождении излучения по световоду.

Решение задачи по минимизации световых потерь начинается уже при выполнении первых двух задач, поэтому в работе рассмотрены вопросы затухания излучения, связанные с качеством сырьевых материалов и чистотой сборок, а также с параметрами процесса вытяжки капилляров.

Существующие образцы МС-волокон отличаются от аналогов, изготовленных из сплошных оптических сред, уникальными дисперсионными свойствами, высокой числовой апертурой и, вследствие отсутствия легирующих элементов, повышенной радиационной стойкостью. Однако по величине параметра затухания излучения МС-волокна уступают существующим оптическим волокнам на основе кварцевого стекла,

полученным по технологии газофазного осаждения. Это обстоятельство несколько ограничивает область применения разрабатываемых типов МС-волокон. Основные факторы, определяющие затухание излучения в волоконных световодах из оптических и кварцевых стекол, были перечислены в [4–5]. В [4] они были разделены на семь групп:

1. поглощение излучения и преобразование его в тепло;
2. релеевское рассеяние излучения, обусловленное материалом волокна;
3. рассеяние излучения вследствие геометрических нерегулярностей по длине световодов;
4. волноводное (модовое) рассеяние из-за дисперсии показателей преломления стекол жилы и оболочки волокон;
5. потери при вводе излучения в волоконные световоды и выводе (приеме) его на выходе волокон;
6. потери, обусловленные нелинейными эффектами в волоконных световодах;
7. затухание излучения в стеклянных волокнах вследствие влияния окружающей среды, условий монтажа и эксплуатации.

При производстве микроструктурированных световодов необходима отработка технологических приемов уменьшения затухания излучения в световоде в основном по группам 1, 2, 3 и 7. На основании анализа способов снижения затухания излучения в МС-волокнах получены данные о влиянии технологических условий, чистоты исходных материалов и специфических для дырчатых волокон процессов вытекания излучения на уровень затухания сигнала в этих световодах. Последовательность операций процесса разработки технологии получения МС-световодов приведена на рис. 2.

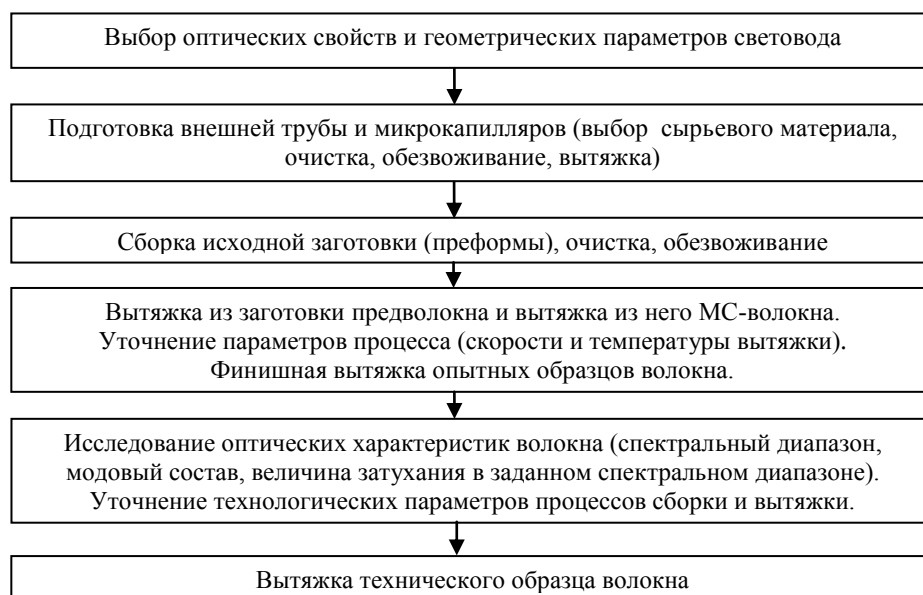


Рис. 2. Последовательность операций процесса разработки технологии получения МС-волокна

Методы очистки и обезвоживание капилляров и преформ

Основы методики изготовления поликапиллярных сборок для получения микроструктурированных световодов различного назначения были заложены в [6–10]. На стадии подготовки первичных заготовок для вытягивания волокна факторами, влияющими на будущее качество полученного световода (т.е. на уровень затухания), являются качество исходных материалов и чистота сборки. Под чистотой сборки понимается то, что по возможности минимизируются содержания макро- и микропримесей на внутренних и внешних поверхностях собираемых в пакет капилляров. Эти параметры

определяют степень поглощения излучения материалом волоконных световодов, которое делится на несколько видов:

- собственное поглощение;
- примесное поглощение, вызываемое ионами гидроксильных групп OH^- и ионами примесных металлов;
- поглощение, обусловленное дефектами структуры стекла;
- поглощение на границе раздела жила–оболочка.

Начальной стадией создания заготовки является изготовление капилляров, качество которых в значительной мере определяет все дальнейшие параметры волокна от заготовки до конечного продукта – МС-световода. При подготовке капилляров для последующей сборки решались одновременно три задачи: выбор кварцевого стекла нужной чистоты, обезвоживание поверхностей капилляров и обеспечение их чистоты. Два последних процесса осуществлялись и в процессе подготовки сборки, и в процессе ее перетяжки (создание предволокна).

На начальных этапах создания МС-волокон, для образования сборки, исходные капилляры для вытягивания световодов получали в лабораториях из опорной кварцевой трубы, изготовленной из природного сырья. Специальные методы очистки капилляров в то время не применялись. Поэтому уровень оптических потерь в первых световодах, служивших нелинейно-оптическими преобразователями излучения фемтосекундных лазеров, составлял в лучшем случае около 0,2 дБ/м в области 800 нм. Такие значения потерь на 2 порядка превышают значения потерь, характерные для кварцевых световодов, полученных методом осаждения диоксида кремния из газовой фазы. Указанные обстоятельства, естественно, сдерживали расширение сферы применения МС-световодов, в частности, в области информационных технологий. Предпринятое нами дальнейшее совершенствование свойств МС-волокон связано с необходимостью снижения потерь излучения до уровня, обеспечивающего практическую целесообразность доставки светового излучения потребителю на расстояния в пределах нескольких десятков метров, обычно характерные для областей использования волоконных световодов, не связанных с передачей информации на дальние расстояния.

На качество получаемого волокна существенно влияет наличие на стенках опорной трубы и капилляров различных примесей, вносимых из внешней среды в процессе сборки заготовки. Была поставлена задача определения влияния степени очистки элементов заготовки на оптические свойства получаемого оптоволокна. Для очистки и обезвоживания поверхностей капилляров и заготовок использовались следующие технологические приемы: (а) химическая очистка (травление); (б) очистка и осушка газами (продувка); (в) высокотемпературная обработка. В качестве базовых служили методы подготовки заготовок для вытяжки обычных оптических волокон.

В процессе работы параллельно устанавливалось влияние различных видов подготовки опорной трубы, капилляров и центрального микроштабика на оптические свойства получаемого оптоволокна. Контрольными образцами служили волокна, вытянутые из сборок, составленных из необработанных капилляров, микроштабиков и опорных труб. Чтобы разделить воздействие волноводных и примесных потерь на результаты измерения оптического затухания в МС-волокне, был применен метод вытягивания капилляра с полным коллапсированием и заключением его в силиконовую оболочку, в результате чего получается так называемый световод «кварц–полимер».

В результате исследований было установлено влияние режима вытяжки исходных структурных элементов – капилляров из особо чистого кварцевого стекла марки КС4В – на оптические потери в световодах типа «кварц–полимер», в которых этот капилляр из стекла КС4В служил световедущей сердцевиной. Зависимость спектров затухания сигнала в 100-метровых отрезках такого оптического волокна от температуры его вы-

тяжки представлена на рис. 3. Измерения проводились методом обрывов, основанном на сравнении мощности оптического излучения, измеренной на длинном отрезке волокна, с мощностью, измеренной на коротком «опорном» отрезке, при этом отрезки должны быть известной длины. Погрешность данного метода составляет около 0,5 дБ/км.

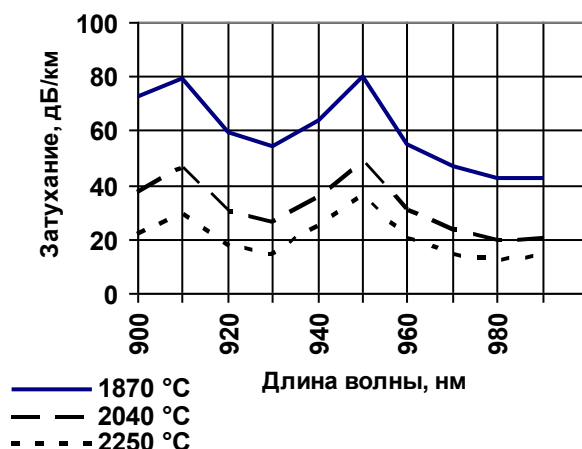


Рис. 3. Зависимость спектров затухания сигнала в волокне от температуры вытяжки

Как видно из рис. 3, увеличение температуры вытяжки сопровождается заметным снижением оптических потерь, что обусловлено, вероятно, воздействием огневой полировки на поверхность капилляра в процессе вытяжки. По-видимому, относительно высокая температура в жаровом пространстве печи способствует выглаживанию поверхности оптического волокна и, как следствие, уменьшению оптических потерь при отражении от границы раздела стекло–полимер.

Исследование влияния химической обработки и продувки элементов сборки для изготовления МС-световодов на качество заготовок проводилось с использованием различных химических реагентов и газов.

Химическая очистка

Образцы изучаемых заготовок исследовались в простом и удобном для изготовления виде. Они состояли из опорной трубы из кварцевого стекла марки КС4В и семи капилляров. Каждая заготовка была разделена на две части, одна из которых являлась контрольной. Контрольная часть каждой такой заготовки вытягивалась при температуре 2080 °C с ее полным коллапсированием в кварц-полимерное волокно диаметром 160 мкм. При измерении потерь этого волокна в разных опытах были получены значения затухания порядка 160–180 дБ/км на длине волны $\lambda = 750$ нм (рис. 4, линия «а»). Вторые части таких заготовок очищались в 40%-ном растворе плавиковой кислоты (HF), в котором они находились 40 мин. После того, как заготовки извлекались из кислоты, они промывались дистиллированной водой, а затем продувались азотом марки ХЧ с целью удаления из сборки оставшейся там влаги. Из такой сборки было вытянуто кварц-полимерное оптическое волокно диаметром 160 мкм при том же температурном и скоростном режиме, что и при вытяжке из неочищенной заготовки. Проведенные измерения потерь давали новое значение затухания – порядка 80–100 дБ/км на длине волны $\lambda = 750$ нм (рис. 4, линия «б»).

Описанный метод очистки на стадии подготовки заготовок позволил впоследствии снизить оптические потери изготавливаемого из этих заготовок оптоволокна примерно в 2 раза.



Рис. 4. Спектр затухания излучения в кварц-полимерном волокне из контрольной части сборки (а) и после дополнительной очистки и продувки азотом (б)

Продувка

Собирались образцы заготовок, состоящие, как и описанные выше, из опорной трубы из кварцевого стекла марки КС4В и семи капилляров. Исходные заготовки разделялись на три части – контрольную и две другие, подвергавшиеся обработке. Контрольная часть заготовок была вытянута при температуре 2080°С с их полным коллапсированием в кварц-полимерное волокно диаметром 160 мкм. При измерении потерь в контрольном волокне обычно получали значения затухания около 160–180 дБ/км на длине волны $\lambda = 750$ нм и около 230 дБ/км на $\lambda = 770$ нм. В дальнейшем вторая часть таких заготовок обрабатывалась описанным выше способом химической очистки. Третья часть сборки подвергалась дополнительной очистке, для чего заготовка, находящаяся в аргоновой печи при температуре около 1000°С, продувалась изнутри кислородом в течение 40 мин. После перетяжки такого рода сборок в волокно при тех же условиях, что и в предыдущем случае, при исследовании такого волокна было получено значение затухания порядка 23 дБ/км на длине волны $\lambda = 770$ нм.

Таким образом, применение указанного дополнительного метода очистки заготовки позволяет, в конечном итоге, примерно на порядок улучшить показатели затухания сигнала в получаемом волокне.

Заключение

Авторами разработана технология, позволяющая создавать заранее заданные типы микроструктурированных и иных волокон с уменьшенным уровнем затухания излучения в световоде. Получены зависимости спектров затухания сигнала в кварц-полимерном волокне от температуры его вытяжки из капилляра, что свидетельствует о значительности влияния огневой полировки на подготовку капилляров для создания МС-световодов. Показано, что применение дополнительного метода очистки заготовки позволяет, в конечном итоге, примерно на порядок улучшить показатели затухания сигнала в получаемом волокне.

Литература

1. Алфимов М.В., Желтиков А.М., Иванов А.А., Белоглазов В.И., Кириллов Б.А., Магницкий С.А., Тарасишин А.В., Федотов А.Б., Мельников Л.А., Скибина Л.Б. // Письма в ЖЭТФ. – 2000. – Т. 71. – С. 714.
2. Федотов А.Б., Желтиков А.М., Мельников Л.А., Тарасевич А.П., фон дер Линде Д. // Письма в ЖЭТФ. – 2000. – Т. 71. – С. 407.
3. Желтиков А.М. «Дырчатые» волноводы // Успехи физических наук. – 2000. – Т. 170. – № 11. – С. 1203–1215.
4. Саттаров Д.К., Сафиуллина С.С., Печерская К.П. Затухание излучения в волоконных световодах // Волоконно-оптические линии связи. – М., 1977. – Вып. 2. Волоконные световоды для волоконно-оптических линий связи. – Часть 4. – Книга 1. – С. 7–53.
5. Коробейников А.Г., Дукельский К.В., Ткалич В.Л. Тепловые потери в оптическом волокне // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – Т. 48. – № 12. – С. 46–50.
6. Дукельский К.В., Кондратьев Ю.Н., Петровский Г.Т., Хохлов А.В., Шевандин В.С., Желтиков А.М., Смирнов В.Б., Шамко А.А. Реализация кристалл-фотонного волоконного световода и генерация в нем широкополосного лазерного излучения // Оптический журнал. – 2003. – Т. 70. – № 8. – С. 101–103.
7. Akimov D.A., Schmitt M., Maksimenka R., Dukel'skii K.V., Kondrat'ev Y.N., Khokhlov A.V., Shevandin V.S., Kiefer W., Zheltikov A.M. Supercontinuum generation in a multiple-submicron-core microstructure fiber: toward limiting waveguide enhancement of nonlinear-optical processes // Appl. Phys. B. – 2003. – V. 77. – P. 299–305.
8. Желтиков А.М., Пин Чжу, Темнов В.В., Кондратьев Ю.Н., Багаев С.Н., Шевандин В.С., Дукельский К.В., Хохлов А.В., Смирнов В.Б., Тарасевич А.П., фон дер Линде Д. Локализация света и спектральное уширение фемтосекундных лазерных импульсов в волокне с минимально структурированной оболочкой // Квантовая электроника. – 2002. – Т. 32. – № 6. – С. 542–544.
9. Федотов А.Б., Пин Чжу, Кондратьев Ю.Н., Багаев С.Н., Шевандин В.С., Дукельский К.В., Хохлов А.В., Смирнов В.Б., Тарасевич А.П., фон дер Линде Д., Желтиков А.М. Пространственная спектральная фильтрация излучения суперконтинуума, генерируемого в микроструктурированных волокнах // Квантовая электроника. – 2002. – Т. 32. – № 6. – С. 828–832.
10. Дукельский К.В., Кондратьев Ю.Н., Хохлов А.В., Шевандин В.С., Желтиков А.М., Коноров С.О., Серебрянников Е.Е., Сидоров-Бирюков Д.А., Федотов А.Б., Семенов С.Л. Микроструктурированные световоды с кварцевой сердцевинкой для получения спектрального суперконтинуума в фемтосекундном диапазоне // Оптический журнал. – 2005. – Т. 72. – № 7. – С. 57–59.

<i>Дукельский Константин Владимирович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, KDukel@GOI.ru
<i>Коробейников Анатолий Григорьевич</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, Korobeynikov_A_G@mail.ru
<i>Тер-Нерсисянц Егише Вавикович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, volokno@goi.ru

УДК 681.7.068

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОГО ЦИРКУЛЯТОРА ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

С.А. Миронов

Рассмотрена схема 3-портового оптического циркулятора микрооптического типа. Проведен расчет вносимых потерь в каналах, величины изоляции, возвратных потерь и уровня перекрестной помехи поляризационно-независимого циркулятора, предназначенного для работы в аппаратуре волоконно-оптических линий связи.

Ключевые слова: ВОЛС, двунаправленная передача, невзаимные устройства, оптические циркуляторы, вносимые потери, изоляция, перекрестная помеха, возвратные потери.

Введение

Интенсивное развитие волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и телекоммуникационных сетей базируется на разработке новых оптических приборов, обеспечивающих расширение функциональных возможностей аппаратуры. В последнее время совершенствование техники оптической связи связано с внедрением нового класса оптических устройств, обладающих невзаимными свойствами, в частности, оптических циркуляторов (ОЦ) [1, 2]. Невзаимность свойств ОЦ обусловлена эффектом невзаимного поворота плоскости поляризации излучения (магнитооптический эффект Фарадея) в магнитоупорядоченных кристаллах, например, в кристаллах ферритов-гранатов.

ОЦ представляет собой пассивное 3- или 4-портовое устройство, которое благодаря своим невзаимным свойствам может распределять поступающее оптическое излучение в различные порты в зависимости от направления распространения излучения. При этом входной порт изолируется от обратно распространяющегося сигнала, который направляется в другой выходной порт. Использование ОЦ, который объединяет в себе функцию как оптического разветвителя, так и изолятора, существенно снижает потери и улучшает эффективность ВОЛС. В настоящее время ОЦ находят применение как замена традиционных разветвителей в одноволоконных дуплексных ВОЛС, в оптических усилителях для повышения эффективности накачки в активном волокне, в оптических рефлектометрах и оптических локаторах для увеличения дальности действия приборов, а также в волоконно-оптических измерительных и диагностических системах (датчиках), работающих в режиме «на отражение» [3, 4].

В оптическом приборостроении для целей ВОЛС существуют два основных технологических направления разработки ОЦ: на основе микрооптических элементов и на основе элементов интегральной оптики. Однако в настоящий момент только ОЦ микрооптического типа, где используются миниатюрные дискретные элементы стандартной объемной оптики (линзы, призмы, кристаллические элементы и т.д.), в которых отсутствует эффект волноводного распространения света, доведены до параметров, необходимых для применения в аппаратуре ВОЛС. ОЦ интегральнооптического типа на основе полосковых оптических волноводов еще не вышли из стадии лабораторных исследований.

В настоящее время предложено несколько схем ОЦ, изготовленных по микрооптической технологии (см., например, [5, 6]), где магнитооптический элемент – фарадеевский ротатор – используется для невзаимного поворота поляризации, а различные поляризационные призмы – для изменения хода лучей внутри прибора. Однако следует отметить, что такая стандартная схема ОЦ является поляризационно-зависимой, т.е. потери устройства зависят от поляризации входного излучения, и работа прибора возможна только с линейно поляризованным светом. При включении такого ОЦ непосред-

ственно в волоконный тракт, где состояние поляризации излучения может изменяться из-за внешних воздействий на волокно, потери устройства также будут изменяться, что приводит к флуктуациям передаваемого сигнала и появлению ошибок.

Для исключения таких искажений необходимо, чтобы характеристики передачи ОЦ не зависели от поляризации излучения, поступающего на его порты. Некоторые схемы поляризационно-независимых ОЦ описаны в сообщениях [7, 8], однако расчет их характеристик не приводится. В настоящей работе рассмотрена одна из простых схем поляризационно-независимого ОЦ, основанного на принципе смещения пучков в двулучепреломляющих элементах, который применяется в современных ВОЛС [9]. Представлена методика расчета основных технических характеристик, выполнены численные оценки достижимых параметров ОЦ.

Структура и принцип работы ОЦ

Структура рассматриваемого 3-портового ОЦ (Y-типа) и ход лучей с различной поляризацией показаны на рис. 1, а, б. Буквами А–Г обозначены поперечные сечения в рассматриваемых позициях между элементами; 1–3 – волоконные коллиматоры; 4 – поворотная призма со щелью; 5–9 – двулучепреломляющие элементы; 6 – 45°-ый фарадеевский ротатор.

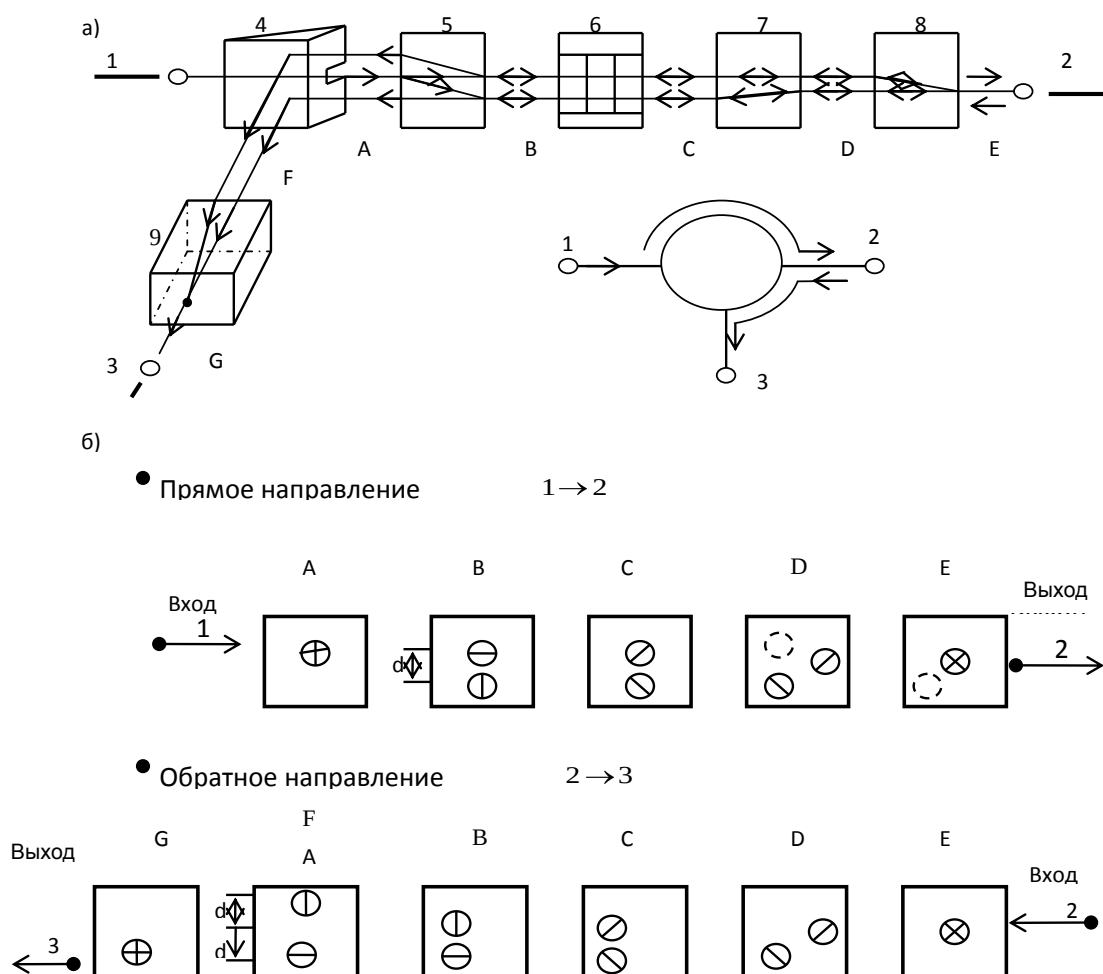


Рис. 1. Структура 3-портового поляризационно-независимого ОЦ на смещении пучков (а) и положение поляризационных компонент в различных сечениях на выходе из элементов ОЦ (б) для прямого и обратного направлений распространения

Принцип работы ОЦ заключается в следующем. Прямой канал 1–2 фактически является одноступенчатым изолятором, работающим в прямом направлении. Поступающее в ОЦ через порт 1 оптическое излучение с произвольной поляризацией коллимируется линзой 1 и попадает через щель в призме 4 на первый двулучепреломляющий элемент (ДЛПЭ) 5 из анизотропного одноосного кристалла, например, рутила (позиция А). При прохождении через этот ДЛПЭ входной пучок разделяется на два луча с ортогональной поляризацией – обыкновенный (о-луч) и необыкновенный (е-луч), при этом е-луч отклоняется от первоначального направления и на выходе ДЛПЭ оказывается смещенным относительно о-луча на расстояние d , которое зависит от длины ДЛПЭ (позиция В). Далее эти лучи проходят через фарадеевский ротатор (ФР) поляризации 6, выполненный из кристалла с высокой магнитооптической добротностью, например, из кристалла иттрий-железного граната (ИЖГ). Здесь плоскости поляризации обоих лучей поворачиваются на 45° (позиция С). Затем лучи проходят через второй 7 и третий 8 ДЛПЭ, где также происходит отклонение лучей (позиции D, E). Поскольку длина и ориентация второго и третьего ДЛПЭ относительно первого выбраны соответствующим образом ($l_2 = l_3 = l_1/\sqrt{2}$), то два ортогонально поляризованных луча объединяются в один луч (позиция С), который выходит из ОЦ через порт 2. Таким образом, оптический сигнал с произвольной поляризацией передается из порта 1 в порт 2 с малыми потерями, а порт 3 оказывается полностью изолированным от порта 1.

При работе в обратном направлении, когда входной сигнал поступает в ОЦ через порт 2, он проходит те же функциональные элементы, но в обратном направлении. Однако в результате невзаимного поворота плоскости поляризации в ФР 6 два луча, распространяющиеся в обратном направлении, будут поляризованы ортогонально по сравнению с прямым направлением (позиция В). Поэтому после прохождения через первый ДЛПЭ 5 эти лучи не сходятся в один луч, а расходятся на удвоенное расстояние $2d$ (позиция А) и не попадают в порт 1 через щель в призме 4. Следовательно, в этом случае имеет место изоляция порта 1 от порта 2, как в обычном оптическом изоляторе. Пучки, симметрично смещенные относительно щели, отклоняются призмой 4 под углом 90° и направляются в отраженный канал – порт 3 (позиция F), где установлен ДЛПЭ 9. Длина элемента $l_4 = 2l_1$ и его ориентация выбраны так, чтобы поступающие о-и е-лучи объединились в один луч, который выходит из ОЦ через порт 3 (позиция G). Таким образом, при использовании двух соседних портов ОЦ функционирует как поляризационно-независимый оптический изолятор, а при использовании всех трех портов может осуществляться двунаправленная передача с разделением прямого и обратного сигналов. Оптическое излучение, которое поступает через порт 1, выходит через порт 2, однако излучение, поступающее через порт 2, направляется в порт 3, а не в порт 2.

Расчет оптической системы и выбор элементов

Для эффективной работы ОЦ необходимо, чтобы передача оптического излучения между портами осуществлялась посредством коллимированных пучков. Формирование таких пучков осуществляется оптической системой (рис. 1), состоящей из коллиматоров на основе сферических микролинз и состыкованных с ними оптических волокон. Для уменьшения потерь передачи между портами необходимо, чтобы оптическая система обеспечила продольное согласование пучков, т.е. чтобы сформированные линзами гауссовы пучки имели одинаковые размеры и положения перетяжек для прямого и обратного направления распространения. При этом положение перетяжек на оси распространения пучков должно быть смещено относительно фокусов линз на расстояние, обеспечивающее размещение элементов ОЦ (ДЛПЭ и ФР) в пространстве между линзами (квази-конфокальная система).

Смещение области перетяжки осуществляется за счет перемещения торца волокна на расчетное расстояние относительно фокуса линзы. Если ввести следующие обозначения: $\sum l_3$ – сумма длин всех элементов, $\sum l_3$ – сумма воздушных зазоров между элементами, $\sum \delta_3 = \sum (n_3 - 1) / n_3$ – суммарное удлинение хода лучей при прохождении через элементы (n_3 – показатель преломления), S_F – фокальный отрезок линзы, то длина рабочей области для размещения элементов может быть записана как $L = \sum l_3 + \sum l_3 - \sum \delta_3 - 2S_F$. В соответствии с законом преобразования гауссова пучка линзой положение сформированной перетяжки z'_0 может быть рассчитано по формуле [10]:

$$z'_0 = \frac{L}{2} = \frac{f^2 z_0}{z_k^2 + z_0^2}, \quad (1)$$

где f – фокусное расстояние линзы, $z_k = \frac{\pi \omega_0^2}{\lambda}$ – конфокальный параметр, ω_0 – радиус пучка в перетяжке, z_0 – положение перетяжки исходного пучка до линзы. Из (1) можно определить искомую величину расфокусировки оптической системы, т.е. смещение торца волокна относительно фокуса линзы на входе коллиматора:

$$z_0 = \frac{f^2 \pm \sqrt{f^4 - 4z_k'^2}}{2z_k'}, \quad (2)$$

при этом на практике используется обычно меньшее значение z_0 . Расчеты по (2) показывают, в частности, что необходимое для установки элементов в канале передачи 1–2 положение перетяжки $z'_0 = 5,3$ мм достигается при величине расфокусировки $z_0 = 14$ мм, когда используются коллиматоры на основе сферических микролинз диаметром 1,5 мм из стекла К8 ($f = 1125$ мкм) и стандартного одномодового волокна типа SMF-28 ($z_k = 56$ мкм).

Как отмечалось ранее, в поляризационно-независимых ОЦ для разведения и сведения пучков с различной поляризацией используются ДЛПЭ на основе одноосных оптических кристаллов, обладающих большим двулучепреломлением. В таких ДЛПЭ длиной l , когда направление распространения излучения составляет примерно 45° к оптической оси кристалла, o - и e -лучи получают пространственное разведение на величину $d \approx 0,1l$, необходимую для изоляции портов. В рассматриваемой структуре ОЦ (рис. 1) используются ДЛПЭ из кристаллов рутила (TiO_2 , $n_0 = 2,47$, $n_e = 2,71$, $\Delta n = 0,24$) различной длины ($l = 3,5$ мм, 5 мм и 10 мм). Возможно также применение для этой цели традиционного кристалла кальцита (CaCO_3 , $n_0 = 1,64$, $n_e = 1,48$, $\Delta n = 0,16$) или нового материала – кристалла ванадата иттрия (YVO_4 , $n_0 = 1,94$, $n_e = 2,14$, $\Delta n = 0,20$) с оптическими характеристиками, аналогичными рутилу, но более технологичного при обработке.

Для ФР, предназначенных для работы в диапазонах длин волн 1,3 мкм и 1,55 мкм, используется, как правило, кристалл иттрий-железного граната ($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$). При этом длина ФР, необходимая для 45° -го вращения на этих длинах волн, составляет около 2,2 мм и 2,6 мм соответственно. Перспективным материалом для ФР являются монокристаллические пленки ферритов-гранатов, содержащих ионы Bi, например, $(\text{GdBi})_3(\text{FeAlGa})_5\text{O}_{12}$ или $(\text{BiCaV})_3(\text{InFe})_5\text{O}_{12}$. Большая величина константы фарадеевского вращения позволяет уменьшить необходимую длину ФР до 0,3–0,5 мм, кроме того, снижаются требования к величине магнитного поля. Однако необходима дальнейшая отработка технологии эпитаксиального выращивания таких толстых монокристаллических пленок с целью снижения оптического поглощения и рассеяния на дефектах.

Расчет характеристик ОЦ

Вносимые потери. Вносимые потери в прямом канале 1–2 рассчитываются по формуле

$$A_{12} = -10 \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ [дБ]}, \quad (3)$$

где P_2 – мощность, измеренная на выходе порта 2, P_1 – мощность, поступающая на входной порт 1. Величина A_{12} определяется суммарным значением потерь различных элементов в структуре ОЦ:

$$A_{12} = A_{\text{ос}} + A_{\text{ДЛПЭ}} + A_{\text{ФР}} + A_{\text{тех}}. \quad (4)$$

Здесь $A_{\text{ос}}$ – потери в оптической системе, которые обусловлены аберрациями линз коллиматоров, френелевскими отражениями на торцах ОБ и поверхностях линз, а также погрешностью юстировки коллиматоров:

$$A_{\text{ос}} = A_{\text{аб}} + A_{\text{отр}} + A_{\text{юст}}. \quad (5)$$

Согласно проведенным оценкам, для используемых на практике коллиматоров на основе сферических микролинз диаметром 1,5 мм из стекла К8 и одномодовых оптических волокон $A_{\text{аб}} \approx 0,15\text{--}0,2$ дБ, $A_{\text{отр}} \approx 0,1\text{--}0,15$ дБ, $A_{\text{юст}} = 0,1\text{--}0,15$ дБ, что дает окончательную величину потерь $A_{\text{ос}} \approx 0,4\text{--}0,5$ дБ. Потери в двулучепреломляющих элементах $A_{\text{ДЛПЭ}}$ возникают в результате поглощения и рассеяния излучения внутри элемента $A_{\text{пр}}$ и френелевских отражений от его рабочих поверхностей $A_{\text{отр}}$:

$$A_{\text{ДЛПЭ}} = A_{\text{отр}} + A_{\text{пр}}. \quad (6)$$

Для ДЛПЭ, изготовленных из высококачественных кристаллов рутила, $A_{\text{пр}} \approx 0$, поэтому $A_{\text{ДЛПЭ}} \approx A_{\text{отр}} = 0,05\text{--}0,08$ дБ. Таким образом, суммарные потери для трех ДЛПЭ, находящихся в прямом канале 1–2, составляют $A_{\text{ДЛПЭ}} \approx A_{\text{отр}} = 0,15\text{--}0,25$ дБ.

Потери в фарадеевском ротаторе рассчитываются аналогичным образом:

$$A_{\text{ФР}} = A_{\text{отр}} + A_{\text{пр}} + A(\Delta\varphi_F). \quad (7)$$

Здесь $A(\Delta\varphi_F)$ – дополнительные потери, вызванные отличием угла фарадеевского вращения от 45° , которые рассчитываются по формуле [11]

$$A(\Delta\varphi_F) = -10 \lg [\cos^2(\Delta\varphi_F)] \text{ [дБ]}. \quad (8)$$

Но следует отметить, что даже при значительном отклонении $\Delta\varphi_F = 1^\circ$, что легко регистрируется, величина $A(\Delta\varphi_F) < 0,005$ дБ, т.е. может не учитываться. Для ротаторов на основе кристалла ИЖГ имеем $A_{\text{ФР}} \approx 0,1\text{--}0,2$ дБ. Оптические потери $A_{\text{тех}}$, связанные с технологическими допусками на изготовление и установку элементов при производстве ОЦ, могут находиться на уровне $A_{\text{тех}} \approx 0,1\text{--}0,2$ дБ. Таким образом, расчетное значение вносимых потерь в прямом канале ОЦ (1–2) может составлять $A_{12} = 0,8\text{--}1,1$ дБ в зависимости от уровня развития технологической базы.

Потери в отражательном канале (2–3) практически лежат в том же интервале, поскольку поворотная призма 4 и дополнительный ДЛПЭ 9 обладают малыми потерями ($\leq 0,1$ дБ): $A_{23} = 0,9\text{--}1,2$ дБ.

Следует подчеркнуть, что для рассматриваемой схемы идеального ОЦ, когда имеет место полное сведение поляризационных пучков на выходе (см. рис. 1, б), вносимые потери в каналах A_{12} и A_{23} не зависят от поляризации распространяющегося излучения, т.е. такой ОЦ является поляризационно-независимым устройством. Однако реальный ОЦ обладает некоторой поляризационной чувствительностью ($0,1\text{--}0,2$ дБ), что обусловлено различием коэффициентов передачи о- и е- лучей (дихроизмом) при прохождении через элементы ОЦ и погрешностями изготовления и сборки.

Изоляция. Величина изоляции I порта 1 от порта 2 характеризует потери передачи оптической мощности при обратном направлении распространения излучения, т.е. из порта 2 в порт 1, и определяется следующей формулой:

$$I = A_{21} = -10 \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ [дБ]}, \quad (9)$$

где P_1 – оптическая мощность, измеренная на входном порте 1, когда мощность P_2 поступает на выходной порт 2. Как следует из принципа работы ОЦ (рис. 1), когда поперечное смещение пучков превосходит ширину щели в поворотной призме, отсутствует непосредственное прохождение излучения из порта 2 в порт 1, т.е. теоретически реализуется идеальная изоляция. Но на практике величина изоляции A_{21} определяется несколькими побочными причинами, вызывающими появление паразитных поляризационных компонент, которые распространяются без смещения по оси ОЦ и попадают во входной порт 1. Помимо отклонения угла фарадеевского вращения от 45° , наиболее существенное уменьшение изоляции происходит из-за вторичных переотражений в ФР, которые возникают вследствие несовершенства просветляющих покрытий на его рабочих поверхностях. Уровень изоляции при этом можно оценить как [12]

$$A_{21}^{\text{вт}} = 2A_{\text{отр}} - 10 \lg \exp \left[- \left(2t \frac{\sin \gamma}{n\omega'} \right)^2 \right] \text{ [дБ]}, \quad (10)$$

где $A_{\text{отр}}$ – потери отражения просветляющих покрытий, t – длина ФР, обеспечивающая угол вращения $\varphi_F = 45^\circ$, n – показатель преломления материала ФР, ω' – радиус распространяющегося пучка. Оценка согласно (10) показывает, что для типичных параметров ФР – $2A_{\text{отр}} = 40\text{--}50$ дБ (коэффициент отражения покрытий $R \approx 0,3\text{--}1\%$), $t = 2,6$ мм, $n = 2,2$ (кристалл ИЖГ, длина волны $1,55$ мкм), $\omega' = 105$ мкм, угол наклона $\gamma = 1^\circ$ – происходит ограничение изоляции на уровне $A_{21} \approx 40\text{--}50$ дБ. Другая причина снижения изоляции – рассеянное излучение в ДЛПЭ и ФР, возникающее вследствие наличия различных дефектов и неоднородностей в кристаллах. Экспериментально установлено, что обычный уровень такого рассеянного неполяризованного излучения в стандартных кристаллах рутила и ИЖГ составляет $A_{\text{тех}} = 40\text{--}45$ дБ. Поэтому величина изоляции реального ОЦ определяется наименьшим значением потерь, обусловленным одной из перечисленных выше причин, и составляет для рассматриваемого ОЦ $A_{21} = 40\text{--}45$ дБ.

Перекрестная помеха. Уровень перекрестной помехи на ближнем конце ОЦ может быть определен по формуле

$$A_{13} = 10 \lg \frac{P_3}{P_1} \text{ [дБ]}, \quad (11)$$

где P_3 – мощность, измеренная на выходном порте 3, когда мощность P_1 поступает на входной порт 1. Как видно из рис. 1, в рассматриваемой структуре ОЦ отсутствует непосредственная связь между портами 1 и 3. Поэтому величина перекрестной помехи определяется только френелевскими отражениями от торцов первого ДЛПЭ и ФР, а также рассеянием на дефектах в этих элементах:

$$A_{13} = A_{\text{отр}} (\text{ДЛПЭ, ФР}) + A_{\text{рас}} (\text{ДЛПЭ, ФР}). \quad (12)$$

При использовании в структуре ОЦ ДЛПЭ и ФР из высококачественных кристаллов рутила и ИЖГ, а также просветляющих покрытий с коэффициентом отражения $R \approx 1\%$ на наклоненных на $\approx 1^\circ$ рабочих поверхностях элементов величина перекрестной помехи у современных ОЦ может быть снижена до уровня $A_{13} = -50 \text{--} -60$ дБ.

Обратные отражения. Обратные отражения (так называемые возвратные потери), т.е. потери, возникающие в результате обратных отражений от входных портов ОЦ, могут быть рассчитаны по формуле

$$A_{ii} = -10 \lg \frac{P'_i}{P_i} \quad (i = 1, 2, 3) \text{ [дБ]}, \quad (13)$$

где P_i – мощность, вводимая в порт i , P'_i – мощность, возвращенная из того же порта. Источниками отражений являются свободный торец ОВ, поверхности линзы коллиматора, а также поверхности ДЛПЭ и ФР. Величины A_{ii} определяются коэффициентом отражения от торцов оптических волокон и рабочих поверхностей элементов. Для снижения уровня отражений рабочие поверхности элементов должны иметь просветляющие покрытия и быть наклонены к оси распространения излучения. Расчет возвратных потерь от различных компонентов ОЦ может быть проведен по методике, предложенной ранее для микрооптического изолятора [13]. Результаты экспериментальных проверок показывают, что наклон торцов волокон на $\approx 7^\circ$ и граней элементов на $\approx 1^\circ$ при использовании просветляющих покрытий с $R = 0,5\text{--}1\%$ приводит к возрастанию возвратных потерь, т.е. уменьшению величины обратно отраженных сигналов до уровня $A_{ii} = 55\text{--}60$ дБ.

Заключение

Рассмотрена схема 3-портового (Y-типа) поляризационно-независимого ОЦ, предназначенного для работы в ВОЛС в диапазонах длин волн 1,3 и 1,55 мкм с одномодовым волоконным трактом. Представлена методика расчета основных технических характеристик. Проведенные теоретические оценки показывают, что при современном уровне технологии элементов практически достижимые параметры ОЦ составляют: вносимые потери в каналах менее 1,2 дБ, изоляция более 40 дБ, уровень перекрестной помехи на ближнем конце менее –50 дБ, обратные отражения от входных портов более 55 дБ. Указанные значения рабочих параметров обеспечивают возможность широкого применения микрооптических ОЦ в аппаратуре ВОЛС различного типа и волоконно-оптических датчиках. Представленная методика может быть использована также для расчета характеристик ОЦ других типов, в том числе 4-портовых ОЦ (X типа) [8, 14, 15].

Литература

1. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
2. Mizumoto T., Isolator and Circulator // *Encyclopedic Handbook of Integrated Optics* / ed. Iga K., Kokubun Y., CRC Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2006. – P. 104–120.
3. Заркевич Е.А., Устинов С.А., Скляр О.К. Новые фотонные технологии для развития широкополосных коммуникационных сетей // *Электросвязь*. – 2002. – № 7. – С. 25–28.
4. Mizumoto T., Polarization-Independent Optical Circulator // *Optical Devices and Fibers* / ed. Suematsu Y., Tokyo: Ohmsha. V. 3. 1982. – P.211–218.
5. Dillon J.F., Jr. Origin and uses of the Faraday rotation in magnetic crystals // *Journal of Applied Physics*. – 1968. – V. 39. – № 2. – P. 922–929.
6. Ribbens W.B. An optical circulator // *Applied Optics*. – 1965. – V. 4. – № 8. – P. 1037–1038.
7. Shirasaki M., Kuwahara H., Obakata T. Compact polarization-independent optical circulator // *Applied Optics*. – 1981. – V. 20. – № 15. – P. 2683–2687.
8. Fujii Y. High-isolation polarization-independent optical circulator coupled with single-mode fibers // *Journal of lightwave technology*. – 1991. – V. 9. – № 4. – P. 456–460.
9. Рудов Ю.К., Зингеренко Ю.А., Оробинский С.П., Миронов С.А. Применение оптических циркуляторов в волоконно-оптических системах передачи // *Электросвязь*. – 1999. – № 6. – С. 36–38.
10. Хаус Х. Поля и волны в оптоэлектронике. – М.: Мир, 1988.
11. Chang K.W., Sorin W.V. Polarization-independent isolator using spatial walkoff polarizers // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 1989. – V. 1. – № 1. – P. 68–70.

12. Fischer G. The Faraday optical isolator // Journal of Optical Communications. – 1987. – V. 8. – № 1. – P. 18–21.
13. Миронов С.А. Расчет характеристик поляризационно-независимого оптического изолятора для волоконно-оптических линий связи // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2009. – № 5 (63). – С. 21–29.
14. Yokohama I., Okamoto K., Noda J., Polarization-independent optical circulator consisting of two fiber-optic polarizing beam splitters and two YIG spherical lenses // Electronics Letters. – 1986. – V. 22. – № 4. – P. 370–371.
15. Koga M., Matsumoto T., High-isolation polarization-insensitive optical circulator for advanced optical communication systems // Journal of lightwave technology. – 1992. – V.10. – № 9. – P. 1210–1216.

Миронов Сергей Алек-сандрович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доцент, кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, s.a.mironov@inbox.ru

УДК 629.785

«ВОЛНОВОЙ» АЛГОРИТМ ДЛЯ РАБОТЫ С ЛИНЕЙКОЙ ФПЗС

А.В. Демин, И.А. Перл

Предложен алгоритм повышения эффективности процесса дистанционного зондирования земли из космоса для систем, основанных на линейке фотоприборов с зарядовой связью (ФПЗС). Приводится вариант аппаратной реорганизации линейки ФПЗС, позволяющий использовать предлагаемый алгоритм.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), прибор с зарядовой связью (ПЗС), алгоритм.

Введение

Основное отличие фотоприборов с зарядовой связью (ФПЗС) линейного типа от ФПЗС матричного типа заключается в том, что необходимое для съемки время экспозиции у них принципиально разное при одной и той же чувствительности пикселя. Это связано с тем, что матрица собирает энергию всей поверхностью параллельно, а линейка должна быть прочитана последовательно несколько раз, при этом число прочтений должно быть равно количеству строк в матрице [1]. В отличие от матрицы, для линейки является очень важным точное определение значения каждого пикселя, так как нет возможности его вычислить на базе аппроксимации значений соседних пикселей, как это может быть сделано при использовании матрицы.

С целью обеспечения необходимого режима экспозиции для ФПЗС линейного типа в системах дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) применяют операцию тангажного замедления, т.е. увеличение времени визирования снимаемого участка, которое может достигнуть 10-кратного замедления по отношению к скорости движения по орбите снимающего космического аппарата (КА). Так, например, для орбиты высотой около 500 км скорость смещения изображения составляет порядка 30 мм/с, а тангажирование сводит ее к скорости около 3 мм/с. Так как за время экспозиции линейка должна быть прочитана несколько раз, то она должна быть сфокусирована на одном и том же участке с минимальным смещением, чтобы наборы данных, получаемых с линейки, отличались минимально и могли рассматриваться как образы одного и того же участка. Суть алгоритма тангажного замедления заключается в наклоне космического аппарата по мере его движения таким образом, чтобы система приема данных оставалась нацелена на одну точку.

Введение операции тангажирования для линейки ФПЗС приводит к тому, что при смене точек визирования между ними возникает «слепая» область (рис. 1). Это связано с тем, что тангажное замедление осуществляется на углах, симметричных относительно надира, т.е. вначале съемка ведется по направлению движения, далее, как только космический аппарат окажется над объектом съемки, съемка будет производиться в надир, после чего угол тангажа продолжит свое изменение до значения, равного углу наклона при съемке вперед в начале цикла [2]. Для того чтобы начать новый цикл съемки, космический аппарат надо снова переориентировать так, чтобы он мог начать съемку объекта, не прошедшего надир. Если пренебречь тем расстоянием, которое пролетает спутник в процессе переориентации, то получается, что из процесса съемки исключается полоса, находящаяся между только что отснятым участком и следующим участком, который планируется снять [3, 4].

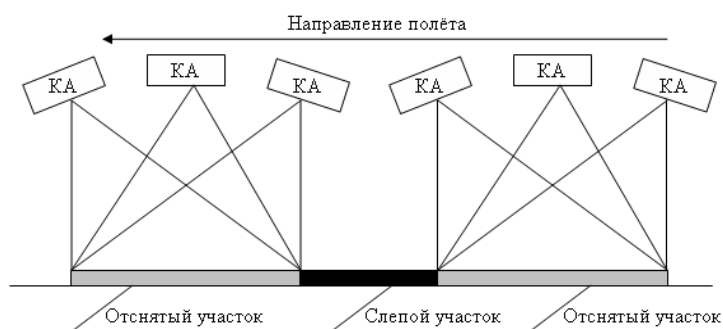


Рис. 1. Схема съемки с использованием алгоритма тангажирования

К сожалению, технически практически невозможно полностью исключить тангажное замедление из процесса съемки, построенного на линейке ФПЗС. В данной статье приводится описание метода, который позволяет заметно сократить время экспонирования линейки, что, в свою очередь, позволяет уменьшить угол отклонения КА при съемке, а, следовательно, и размеры «слепых» областей.

Логическое расширение рабочей области линейки ФПЗС

Суть описываемого метода заключается в попытке построить алгоритм, который бы обеспечивал непрерывное получение данных при условии существования технической возможности производить чтение не всей линейки ФПЗС, а ее отдельных элементов. Предлагаемый метод уменьшения времени экспозиции базируется на «волновом» чтении линейки ФПЗС. В этом случае не производится чтение всей линейки по истечении определенного времени, равного времени, полученному от эффекта тангажного замедления, а несколько раз последовательно читаются несколько циклов. Это позволит собрать «урожай состояний» несколько раз. Несколько собранных логических линеек образуют логический кадр или квазиматрицу шириной, равной ширине линейки, и с количеством строк, равным частному от деления количества элементов в строке на количество элементов, оставленных между двумя последовательно идущими «волнами» чтения.

На рис. 2 изображена общая структура волнового алгоритма. На участке матрицы с первого по шестнадцатый элемент существуют четыре волны, которые последовательно считывают состояние элементов ФПЗС-линейки. Под волной будем понимать экземпляр процесса, осуществляющий последовательное считывание пикселей линейки. Текущим шагом или просто шагом «волны» обозначим номер пикселя, который должен быть считан «волной». Так как фотоприемным элементам необходимо время на

сброс и новое накопление заряда, то пускать «волны» друг за другом нецелесообразно, поэтому введем термин «период волны», который будет обозначать промежуток времени, разделяющий соседние волны. Количество элементов, разделяющее две последовательно идущие «волны», примем за шаговый период (T). Период и шаговый период «волны» определяются физическими свойствами элементов ФПЗС-линейки. Временем жизни волны будем считать количество прочитанных ею элементов. Если волна уже закончила чтение линейки или еще не была создана, то время ее жизни приравнивается минус единице.

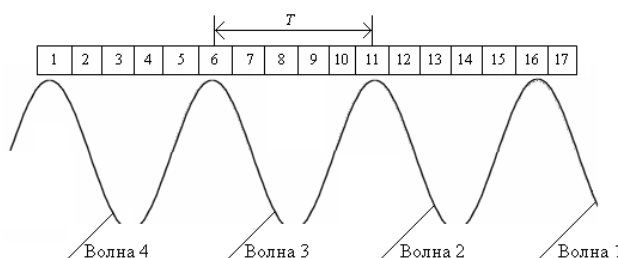


Рис. 2. Общая структура "волнового" алгоритма

Общий алгоритм работы «волнового» метода считывания линейки ФПЗС, схема которого представлена на рис. 3, описывает процесс волнового чтения линейки ФПЗС-элементов. По линейке пускается определенное количество волн с шагом, равным шаговому периоду для данной линейки. На каждом этапе для каждой «волны», которая начала движение по линейке, производится считывание соответствующих элементов линейки. После этого эти «волны» сдвигаются на один элемент вправо. Если какая-либо «волна» выходит за пределы линейки, она удаляется из списка активных «волн». Если последняя активная волна отошла от начала линейки на количество элементов, равное шаговому периоду, т.е. счетчик ожидания новых волн стал равен шаговому периоду и при этом максимальное количество «волн» достигнуто не было, то создается новая «волна». Алгоритм работает до тех пор, пока на линейке есть хотя бы одна активная волна.

Организация произвольного доступа к элементам линейки ФПЗС

Классическая организация линейки ФПЗС такова, что над ПЗС-«конвейером», который передает цепочку зарядов, располагается набор фотоэлементов, осуществляющих накопление заряда во время экспозиции линейки. После истечения времени экспонирования все фотоэлементы одновременно передают свой накопленный заряд на ПЗС-структуру, которая осуществляет его передачу к устройствам анализа и обработки. Для использования «волнового» алгоритма необходимо обеспечить возможность произвольного доступа к фотоэлементам. С этой целью между фотоэлементами и ПЗС-структурой расположим вентильную маску, которая позволит управлять процессом передачи заряда от фотоэлементов в элементы ПЗС, разрешая или запрещая такую передачу (рис. 4).

Вентильная маска представляет собой битовый массив, указывающий, с каких фотоэлементов нужно снять заряд в данный момент. Биты, соответствующие логическому нулю, закрывают переходы для соответствующих им пар фотоэлемент–ячейка регистра, и, наоборот, биты, установленные в 1, будут открывать переход для накопленного заряда из фотоэлемента в регистр. После того, как фотоэлемент отдал накопленный заряд в регистр, он снова может накапливать следующую порцию энергии.

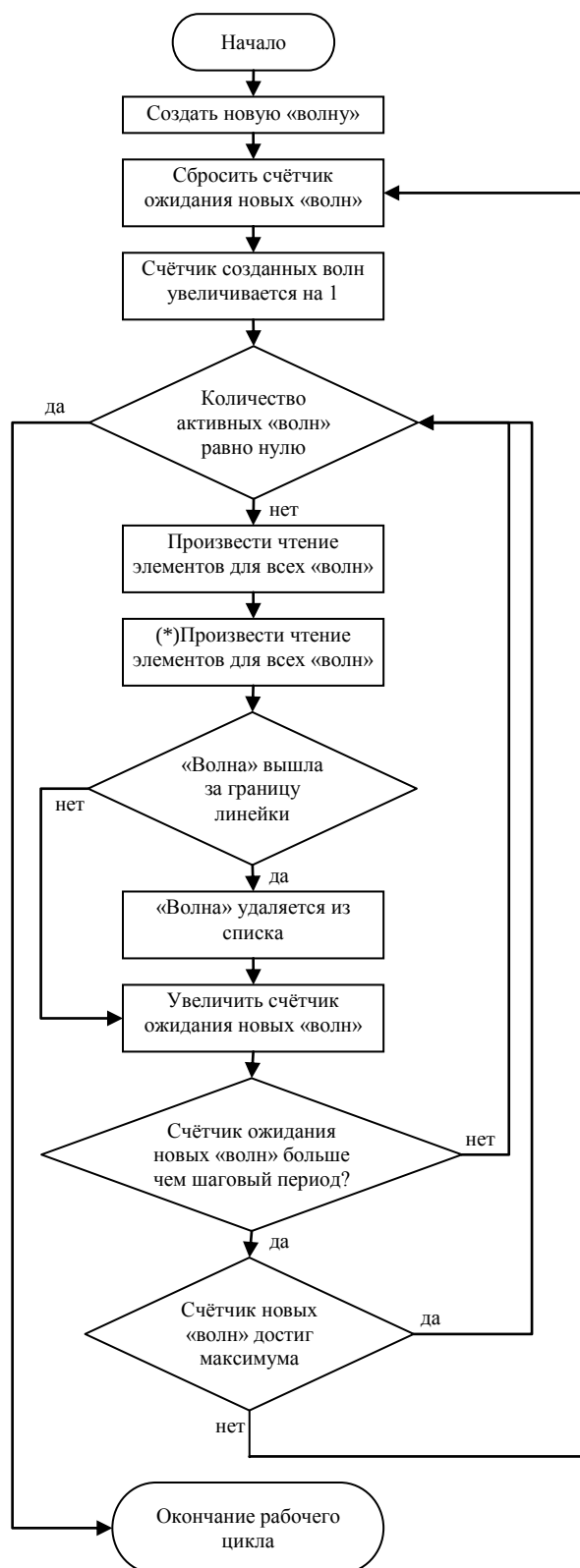


Рис. 3. Блок-схема общего «волнового» алгоритма

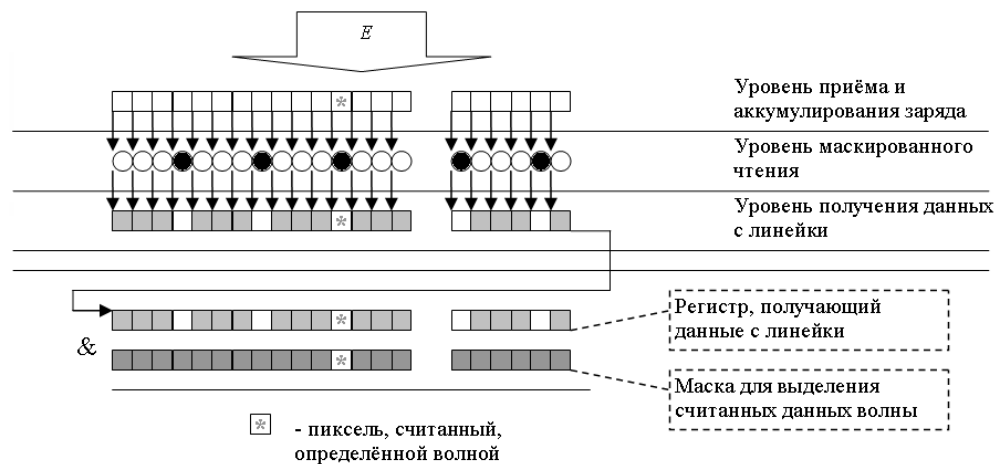


Рис. 4. Схема организации линейки для обеспечения чтения ее отдельных элементов при помощи маскировочного регистра

Использование вентильной маски для контроля передачи заряда от фотоэлементов к сдвиговому регистру позволяет применить «волновой» подход, описанный ранее. В этом случае алгоритм цикла чтения для активных «волн» выглядит следующим образом. Для каждого полученного набора известны номера «волн», элементы которых представлены в текущей выборке ($N_{wave1}, \dots, N_{waveX}$), также пусть определена функция $S(N_{wave})$, которая возвращает номер пикселя, который был прочитан волной N_{waveX} . Тогда для получения пикселя конкретной волны нужно взять элемент выборки под номером $S(N_{waveX})$ и сохранить его в матрице итогового результата в строке с соответствующим номером. Рис. 5 иллюстрирует этот метод для линейки длиной L .

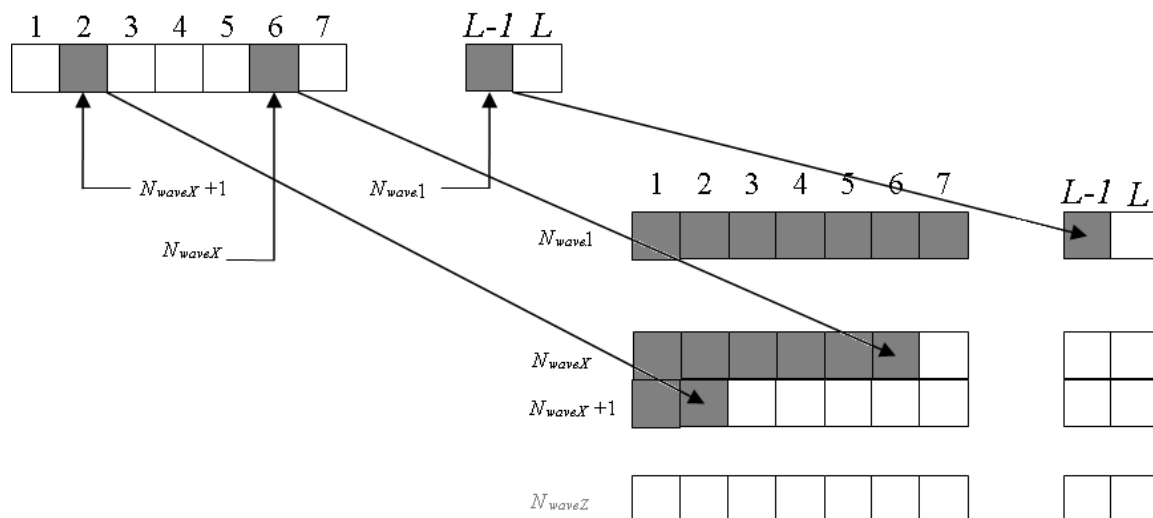


Рис. 5. Сохранение пикселей прочитанных активными «волнами» в квазиматрице для линейки длиной L

В результате получается матрица результатов, ширина которой равна ширине линейки ФПЗС, а высота соответствует числу «волн», прошедших по линейке за время экспозиции. При таком подходе каждая волна заполняет свою строку в результирующей квазиматрице. Процесс заполнения логической квазиматрицы ведется из левого верхнего угла по направлению к правому нижнему. Пусть время жизни «волны» есть количество тактов чтения, прошедшее с момента считывания первого элемента данной

«волны». Если волна еще не создана или уже прекратила свое существование (например, дойдя до правого края линейки), то ее время жизни равняется -1 . Тогда данной «волне» в конкретный момент времени соответствует элемент сдвигового регистра под номером, равным времени жизни «волны», и этот элемент является элементом данных этой «волны» под тем же номером. На примере последней вычисленной вентильной маски получим следующие значения в сдвиговом регистре:

Номер «волны»	Маска для выделения элемента	Номер элемента «волны»
волна 1	00000000100....000	9
волна 2	00001000000....000	5
волна 3	10000000000....000	1

Рассмотрим пример. Пусть в некоторый момент времени мы начинаем вести съемку при помощи линейки, усовершенствованной вентильной маской, шаговый период которой равен 5. По прошествии минимально возможного времени экспозиции первый (самый левый) элемент активной части линейки будет содержать значимое количество энергии, пригодное для дальнейшей обработки. Для его считывания вентильная маска устанавливается в значение

10000000000....000.

После применения такой маски в сдвиговый регистр попадет значение самого левого фотоэлемента. На следующий такт, после считывания значения, фотоэлемент снова начинает накапливание энергии. Следуя «волновому» алгоритму, при помощи маски мы можем считывать элементы один за другим, изменяя маску логическим сдвигом ее значения на один разряд вправо за каждый такт:

01000000000....000

00100000000....000

00010000000....000.

Пусть один такт считывания заряда с фотоэлемента, включая его получение со сдвигового регистра, занимает x единиц времени, а время накопления минимального заряда в фотоэлементе занимает y единиц времени. Тогда количество этапов чтения, через которое можно запускать вторую «волну» чтения, можно определить как

$$N_{mask} = \frac{y}{x}.$$

Обозначим этот параметр как время жизни маски. Время жизни маски равно шаговому периоду для данной линейки. В течение этого времени маска остается постоянной и изменяется только путем сдвига. По истечении времени жизни маски, на следующей итерации чтения, строится новая маска, которая образуется путем добавления к текущему значению величины 2^{N-1} . Продолжая рассматриваемый пример, запишем следующее значение вентильной маски при появлении второй «волны»:

10001000000....000.

Теперь сдвиговый регистр будет содержать два значения энергий фотоэлементов: пятого элемента первой «волны» и первого элемента второй «волны». После изменения маски время ее жизни сбрасывается, чтобы обеспечить отсчет до появления следующей «волны». При появлении третьей «волны» маска примет следующее значение:

10001000100....000.

После того, как первая «волна» достигнет правого края вентильной маски, создание новых «волн» прекращается. Алгоритм «волнового» чтения заканчивается, как только последняя «волна» достигнет правого края линейки.

Заключение

Приведен алгоритм «волнового» считывания данных с линейки ФПЗС, который позволяет существенно сократить угол наклона космического аппарата во время тангажного замедления, что приводит к пропорциональному уменьшению слепых участков между отснятыми отрезками. Рассмотрен вариант аппаратной реализации линейки ФПЗС, позволяющий использовать «волновой» алгоритм.

Литература

1. Гош С., Чандра А. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Техносфера, 2008. – 328 с.
2. Трифонова Т., Мищенко Н., Краснощекоев А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. – М.: Академический проект, 2005. – 352 с.
3. Обиралов А., Лимонов А., Гаврилова Л. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. – М.: КолосС, 2006, С. – 334 с.
4. Лурье И., Косиков А., Ушакова Л., Карпович Л., Любимцев М., Тутубалина О. Компьютерный практикум по цифровой обработке изображений и созданию ГИС. Часть III. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Научный мир, 2004. – 148 с.

Демин Анатолий Владимирович

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, dav60@mail.ru

Перл Иван Андреевич

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, romanart1@inbox.ru

УДК 535:530.182

**НАБЛЮДЕНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КРИСТАЛЛОВ DAST****Л.Н. Капорский, А.С. Кныш**

Создана двухканальная лазерная установка с фотоэлектрической регистрацией, позволяющая осуществлять измерение основных характеристик процесса получения излучения второй гармоники с помощью молекулярных кристаллов DAST, различающихся условиями их синтеза. Для оценки нелинейной восприимчивости кристаллов DAST использован метод относительных измерений, при которых в качестве эталонного образца использован ниобат лития как в форме монокристалла, так и в форме множества мелких кристаллов.

Ключевые слова: генерация второй гармоники, молекулярные кристаллы, DAST, нелинейная восприимчивость.

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию кристаллических и полимерных материалов с нелинейными оптическими свойствами. Существенное улучшение этих свойств определяется в значительной степени успехами в разработке принципиально новых сред, к числу которых относятся электрооптические материалы на основе DAST (4-N, N dimethylamino-4'-N'-methyl-stilbazolium tosylate). Высокие нелинейные электрооптические параметры молекулярных кристаллов обусловлены рядом факторов, из числа которых следует отметить следующие [1].

1. Молекулярные кристаллы состоят из сильно поляризуемых молекул, имеющих сопряженные связи, в которых делокализованные π -электроны легко перемещаются между донорной и акцепторной группами на противоположных концах молекулы, создавая внутримолекулярный комплекс с переносом заряда.
2. Молекулярный тип формирования решетки образует нецентросимметричную структуру, что обеспечивает ненулевое значение нелинейной восприимчивости второго порядка.
3. Нецентросимметричная структура решетки, образуемая из молекул с высоким дипольным моментом, может формироваться только с использованием таких межмолекулярных взаимодействий, которые обеспечивают поворот молекулы навстречу силам, возникающим из-за диполь-дипольного взаимодействия.

Получение монокристаллов DAST

Для получения молекулярных монокристаллов используются две группы методов [2]: методы, основанные на росте кристаллов в растворе, и методы, основанные на сублимации вещества в вакууме или газовой среде. В настоящей работе использованы кристаллы DAST, полученные методом выращивания из пересыщенного раствора. В качестве растворителя DAST были использованы изопропиловый либо метиловый спирт.

Важным вопросом с точки зрения использования полученных кристаллов DAST в качестве активных элементов электрооптических устройств является наличие нелинейных свойств. Для DAST это тем более актуально, поскольку DAST имеет несколько кристаллических форм, существенно различающихся по электрооптической чувствительности. Поэтому необходима проверка монокристаллов после изготовления. Обще-

принятым методом экспресс-анализа кристаллов (и электрооптических полимеров) на наличие нелинейной восприимчивости второго порядка являются методы регистрации генерации второй гармоники.

Получение тонкопленочных монокристаллов DAST

Ранее было показано [3], что тонкие монокристаллические пленки молекулярных кристаллов DAST могут быть получены при росте монокристалла на ориентирующей органической подложке. Такие кристаллы позволили сформировать волноводную структуру, толщина которой составила 2 мкм и определялась технологией наращивания монокристаллической пленки, в то время как площадь монокристаллической структуры составила 10×5 мм, что достаточно для любых волноводных областей применения. Также показано, что электрооптическая чувствительность значительно больше по сравнению с монокристаллом и достигает 700 пм/В, что является рекордной величиной на сегодняшний день.

Условия эксперимента

С целью необходимых корректировок режима синтеза кристаллов DAST и оценки характерной для этих кристаллов нелинейной оптической восприимчивости второго порядка $\chi^{(2)}$ нами была создана установка и разработана методика проведения измерений с учетом специфических особенностей кристаллов DAST различного типа.

На рис. 1 приведена схема установки для количественной оценки нелинейно-оптических характеристик органических молекулярных кристаллов DAST, синтезированных при варьировании условий их получения. Учитывая технические трудности измерения с достаточной точностью интенсивности возбуждающего излучения на исследуемых кристаллах DAST, оценку нелинейной оптической восприимчивости второго порядка проводили относительным методом сравнения с эталонным образцом, в качестве которого использовали кристалл ниобата лития [4].

В работе использовали лазер на гранате с неодимом (1), работающий в моноимпульсном режиме. Частота следования импульсов составляла 12,5 и 25 Гц. Длительность импульсов излучения на уровне 0,5 составляла 15 нс. Излучение задающего генератора усиливалось однокаскадным усилителем (2), после которого средняя мощность лазерного излучения, измеренная с помощью ИМО–2М, составляла 280 мВт (при 12 Гц). Диаметр пучка излучения, ограниченный выходной диафрагмой, составлял 3 мм. Далее на пути пучка размещался фильтр КС–19 (3), ограничивающий засветку измерительной части установки светом ламп накачки, линза (4) с фокусным расстоянием 750 мм и светоделительная пластинка (5), отводившая часть излучения на приемную головку измерителя мощности (6), который позволял осуществлять постоянный мониторинг стабильности уровня мощности генератора. После этого лазерный пучок направлялся на ребро 90° угла прямоугольной призмы (7) и разделялся на два самостоятельных пучка. Разделительная призма крепилась на столике с микрометрическим перемещением в направлении, перпендикулярном исходному лазерному пучку. Это позволяло легко добиваться равенства интенсивности излучения обоих пучков. После выравнивания интенсивности пучков каждый из них направлялся в свой фотометрический узел, включавший исследуемый образец и эталон (8, 9), систему нейтральных и цветных фильтров (СЗС–23, СЗС–24, НС) (10, 11) и фотоприемник типа ФД–24К (12, 13). Сигналы фотоприемников регистрировались двухканальным цифровым запоминающим осциллографом типа PCS500A (14).

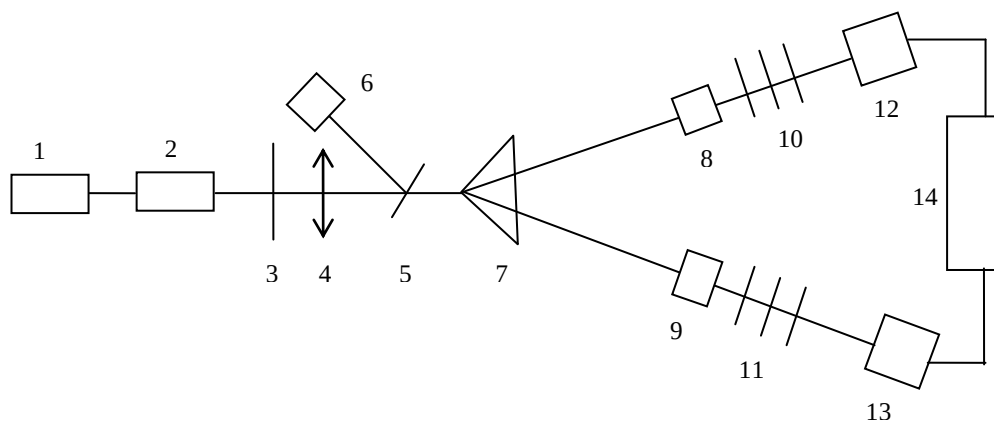


Рис.1. Принципиальная оптическая схема экспериментальной установки

В процессе выполнения работы особое внимание было уделено подготовке кристаллов DAST к проведению измерений. Выращенные кристаллы DAST относительно больших размеров ($4 \times 1,0 \times 0,05$ мм) отделялись от основы, на которой они были выращены, и переносились в центральную часть стеклянной пластинки толщиной 0,5 мм (размер пластинки 40×40 мм). Поверхность пластинки была предварительно покрыта тонким слоем клеящего вещества, прозрачного для волн с длиной 532 мкм. Спектр поглощения клеящего вещества был предварительно проверен на прозрачность в области рабочих длин волн. Кристаллы DAST, закрепленные на стеклянной пластинке, занимали площадь $0,15 \text{ см}^2$, что было достаточно для их полного перекрытия пучком лазерного излучения. Мелкие кристаллы DAST, выращенные на поверхности тонкой полимерной модифицирующей пленки, переносились на стеклянную пластинку вместе с пленкой. Выбор такого метода закрепления исследуемых образцов объясняется тем, что как пластинки с образцами, так и оправа эталонного кристалла ниобата лития имели одинаковые размеры с фильтрами малого каталога цветного стекла (40×40 мм) и перед фотоприемником располагались в вертикальном положении.

В ряде случаев возникала необходимость непосредственной регистрации (фоторегистрирования) кристаллов DAST, светящихся под действием возбуждающего лазерного излучения с длиной волны 1,06 мкм. С этой целью в один из пучков возбуждающего лазерного излучения вводилось поворотное зеркало, направлявшее излучение вертикально вниз на пластинку, на которой располагались исследуемые кристаллы DAST, которые можно было в процессе эксперимента рассматривать в бинокулярный микроскоп, один из окуляров которого был заменен на веб-камеру. Фотография выращенного кристалла приведена на рис. 2 [2].

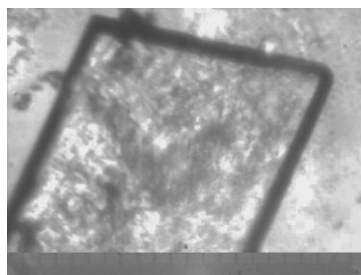


Рис. 2. Наибольший по размеру монокристалл DAST (фотография в поляризованном свете), размер кристалла $4 \times 0,8 \times 0,05$ мм

Метод оценки нелинейной восприимчивости

Непосредственное определение нелинейной восприимчивости в опытах по получению второй гармоники связано со значительными трудностями, главная из которых – точное измерение интенсивности возбуждающего и генерируемого излучений. Эти трудности возрастают в тех случаях, когда объектом исследования являются либо мелкие кристаллические частицы, либо порошки. Решение этих вопросов оказывается возможным при использовании относительного метода сравнения двух образцов, нелинейные характеристики одного из которых известны. Получаемые в этом случае сигналы, соответствующие относительному значению нелинейной восприимчивости, позволяют надежно идентифицировать нелинейные свойства исследуемых образцов.

Рассмотрим кратко основные соотношения, описывающие процесс генерации второй гармоники. Для плоских волн при заданной амплитуде возбуждающей волны $E_{\text{нак}}(z) = \text{const}$ выражение для поля второй гармоники $E_{2\omega}(z)$ имеет вид [5]:

$$E_{2\omega}(z) = \frac{4\pi\omega}{cn_{2\omega}\Delta k} \chi^{(2)}(2\omega) E_{\omega}^2 \exp(i\Delta kz) - 1, \quad (1)$$

где $\Delta k = 2k_1 - k_2$ – волновая расстройка. Переходя от выражения для поля второй гармоники к ее интенсивности, получим:

$$I_{2\omega} = \frac{cn_{2\omega}}{8\pi} |E_{2\omega}|^2 = \frac{128\pi^3 \omega^2}{c^3 n_{\omega}^2 n_{2\omega}} |\chi^{(2)}(2\omega)|^2 \cdot I_1^2 \sin^2 \frac{\Delta kz}{2}, \quad (2)$$

где I_1 и $I_{2\omega}$ – интенсивность возбуждающего излучения и излучения второй гармоники; n_{ω} и $n_{2\omega}$ – показатели преломления для первой и второй гармоник; $\chi^{(2)}(2\omega)$ – нелинейная квадратичная восприимчивость.

Для получения максимальной интенсивности второй гармоники или, иначе, получения максимального коэффициента преобразования лазерного излучения во вторую гармонику необходимо выполнить условие синхронизма: $\Delta k = 0$. При этих условиях наблюдается резкое возрастание интенсивности второй гармоники, и интенсивность $I_{2\omega}$ увеличивается квадратично с ростом длины взаимодействия z . Заметим при этом, что поперечный размер лазерного пучка не ограничивает длину взаимодействия волн. Условие синхронизма может быть обеспечено лишь в случае, когда преобразующая нелинейная среда будет являться одноосным отрицательным двулучепреломляющим кристаллом [$n_e(\omega) < n_o(\omega)$].

Выражение (2) описывает процесс преобразования как для образца с неизвестной нелинейной восприимчивостью, так и для эталонного образца, восприимчивость которого известна. Введя дополнительные обозначения, вычислим отношение $(I_{2\omega})_{\text{LiNbO}_3} = (I_{2\omega})_{\text{DAST}}$. В результате выполненных преобразований получим:

$$\frac{(I_{2\omega})_{\text{LiNbO}_3}}{(I_{2\omega})_{\text{DAST}}} = \frac{(n_{\omega}^2 n_{2\omega})_{\text{DAST}}}{(n_{\omega}^2 n_{2\omega})_{\text{LiNbO}_3}} \cdot \frac{|\chi^{(2)}(2\omega)|_{\text{LiNbO}_3}}{|\chi^{(2)}(2\omega)|_{\text{DAST}}}. \quad (3)$$

С использованием (3) можно производить оценку величины оптической нелинейной восприимчивости кристаллов DAST, различающихся условиями синтеза.

Результаты и их обсуждение

Для проверки работоспособности установки была проведена серия экспериментов по определению эффективности получения второй гармоники лазерного излучения и угловой ширины синхронизма. В качестве испытуемых образцов были взяты традици-

онно используемые для этих целей монокристаллы КДП и ниобата лития. Кристаллы DAST на этом этапе работы использовали только для визуальной разбраковки по факту наличия или отсутствия свечения с длиной волны 532 нм. В первой серии экспериментов по определению эффективности преобразования возбуждающего излучения в излучение второй гармоники было установлено, что эффективность (кпд) преобразования для кристаллов КДП составляла 15%, а для ниобата лития 12–13%. Отметим при этом, что линейный размер кристалла КДП в направлении распространения излучения был в шесть раз больше, чем у кристалла ниобата лития. Дробление кристаллов на частицы размером 2–3 мм снижало эффективность преобразования в 3–5 раз. При этом большее снижение наблюдали для КДП. Наблюдаемое снижение эффективности преобразования в этом случае может быть объяснено рядом причин:

- при переходе к мелким частицам происходит сокращение пути вынуждающего излучения в веществе преобразователя;
- нарушаются условия точной реализации углового синхронизма для случайно расположенных мелких частиц кристалла;
- часть возбуждающего излучения может быть потеряна из-за неплотного расположения мелких частиц в облучаемой зоне.

Эти результаты подтверждаются опытами по определению угловой ширины синхронизма. На рис. 3 приведена зависимость выхода преобразованного излучения (532 нм) от величины угла поворота кристалла КДП. Если положение кристалла, при котором регистрируется максимальный эффект преобразования излучения, принять за нулевое, то снижение эффективности преобразования в два раза наблюдается при повороте кристалла на ± 4 угл. мин. Наблюдаемая кривая имеет очень острый максимум. Аналогичные опыты, проведенные с мелкими частицами, показали, что в этом случае происходит не только снижение эффективности преобразования, но и сильное увеличение угла, в пределах которого распределяется излучение второй гармоники (до 10–15°).

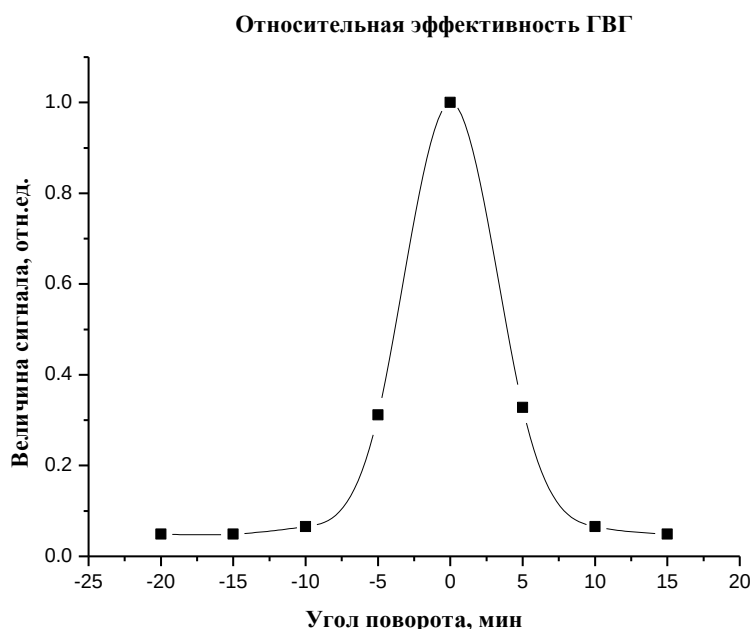


Рис. 3. Зависимость относительной величины сигнала от угла поворота кристалла

Полученные на начальном этапе работы результаты представляют интерес для дальнейшего развития работы в направлении исследования кристаллов DAST как нелинейно-оптических преобразователей лазерного излучения.

Заключение

В ходе работы была прослежена зависимость интенсивности излучения от нелинейной восприимчивости второго порядка. Для измерения интенсивности создана установка с фотоэлектрической регистрацией, позволяющая проводить количественные измерения основных параметров процесса преобразования возбуждающего излучения (1,06 мкм) в излучение второй гармоники (0,53 мкм) при использовании кристаллов DAST, различающихся условиями их синтеза. Для ряда образцов измерена эффективность преобразования (кпд), определено направление и угловая ширина синхронизма. Начаты эксперименты по оценке нелинейной восприимчивости кристаллов DAST методом относительных измерений с использованием эталона из ниобата лития.

Авторы выражают благодарность Ю.Э. Бурунковой за предоставленные образцы кристаллов DAST и консультации по их синтезу.

Литература

1. Debrus S., Ratajczak H., Venturini J., Pincon N., Baran J., Barycki J., Glowiak T., Pietraszko A. Novel nonlinear optical crystals of noncentrosymmetric structure based on hydrogen bonds interactions between organic and inorganic molecules // *Synthetic Metals*. – 2002. – № 127. – P. 99–104.
2. Денисюк И.Ю., Бурункова Ю.Э., Смирнова Т.В. Электрооптические материалы на основе тонких пленок молекулярных кристаллов – преимущества и перспективы использования // *Опт. журнал*. – 2007. – № 2. – С. 63 – 70.
3. Cai B., Radmer O., Zawadzki C., Yao H.H., Keyl N., Vito T.K. DAST crystal waveguide fabrication by photobleaching method // *J. of Nonlinear Optical Physics & Materials*. – 2004. – Vol. 13. – P. 195–208.
4. Агринская Н.В., Кудрявцев В.В., Лукошин В.А. Исследование нелинейной оптической восприимчивости второго порядка в кристаллических молекулярных соединениях группы халконов // *Физика твердого тела*. – 1999. – Т. 41. – Вып. 11. – С. 2084–2087.
5. Коротеев Н.И., Шумай И.Л. *Физика мощного лазерного излучения*. – М.: Наука, 1991. – 312 с.

Капорский Лев Евгеньевич

– ГОИ им. С.И. Вавилова, кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, any-knysh@yandex.ru

Кныш Анна Сергеевна

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, студентка, romanart1@inbox.ru

УДК 62-50

СИНТЕЗ НАБЛЮДАТЕЛЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА В УСЛОВИЯХ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВОЗМУЩЕНИЯ, ПРИЛОЖЕННОГО К ВЫХОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

С.В. Арановский, А.А. Бобцов, В.О. Никифоров

В статье предлагается новый наблюдатель переменных состояния нелинейного объекта управления в случае, когда измеряемый выходной сигнал объекта подвержен воздействию неизвестного гармонического возмущения.

Ключевые слова: гармонические возмущения, наблюдатели, нелинейные системы.

Введение

Рассматривается задача синтеза асимптотического наблюдателя вектора переменных состояния для нелинейного объекта вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + bu(t) + d\varphi(y), \quad (1)$$

$$y(t) = c^T x(t) + \delta(t), \quad (2)$$

где $x \in R^n$ – измеряемый вектор переменных состояния; A , b , d и c – известные матрицы и векторы постоянных коэффициентов соответствующих размерностей; $\delta(t) \in R$ – заранее неизвестное и недоступное прямым измерениям гармоническое возмущение; $u(t) \in R$ – сигнал управления; $\varphi(y)$ – известная гладкая функция; $y(t) \in R$ – измеряемый выход.

Если матрица A гурвицева, то данная задача может быть достаточно просто решена посредством расчета в реальном масштабе времени модели объекта (1). При этом, в силу экспоненциального стремления к нулю свободной составляющей, модель будет генерировать оценку вектора переменных состояния, асимптотически сходящуюся к действительным значениям $x(t)$. В противном случае (т.е., если матрица A негурвицева) данная схема является неработоспособной, а использование классических наблюдателей вектора состояния не позволит получить асимптотическую сходимость ошибки наблюдения в силу присутствия возмущения $\delta(t)$.

Поставленная задача может быть решена с использованием методов адаптивного наблюдения [1–7]. Однако большинство известных работ посвящены случаю, когда гармоническое возмущение приведено ко входу системы [1–5], и их результаты не могут быть непосредственно распространены на рассматриваемый случай возмущения, действующего на выход системы. В работах [6, 7] рассмотрен случай возмущений в выходном сигнале, но для ограниченного класса линейных минимально фазовых объектов. Таким образом, построение адаптивного наблюдателя для нелинейного объекта (1)–(2) является новой и актуальной задачей.

Постановка задачи

Рассмотрим в общем случае не минимально фазовый нелинейный объект вида (1), (2). Для простоты ограничимся исследованием случая, когда возмущение $\delta(t)$ представлено в виде гармонической функции

$$\delta(t) = \sigma \sin(\omega t + \beta) \quad (3)$$

с неизвестными амплитудой σ , частотой ω и начальной фазой β . Заметим, что расширение предлагаемого подхода на случай возмущения, представленного суммой нескольких гармонических функций, не влечет принципиальных сложностей, но усложняет представление основного материала статьи.

Перепишем объект (1), (2) в форме модели вход–выход:

$$y(t) = \frac{b(p)}{a(p)} u(t) + \frac{d(p)}{a(p)} \varphi(y) + \delta(t), \quad (4)$$

где $p = d/dt$ – оператор дифференцирования; $a(p) = p^n + a_{n-1}p^{n-1} + \dots + a_1p + a_0$, $b(p) = b_m p^m + \dots + b_1p + b_0$ и $d(p) = d_r p^r + \dots + d_1p + d_0$ – соответствующие полиномы, полученные в результате перехода от модели вход–состояние–выход к модели вход–выход: $\frac{b(p)}{a(p)} = c^T(pI - A)^{-1}b$ и $\frac{d(p)}{a(p)} = c^T(pI - A)^{-1}d$.

Будем считать выполненными следующие допущения относительно системы (1), (2), (4).

Допущение 1. Доступными для измерений являются только сигналы $y(t)$ и $u(t)$.

Допущение 2. Пара A, b полностью управляема, и пара A, c полностью наблюдаема.

Допущение 3. Полином $a(p)$ не имеет корней $\pm j\omega$, где ω – частота возмущающего воздействия.

Требуется построить асимптотический наблюдатель переменных состояния $x(t)$ объекта (1), (2) такой, что

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |x(t) - \hat{x}(t)| = 0, \quad (5)$$

где $\hat{x}(t)$ является оценкой вектора $x(t)$.

Синтез наблюдателя для объекта (1), (2) будем осуществлять в два этапа. Сначала решим задачу синтеза наблюдателя возмущающего воздействия $\delta(t)$. Далее, используя информацию о $\delta(t)$, построим оценку вектора $x(t)$.

Отметим, что для решения поставленной задачи можно использовать два подхода. Первый подход предусматривает рассмотрение расширенной системы, включающей в себя как сам объект управления, так и модель внешней среды. Используя полученную оценку частоты ω , могут быть рассчитаны коэффициенты классического наблюдателя полной размерности для расширенной системы. К преимуществам данного подхода относится то, что для решения задачи достаточно провести идентификацию только частоты возмущения, но не его амплитуды и фазы. В то же время предложенный подход потребует проводить в реальном времени процедуру пересчета коэффициентов наблюдателя, что повышает сложность метода и затрудняет его практическую реализацию.

Вторым возможным подходом является построение наблюдателя возмущения на основе идентификации всех его параметров, и использование полученной оценки возмущения для вычисления выхода объекта с последующим построением наблюдателя переменных состояния. Данный метод отличается меньшей вычислительной сложностью, и в дальнейшем именно он будет рассмотрен в работе.

Синтез наблюдателя возмущающего воздействия

Итак, проведем синтез наблюдателя возмущающего воздействия $\delta(t) = \sigma \sin(\omega t + \beta)$, для чего потребуются идентификация параметров σ , ω и β . По-

строим сначала идентификатор параметра ω . Воспользуемся для этого результатами работы [8].

Рассмотрим произвольный гурвицев полином $\gamma(p)$ степени n . Тогда уравнение (4) можно переписать в виде

$$y(t) = \frac{a_1(p)}{\gamma(p)} y(t) + \frac{b(p)}{\gamma(p)} u(t) + \frac{d(p)}{\gamma(p)} \varphi(y) + \frac{a(p)}{\gamma(p)} \delta(t), \quad (5)$$

где $a_1(p) = \gamma(p) - a(p)$.

Сформируем вспомогательный сигнал:

$$w(t) = y(t) - \frac{a_1(p)}{\gamma(p)} y(t) - \frac{b(p)}{\gamma(p)} u(t) - \frac{d(p)}{\gamma(p)} \varphi(y). \quad (6)$$

С учетом уравнения (5) получаем

$$\begin{aligned} w(t) &= y(t) - \frac{a_1(p)}{\gamma(p)} y(t) - \frac{b(p)}{\gamma(p)} u(t) - \frac{d(p)}{\gamma(p)} \varphi(y) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \delta(t) = \\ &= \frac{a(p)}{\gamma(p)} \sigma \sin(\omega t + \beta) = \sigma \frac{a(p)}{\gamma(p)} \sin(\omega t + \beta). \end{aligned} \quad (7)$$

Из (7) следует, что сигнал $w(t)$, в силу гурвицевости полинома $\gamma(p)$ и отсутствия у полинома $a(p)$ корней $\pm j\omega$, является гармонической функцией с частотой ω . Поэтому сигнал $w(t)$ может рассматриваться в качестве выхода динамической модели вида

$$\frac{d^2 w(t)}{dt^2} = -\omega^2 w(t) = \theta w(t), \quad (8)$$

где $\theta = -\omega^2$ – постоянный параметр. Следуя результатам леммы 1 из работы [9], сигнал $w(t)$ можно записать в форме

$$w(t) = 2\dot{\zeta}(t) + \zeta(t) + \theta\zeta(t) + \varepsilon_y(t), \quad (9)$$

где $\varepsilon_y(t)$ – экспоненциально затухающая функция времени, определяемая ненулевыми начальными условиями, а функция $\zeta(t)$ формируется следующим образом

$$\zeta(t) = \frac{1}{(p+1)^2} w(t). \quad (10)$$

Как и в [9], для синтеза идентификатора неизвестного параметра θ введем новую переменную – измеряемый сигнал вида

$$z(t) = \ddot{\zeta}(t) = w(t) - 2\dot{\zeta}(t) - \zeta(t). \quad (11)$$

Можно показать, что в силу уравнений (9) и (10) справедливо равенство

$$z(t) = \theta \zeta(t).$$

Тогда оценку $\hat{z}(t)$ сигнала $z(t)$ целесообразно сформировать в виде

$$\hat{z}(t) = \hat{\theta}(t) \zeta(t), \quad (12)$$

где $\hat{\theta}(t)$ – настраиваемый параметр (оценка параметра θ).

Утверждение 1 [9]. Пусть параметр $\hat{\theta}(t)$ настраивается следующим образом:

$$\dot{\hat{\theta}}(t) = k\zeta(t)(z(t) - \hat{z}(t)), \quad (13)$$

где $k > 0$ – коэффициент адаптации, сигналы $\zeta(t)$, $z(t)$ и $\hat{z}(t)$ формируются в соответствии с выражениями (10), (11) и (12), соответственно (при этом сигнал $w(t)$ формируется по правилу (6)). Тогда

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\hat{\theta}(t) - \theta| = 0.$$

С учетом утверждения 1 частоту гармонического возмущения будем рассчитывать следующим образом:

$$\hat{\omega}(t) = \sqrt{|\hat{\theta}(t)|}. \quad (14)$$

Для построения оценки возмущения $\delta(t)$ заменим задачи идентификации амплитуды σ и фазы β сигнала более простой задачей идентификации двух амплитуд. Действительно, для гармонического сигнала $w(t)$ имеем:

$$w(t) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \sigma \sin(\omega t + \beta) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \sigma_1 \sin \omega t + \sigma_2 \cos \omega t = \sigma_1 \psi_1(t) + \sigma_2 \psi_2(t),$$

где возмущение $\delta(t) = \sigma \sin(\omega t + \beta)$ представлено в виде суммы двух гармонических сигналов разной амплитуды, но с нулевой начальной фазой:

$$\delta(t) = \sigma_1 \sin \omega t + \sigma_2 \cos \omega t,$$

а физически реализуемые сигналы $\psi_1(t)$ и $\psi_2(t)$ формируется по правилу

$$\psi_1(t) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \sin \omega t, \quad \psi_2(t) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \cos \omega t.$$

Тогда оценку возмущения $\delta(t)$ будем формировать в виде

$$\hat{\delta}(t) = \hat{\sigma}_1 \sin \hat{\omega} t + \hat{\sigma}_2 \cos \hat{\omega} t, \quad (15)$$

где $\hat{\sigma}_1$ и $\hat{\sigma}_2$ – настраиваемые параметры (оценки параметров σ_1 и σ_2).

Можно показать справедливость следующего утверждения.

Утверждение 2. Пусть параметры $\hat{\sigma}_1$ и $\hat{\sigma}_2$ настраиваются следующим образом:

$$\dot{\hat{\sigma}}_1(t) = k_\sigma \hat{\psi}_1(t) w(t) - \hat{\sigma}_1(t) \hat{\psi}_1(t) - \hat{\sigma}_2(t) \hat{\psi}_2(t), \quad (16)$$

$$\dot{\hat{\sigma}}_2(t) = k_\sigma \hat{\psi}_2(t) w(t) - \hat{\sigma}_1(t) \hat{\psi}_1(t) - \hat{\sigma}_2(t) \hat{\psi}_2(t), \quad (17)$$

где k_σ – коэффициент адаптации, сигнал $w(t)$ определяется выражением (6), а сигналы $\hat{\psi}_1(t)$ и $\hat{\psi}_2(t)$ формируются по правилу

$$\hat{\psi}_1(t) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \sin \hat{\omega} t, \quad \hat{\psi}_2(t) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \cos \hat{\omega} t \quad (18)$$

с использованием оценки частоты гармонического возмущения (13), (14). Тогда

$$\lim |\sigma(t) - \hat{\sigma}(t)| = 0. \quad (19)$$

Таким образом, адаптивный наблюдатель возмущения, содержащий блоки формирования вспомогательных сигналов $w(t)$, $\zeta(t)$ и $z(t)$, (6), (10) и (11) соответственно, настраиваемые модели (12) и (15), а также алгоритмы настройки (13), (16) и (17), обеспечивает для объекта (1), (2) асимптотическую идентификацию заранее неизвестного возмущения (3). В частном случае, когда возмущение (3) имеет нулевую начальную фазу (т.е. $\beta = 0$), схема его идентификации может быть существенно упрощена. А именно, вместо оценки (15) и двух алгоритмов настройки (16) и (17) можно использовать оценку вида

$$\hat{\delta}(t) = \hat{\sigma} \sin \hat{\omega} t, \quad (20)$$

где параметр $\hat{\sigma}$ настраивается по правилу

$$\dot{\hat{\sigma}} = k_\sigma \hat{\psi}(t)(w(t) - \hat{w}(t)), \quad (21)$$

$$\hat{\psi}(t) = \frac{a(p)}{\gamma(p)} \sin \hat{\omega} t. \quad (22)$$

Синтез наблюдателя состояния

Теперь, зная оценку возмущения $\delta(t)$, построим наблюдатель переменных состояния $x(t)$ для объекта управления (1), (2). Для этого воспользуемся классическими результатами по синтезу наблюдателей полной размерности, опубликованными, например, в [10]:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + bu(t) + d\varphi(y) + l(y(t) - \hat{y}(t)), \quad (23)$$

$$\hat{y}(t) = c^T \hat{x}(t) + \hat{\delta}(t), \quad (24)$$

где $\hat{x}(t) \in R^n$ – оценка вектора $x(t)$, $\hat{\delta}(t) \in R$ – оценка неизвестного возмущения, формируемая по правилу (15) (или по правилу (20)), $\hat{y}(t) \in R$ – оценка переменной $y(t)$, а вектор постоянных коэффициентов l рассчитывается таким образом, чтобы матрица $\bar{A} = A - lc^T$ была гурвицевой.

Введем в рассмотрение ошибку оценки состояния $\varepsilon = x - \hat{x}$. Тогда, вычитая (23) из (1) с учетом (2) и (24), получаем модель ошибки оценки состояния:

$$\dot{\varepsilon} = \bar{A}\varepsilon + l(\sigma(t) - \hat{\sigma}(t)).$$

Из последнего выражения с учетом гурвицевости матрицы $\bar{A}$ и равенства (19) следует выполнение целевого условия (5).

Пример

Для иллюстрации предложенной схемы синтеза наблюдателя для нелинейного объекта вида (1), (2) рассмотрим пример. Рассмотрим нелинейный объект вида

$$\dot{x}_1 = x_2,$$

$$\dot{x}_2 = u - y^3,$$

$$y = x_1 + \sigma,$$

где входной сигнал $u(t) = 1$. Для определенности будем считать, что неизвестное возмущение имеет вид $\sigma(t) = 3\sin 4t$. Построим наблюдатель, используя выражения (6), (10), (14), (20)–(24):

$$w = y - \frac{20p+100}{p^2+20p+100}y - \frac{1}{p^2+20p+100}u + \frac{1}{p^2+20p+100}y^3,$$

$$\varsigma = \frac{1}{(p+1)^2}w,$$

$$\dot{\hat{\theta}} = 10^5 \varsigma (w - 2\varsigma - \varsigma - \hat{\theta}\varsigma),$$

$$\hat{\omega} = \sqrt{|\hat{\theta}|},$$

$$\psi = \frac{p^2}{p^2+20p+100} \sin \hat{\omega} t,$$

$$\hat{w} = \hat{\sigma}\psi,$$

$$\dot{\hat{\sigma}} = 10^3 \psi (w - \hat{w}),$$

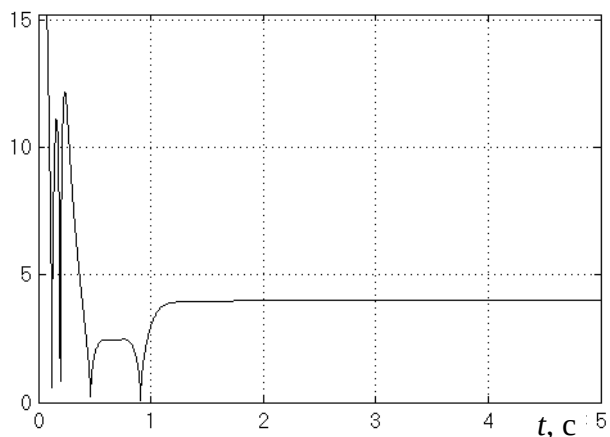
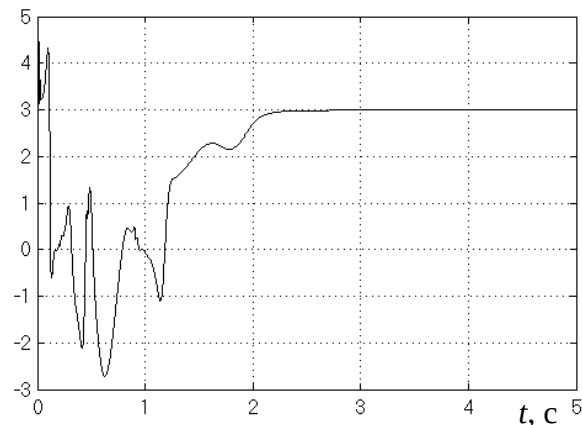
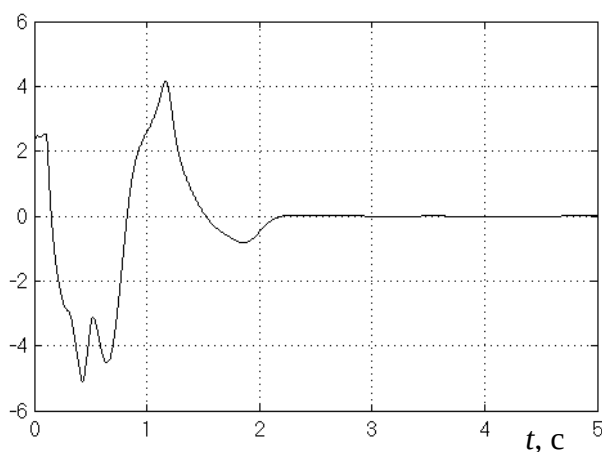
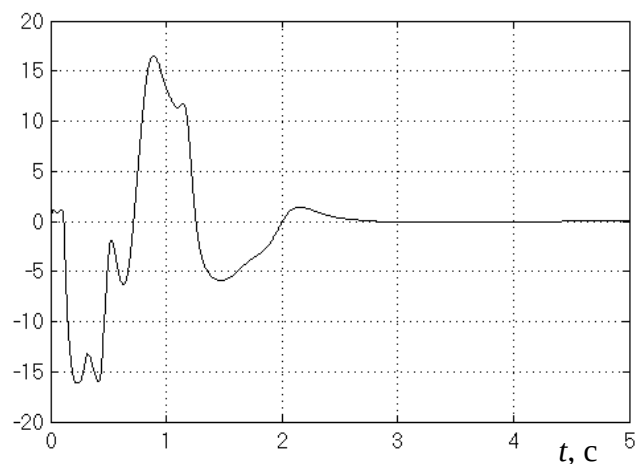
$$\hat{\delta}(t) = \hat{\sigma} \sin \hat{\omega} t,$$

$$\dot{\hat{x}}_1 = \hat{x}_2 + 20(y - \hat{y}),$$

$$\dot{\hat{x}}_2 = u - y^3 + 100(y - \hat{y}),$$

$$\hat{y} = \hat{x}_1 + \hat{\delta}.$$

Результаты компьютерного моделирования идентификации частоты $\hat{\omega}$, амплитуды $\hat{\sigma}$ и графики невязок $x_1 - \hat{x}_1$ и $x_2 - \hat{x}_2$ представлены на рис. 1–4 соответственно и демонстрируют асимптотически точную оценку частоты возмущения (рис. 1), амплитуды возмущения (рис. 2) и выполнение целевого условия (5) (рис. 3 и рис. 4).

Рис. 1. Идентификация частоты $\hat{\omega}$ Рис. 2. Идентификация амплитуды $\hat{\sigma}$ Рис. 3. Невязка $x_1 - \hat{x}_1$ Рис. 4. Невязка $x_2 - \hat{x}_2$

Заключение

В статье предложен альтернативный к [6, 7] алгоритм синтеза наблюдателя (23), (24) для нелинейного объекта управления (1), (2). Представлены результаты компьютерного моделирования, иллюстрирующие работоспособность предлагаемого алгоритма.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-08-00139-а.

Литература

1. Никифоров В.О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. – СПб: Наука, 2003. – 282 с.
2. Никифоров В.О. Наблюдатели внешних возмущений. 1. Объекты с известными параметрами // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 10. – С. 13–23.
3. Никифоров В.О. Наблюдатели внешних возмущений. 2. Объекты с неизвестными параметрами // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 11. – С. 40–52.

4. Бобцов А.А., Кремлев А.С. Синтез наблюдателя в задаче компенсации конечномерного квазигармонического возмущения // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2005. – № 3. – С. 5–11.
5. Бобцов А.А. Алгоритм управления по выходу с компенсацией гармонического возмущения со смещением // Автоматика и телемеханика. – 2008 – № 8. – С. 25–32.
6. Marino R., Santosuosso G. and Tomei R. Adaptive Stabilization of Linear Systems with Outputs Affected by Unknown Sinusoidal Disturbances // Proceedings of the European Control Conference 2007 Kos, Greece, July 2–5, 2007. – P. 129–134.
7. Marino R. and Tomei R. Output Regulation for Linear Minimum Phase Systems With Unknown Order Exosystem // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2007. – V. 52. – P. 2000–2005.
8. Aranovskiy S., Bobtsov A. Frequency Identification of Biased Harmonic Output Disturbance // 15th IFAC Symposium on System Identification, SYSID 2009 – Saint-Malo, France, 2009.
9. Арановский С.В., Бобцов А.А., Кремлев А.С., Лукьянова Г.В. Робастный алгоритм идентификации частоты синусоидального сигнала // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2007. – № 3. – С. 1–6.
10. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. – СПб: Наука, 1999. – 475 с.

Арановский Станислав Владимирович	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, ассистент, rhnd@mail.ru
Бобцов Алексей Алексеевич	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, декан, доктор технических наук, профессор, bobtsov@mail.ru
Никифоров Владимир Олегович	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, проректор, доктор технических наук, профессор, nikiforov@mail.ifmo.ru

УДК 004.258

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА К ПАМЯТИ
В 64-БИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ФИРМЫ MICROSOFT****М.Я. Беккер***Ведущий консультант Application Development Core Microsoft Deutschland GmbH,
выпускник СПбГУ ИТМО (Бохум, Германия)*

Приводится анализ проблем 32-битной технологии, являющихся причиной перехода на 64-битную технологию, рассмотрены базовые технические характеристики аппаратных платформ, основанных на 64-битной адресации памяти и поддерживаемых программным обеспечением Microsoft, приведен обзор специфических аспектов перевода информационных систем и производственных процессов на 64-битные технологии, сформулированы связанные с этим ключевые рекомендации организаторам производственных информационных процессов и специалистам по разработке, сопровождению и администрированию программного обеспечения.

Ключевые слова: Microsoft, Адресация памяти, архитектура процессора, x86, x64, IA64, 64-битные технологии, разработка ПО, сопровождение ПО, администрирование ПО, сервер.

Введение

Современная обработка информации – это, прежде всего, растущие требования к быстродействию систем при параллельном росте объема обрабатываемых данных [1]. На фоне постоянного совершенствования аппаратной части информационных систем (роста быстродействия процессоров, увеличения объема физической памяти компьютеров) многие традиционные технологии обработки информации неожиданно быстро достигли своих пределов, считавшихся длительное время теоретическими. К таким пределам относится и техническое ограничение 32-битной адресации компьютерной памяти. Преодолеть это ограничение эволюционными методами не представилось возможным, и только внедрение 64-битной адресации позволило радикально изменить количественные и качественные технические характеристики информационных систем, что незамедлительно отразилось также и в существенном улучшении экономических показателей этих систем. В данной статье приводится краткий обзор специфики 64-битных технологий от Microsoft, сопровождающийся рекомендациями кругу специалистов, связанных с дизайном, разработкой, внедрением, сопровождением и администрированием систем на их основе.

Преимущества 64-битной технологии

Для оценки новизны 64-битной технологии (использующей 64-битную адресацию) в области использования памяти компьютеров достаточно сравнить только следующие цифры: до 4.294.967.296 Байт памяти как максимум могут быть использованы процессами, работающими на основе 32-битной технологии, в то время как новый предел составляет 18.446.744.073.709.551.616 Байт – таким количеством памяти располагает каждый процесс, работающий на основе 64-битной технологии, безо всяких дополнительных специальных решений и настроек.

Таким образом, основная отличительная черта 64-битной технологии – это новый предел физической адресации памяти. Именно благодаря этой основной черте и пользователи, и разработчики программного продукта получили в свое распоряжение новые, недоступные ни 32-битной, ни тем более отдаляющейся от нашего времени 16-битной технологиям преимущества.

Прежде всего, пользователи 64-битных систем располагают новыми сценариями производственных процессов, пришедшими вместе с отменой ограничений на использование памяти в условиях 32-битной адресации памяти. Нельзя не отметить и существенный рост показателей быстродействия программного обеспечения: очевидно, что прямой обмен информацией между центральным процессором (или процессорами) и памятью – без более «медлительных посредников» типа дисковых накопителей, сетевых адаптеров и пр. – является наиболее быстрым способом обмена информацией. Поскольку стоимость и время разработки программ при использовании 64-битной технологии существенно сокращаются, значительно улучшаются такие ключевые экономические показатели внедрения, как возврат инвестиций (ROI) и пр. Наконец, нельзя не упомянуть продолжающуюся поддержку многих продуктов и модулей, созданных на базе 32-битной технологии, но поддерживаемых в среде 64-битных информационных систем – таким образом гарантируется рентабельность уже осуществленных капиталовложений в решения предыдущего информационно-технического поколения.

Системные администраторы и организаторы производства выигрывают благодаря 64-битной технологии, главным образом, вследствие сокращения общего количества оборудования, необходимого для обеспечения работоспособности информационных систем (консолидирование серверного парка).

Архитекторы, дизайнеры и инженеры программного продукта вкупе с сопровождающим их персоналом, обеспечивающим контроль качества (тестеры), внедрение и сопровождение разработок, также находятся в выигрыше от перехода на 64-битные технологии: благодаря «плоской» адресации памяти для размещения и обработки в памяти компьютера гигантских, прежде немыслимых объектов и фрагментов данных на второй план отошли затраты на необходимые разработки специальных операций по оптимизации использования адресного пространства с учетом ограничений 32-битных технологий. Резервирование областей памяти для хранения и обработки в памяти монолитных объектов размером более 4 Гигабайт предполагает новые, более экономичные стратегии, сценарии и алгоритмы программного продукта, освобождающие ресурсы разработки для их использования в области реализации предметных проблем, нежели расходуемые на технические решения преодоления физических пределов 32-битной адресации памяти [2].

Новые границы доступа к памяти стали предпосылками для реализации новых подходов и процессов, базирующихся на операциях с большими, до сих пор не реализуемыми разделами памяти: обработка гигантских многомерных массивов данных в Analysis Services, создание комплексных цифровых моделей и пр.

Аппаратная платформа

Решающими предпосылками для развития 64-битных технологий являются аппаратные платформы и архитектуры, поддерживающие 64-битную адресацию памяти. Продукты Microsoft®, ориентированные на использование новой технологии, предусматривают использование либо процессоров традиционной 32-битной архитектуры с 64-битными расширениями („Extended Technology“ – x64 – типа EM64T от фирмы Intel® [3] или AMD64 от фирмы AMD [4]), либо процессоров кардинально новой RISC архитектуры Itanium® фирмы Intel (известной также как IA64) [5].

Процессоры x64 семейства наследуют известную и хорошо освоенную традиционную архитектуру 32-битных процессоров (так называемых x86 процессоров), дополненную усовершенствованиями, осуществляющими 64-битную адресацию памяти. В условиях относительно небольшого расширения словаря машинных команд процессоров этого семейства (заклученного, главным образом, в области доступа к памяти) разработчики программного обеспечения с минимальными затратами переводят свои про-

дукты на использование 64-битной адресации памяти при полной поддержке стандартных x86 процессорных инструкций. Создание компьютерных систем на базе x64 процессоров во многом использует опыт, накопленный в ходе эксплуатации нескольких поколений 32-битных систем, аппаратную совместимость и отшлифованные временем экономические и технические решения.

Тем не менее, не следует забывать, что процессорная архитектура x86 изначально не была предназначена для работы с объектами памяти, выходящими за рамки 32-битной адресации. Задуманный тремя ключевыми игроками рынка информационных технологий (Intel, HP, Microsoft) в начале 90-х годов прошлого века переход к новому уровню работы с компьютерной памятью выразился в основании во многом принципиально новой процессорной RISC архитектуры – Intel Itanium (IA64). Появившись гораздо ранее x64 архитектуры, заявив о себе процессорами Itanium1 и Itanium2 в промышленном масштабе, архитектура IA64 предвосхитила индустриальную эпоху массового применения 64-битной технологии. Основу этой архитектуры составляют не только 64-битные операции с памятью, но и множество специфических функций, разработанных исключительно для усиления эффекта использования нового обращения к памяти: оптимизация загрузки данных в регистровую область памяти процессора, параллелизация работы с памятью – два и более обращений к памяти за один такт работы процессора, кольцевое использование процессорных регистров широкого назначения и пр. [6].

Изначально ориентированные на максимально эффективную работу с большими объемами оперативной памяти, процессоры архитектуры IA64, в свою очередь, не в состоянии непосредственно обрабатывать 32-битные процессорные команды архитектуры x86, что существенно снижает совместимость такого рода компьютерных систем с 32-битными программными приложениями и модулями. Встроенный аппаратный интерпретатор 32-битных команд не обеспечил ожидаемых показателей быстродействия 32-битных приложений на платформе IA64, и в настоящее время специальное программное обеспечение – эмулятор архитектуры x86 для IA64 процессоров (EL32) – осуществляет выполнение x86 команд на уровне процессов ядра. Таким образом, программная эмуляция 32-битной архитектуры на платформе IA64 оказалась более эффективной, чем аппаратное решение [7].

В то время как x64 процессоры используются как для рабочих станций, где доля 32-битных приложений пока еще велика, так и в широком спектре серверных решений, архитектура IA64, первоначально и задуманная для масштабируемых систем, предназначена для сектора систем обработки экстремально больших объемов данных, перенимая эстафету у x64 процессоров по мере роста требований к объему обрабатываемой информации и быстродействию операций. Принципиальное различие архитектур x64 и IA64 процессоров обуславливает абсолютную несовместимость их программного обеспечения на уровне машинных команд между этими двумя платформами: процессы уровня ядра – драйверы устройств, службы и пр. – строго ориентированы на свои целевые архитектуры и не являются взаимозаменяемыми. Этот аспект должен учитываться при выборе или замене аппаратной части информационных систем у конечных пользователей и при определении стратегии разработки программного продукта производителями информационных систем.

Поддержка памяти в операционных системах от Microsoft

Microsoft уже не в первый раз масштабирует доступ к памяти в своих операционных системах. Появившись впервые на рынке операционных систем с 16-битными продуктами, Microsoft впоследствии постепенно перевела их на 32-битную адресацию. Специфика архитектуры операционных систем Microsoft такова, что каждому выполняемому процессу в 32-битной среде доступны всего лишь половина из теоретически

максимально доступных 4 ГБ: 2 ГБ в адресном пространстве каждого процесса резервирует для себя операционная система, и лишь вторые 2 ГБ процесс может использовать для своих нужд самостоятельно [8].

В ходе развития своих 32-битных операционных систем Microsoft расширил объем доступной процессу памяти до 3 ГБ, сократив до 1 ГБ объем памяти, резервируемый операционной системой в адресном пространстве процесса. Это усовершенствование получило название 4 GB Tuning (4GT)[9]. Дальнейшие попытки увеличить объем доступной процессу памяти в среде 32-битных систем являлись узконаправленными решениями, сопряженными с дополнительными ограничениями (Physical Address Extension, PAE) [10].

Вскоре стало ясно, что только переход на 64-битную адресацию памяти позволит решить растущие с каждым днем проблемы «ограничения 4 ГБ». Поддержка 64-битных аппаратных платформ довольно рано стала одной из центральных составляющих глобальной стратегии Microsoft. Уже первые промышленные системы на базе IA64 архитектуры стали основой для разработки и внедрения продуктов линейки операционных систем: Windows Server 2003 Enterprise for IA64 (сервер) и Windows XP Professional for IA64 (выпуск и поддержка которой были, однако, прекращены после остановки производства рабочих станций HP с процессорами Itanium2) [11].

Вышеупомянутый эмулятор x86 архитектуры для IA64 процессоров (EL32) включен в первый сервисный пакет для Windows Server 2003 Enterprise for IA64 и необходим для установки и работы .NET Framework 2.0 и следующих версий этого окружения создания приложений. Через короткий промежуток времени после выпуска Windows Server 2003 Enterprise for IA64 Microsoft выпустил сразу две новых версии операционных систем для x64 процессорной архитектуры: Windows XP Professional x64 Edition для поддержки рабочих станций и Windows Server 2003 x64 Edition для серверного окружения. Любопытно, что ядра обеих этих операционных систем имеют под собой общую базу исходного кода – в отличие от Windows Server 2003 for IA64. Таким образом, ни Windows Server 2003 for x64, ни Windows XP Professional x64 Edition не нуждались в сервисном пакете SP1 (в отличие от более старшей версии для IA64) – он был уже интегрирован.

Начиная с этого момента, Microsoft определился с последующими версиями операционных систем следующим образом:

- каждая следующая версия операционной системы для рабочих станций будет синхронно выпускаться для архитектур x86 и x64;
- каждая последующая версия операционной системы для серверов будет синхронно выпускаться для архитектур x86, x64 и IA64, при этом x86 не входит в долгосрочные стратегические планы для серверных решений;
- поддержка различных архитектур не означает аналогичного набора функций для каждой архитектуры – операционные системы отличаются в этом плане в зависимости от целевой архитектуры;
- программные модули операционных систем не являются взаимозаменяемыми – для каждой из трех поддерживаемых архитектур существует своя индивидуальная, строго ориентированная версия пакета внедрения, не применимая на любой другой архитектуре.

Уже с момента выпуска Windows Vista Microsoft следует вышеизложенным принципам: Windows Vista x86 и Windows Vista x64 появились на рынке одновременно, и сервисные пакеты для них – тоже. В области операционных систем для рабочих станций эта же линия прослеживается и для Windows 7: x86 и x64 вышли на рынок синхронно. На линейке продуктов для серверов последней версией Microsoft операционной системы с поддержкой всех трех архитектур – x86, x64 и IA64 – стала версия Windows Server 2008. Причем следующий малый релиз – Windows Server 2008 R2 – стал первой

версией серверной операционной системы, которая уже не существует для x86 архитектуры и не может быть установлена на ней. Началась новая эпоха серверных операционных систем Microsoft: отныне все серверные операционные системы исключительно 64-битные – для x64 и IA64 архитектур.

Основное преимущество 64-битных операционных систем состоит в новых масштабах доступа к памяти [8]. Это особенно видно в сравнении с подобными характеристиками 32-битной технологии (таблица).

Тип памяти	Ограничения 32-битной Windows	Ограничения 64-битной Windows
Виртуальное адресное пространство пользовательского уровня «User-mode» для 32-битного процесса	2 ГБ (до 3 ГБ для модулей, собранных с параметром IMAGE_FILE_LARGE_ADDRESS_AWARE и при использовании 4GT)	2 ГБ для модулей, собранных без параметра IMAGE_FILE_LARGE_ADDRESS_AWARE (по умолчанию) 4 ГБ для модулей, собранных с параметром IMAGE_FILE_LARGE_ADDRESS_AWARE
Виртуальное адресное пространство пользовательского уровня «User-mode» для 64-битного процесса	Невозможно в принципе	x64: 8 ТБ IA64: 7 ТБ 2 ГБ для модулей, собранных специально с запрещением параметра IMAGE_FILE_LARGE_ADDRESS_AWARE
Виртуальное адресное пространство уровня ядра «Kernel-mode»	2 ГБ или от 1 ГБ до максимально 2 ГБ при использовании 4GT	8 ТБ
Выгружаемый пул «Paged pool»	Ограничен вакантным адресным пространством уровня ядра «kernel-mode» или значением параметра PagedPoolLimit регистра операционной системы. Windows Vista: Ограничен только вакантным адресным пространством уровня ядра «kernel-mode». Начиная с Windows Vista с сервисным пакетом Service Pack 1 (SP1), «paged pool» может быть дополнительно ограничен значением параметра PagedPoolLimit регистра операционной системы. Windows Home Server and Windows Server 2003: 530 МБ Windows XP: 490 МБ Windows 2000: 350 МБ	128 ГБ Windows Server 2003 and Windows XP: до 128 ГБ в зависимости от конфигурации и объема физически установленной оперативной памяти.
Невыгружаемый пул «Nonpaged pool»	Ограничен вакантным адресным пространством уровня ядра «kernel-mode», значением параметра NonPagedPoolLimit регистра операционной системы или объемом физически установленной оперативной памяти. Windows Vista: Ограничен только вакантным адресным пространством уровня ядра «kernel-mode». Начиная с Windows Vista с сервисным пакетом Service Pack 1 (SP1), «paged pool» может быть дополнительно ограничен значением параметра NonPagedPoolLimit регистра операционной системы. Windows Home Server, Windows	Начиная от 75% от объема физически установленной оперативной памяти до максимально 128 ГБ. Windows Vista: начиная от 40% от объема физически установленной оперативной памяти до максимально 128 ГБ. Windows Server 2003 and Windows XP: максимально до 128 ГБ в зависимости от конфигурации и объема физически установленной оперативной памяти.

	Server 2003, and Windows XP/2000: 256 МБ либо 128 МБ при использовании 4GT.	
Системный кэш виртуального адресного пространства	Ограничен вакантным адресным пространством уровня ядра «kernel-mode» или значением параметра SystemCacheLimit регистра операционной системы. Windows Vista: Ограничен только вакантным адресным пространством уровня ядра «kernel-mode». Начиная с Windows Vista с сервисным пакетом Service Pack 1 (SP1), «paged pool» может быть дополнительно ограничен значением параметра SystemCacheLimit регистра операционной системы. Windows Home Server, Windows Server 2003, and Windows XP/2000: 860 МБ при установленном параметре LargeSystemCache регистра операционной системы и при условии неиспользования 4GT; до максимально 448 МБ при использовании 4GT.	Всегда 1 ТБ независимо от объема физически установленной оперативной памяти. Windows Server 2003 and Windows XP: до максимально 1 ТБ в зависимости от конфигурации и объема физически установленной оперативной памяти.

Таблица. Сравнительная характеристика параметров использования памяти для 32-битного и 64-битного семейств операционных систем Windows

Особенности новой модели данных

Изменения в адресации памяти привели к изменению модели данных, взятой за основу в 64-битных версиях операционных систем Microsoft. 32-битные версии Windows оперируют моделью данных, известной как ILP32: типы данных Integer, Long и Pointer имеют длину 32 бита. В среде Windows тип данных Pointer имеет особое значение: его наследуют многие специфические типы данных в операционной системе, например, Window Handle, Module Handle и пр. 64-битная версия Windows оперирует моделью LLP64: типы данных Pointer и LongLong имеют теперь длину 64 бита. В то же время типы Integer и Long сохранили длину 32 бита.

Изменения модели данных повлекли за собой, помимо всего прочего, еще и появление на свет так называемых гибридных типов данных, длина которых зависит от применяемой в настоящий момент адресации памяти. Например, тип данных INT_PTR есть тип данных Integer, имеющий длину, аналогичную длине типа Pointer. Переменная этого типа данных имеет длину, соответствующую адресации памяти версии операционной системы, которая выполняется в настоящий момент: в среде Windows x86 эта переменная будет иметь длину 32 бита, в среде Windows для архитектур IA64 или x64 – длину 64 бита [12].

Поскольку главным отличием между используемыми Windows 32-битной и 64-битной моделями данных является длина указателя на область памяти (фактически – длина адреса ячейки памяти), то одной из важнейших задач для разработчиков программного продукта под Windows при переходе от 32-битной версии к 64-битной является тщательная проверка всех фрагментов кода, связанных с приведением типов данных (Type Casting) и с арифметикой указателей (Pointer Calculation) – здесь возможна потеря данных вплоть до полной неработоспособности программ.

Заполнение и выравнивание данных в памяти (Padding и Alignment)

Не только длина указателя на область памяти отличает работу с данными для 32-битной и 64-битной версии Windows. Размещение данных в памяти компьютера осуществляется не простым последовательным заполнением ячеек памяти, а отвечает требованиям аппаратной платформы к заполнению памяти (как правило, определяемым архитектурой центрального процессора). Каждый тип архитектуры процессора требует выравнивания размещенных в памяти данных согласно определенным интервалам ячеек памяти (Data Alignment). Для процессоров с архитектурой x86 этот интервал имеет длину 4 Б (или 32 бита), для архитектур IA64 и x64 этот интервал равен 8 Б (или 64 бита). Размещение данных в памяти, при котором адреса отдельных переменных или полей структур кратны заранее определенным интервалам, автоматически приводит к появлению неполностью используемых участков памяти. Свободные от данных фрагменты памяти могут быть заполнены нулями или случайными данными. Это заполнение неиспользуемых ячеек памяти (Padding) требует от разработчиков программного продукта понимания разницы типов архитектур используемых процессоров и внимания при использовании арифметики указателей. В качестве примера на рисунке представлено размещение одной и той же комплексной структуры данных в памяти 32-битной и 64-битной Windows (рисунок) [12].

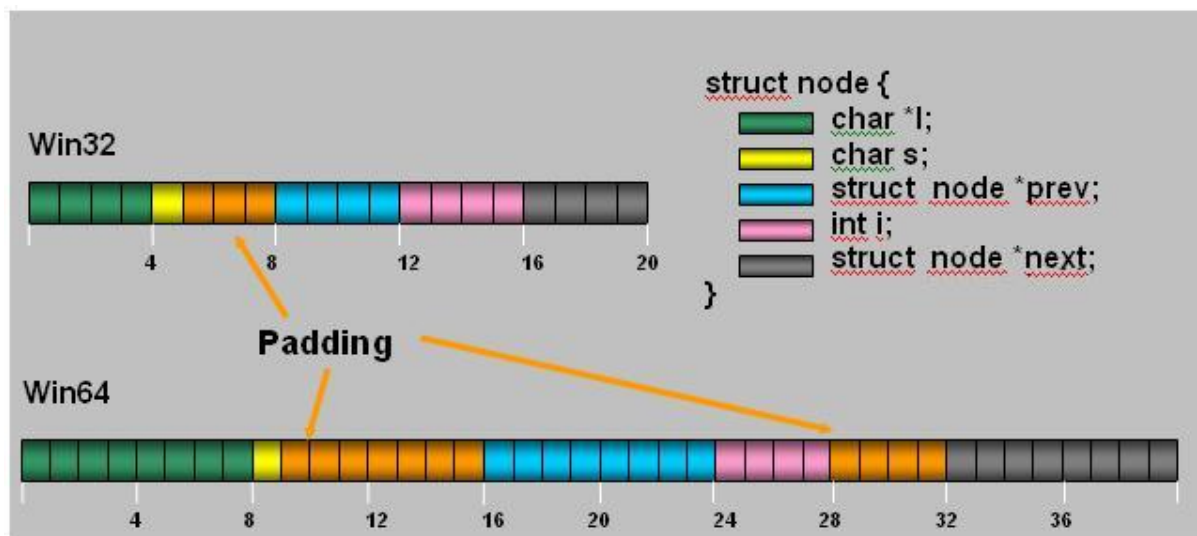


Рисунок. Пример заполнения и выравнивания данных (Padding и Alignment) в 32-битной и 64-битной версии Windows

Нетрудно заметить, что из-за различий в длине некоторых типов данных и в интервалах заполнения ячеек между 32-битной и 64-битной версиями Windows изменяются как общий объем памяти, требуемый для размещения структуры данных, так и относительные адреса доступа к отдельным полям структуры.

Два вывода следуют из вышеизложенного:

- при переводе программного продукта с 32-битной на 64-битную платформу может увеличиться требуемый объем памяти для размещения обрабатываемых данных;
- если программный продукт использует арифметику указателей для динамического доступа к отдельным полям комплексных структур данных, то подобные фрагменты кода должны быть обязательно проверены с учетом различий в интервалах выравнивания данных в памяти компьютера между 32-битной и 64-битной версиями Windows.

Поддержка 32-битных приложений в 64-битных версиях Windows

Мгновенный перевод всего существующего программного обеспечения для Microsoft Windows с 32-битной технологии на 64-битную экономически неоправдан, а зачастую и технически невозможен. В связи с этим Microsoft приняла решение о поддержке 32-битного программного обеспечения в среде 64-битных версий Windows как для архитектуры x64, так и для IA64. Эта поддержка осуществляется за счет встроенной в Windows подсистемы «Windows-On-Windows 64» (WOW64)[13]. Подсистема устанавливается автоматически при установке любой из 64-битных операционных систем (за исключением версии Windows Server 2008 R2 Core, где WOW64 является дополнительным пакетом и требует отдельной установки) и несет ответственность за эмуляцию архитектуры x86 для 32-битных приложений.

Продолжая следовать ограничению в 4 Гб для адресации памяти, 32-битные приложения, тем не менее, могут ослабить фактическое ограничение в 2 Гб (см. выше) и использовать все 4 Гб для размещения и обработки данных (см. в таблице использование параметра IMAGE_FILE_LARGE_ADDRESS_AWARE).

Однако не удалось и избежать некоторых ограничений в условиях поддержки 32-битного программного обеспечения в среде 64-битных версий Windows. В частности:

- Программное обеспечение, содержащие фрагменты 16-битной технологии, не поддерживается, в том числе и 16-битные инсталляционные модули;
- Не поддерживаются 32-битные программные модули уровня ядра. Наиболее важно это ограничение для драйверов устройств – отсутствие 64-битных драйверов для используемой аппаратной архитектуры может сделать невозможным использование части аппаратного обеспечения;
- Размещение и использование программных модулей различных технологий – 32-битной и 64-битной – в адресном пространстве одного процесса невозможно. Особенно важно учитывать, что в связи с этим ограничением 32-битные процессы не могут пользоваться 64-битными динамически подгружаемыми модулями (DLL), и 64-битные процессы, аналогично, не могут пользоваться 64-битными модулями;
- Практически все известные методы передачи информации между процессами поддерживаются в среде 64-битной версии Windows независимо от того, на какой технологии основаны процессы, обменивающиеся информацией: 32-битные процессы могут обмениваться информацией как с 32-битными, так и с 64-битными процессами, 64-битные процессы могут обмениваться информацией как с 64-битными, так и с 32-битными процессами. Тем не менее, следует учитывать различия в моделях данных между 32-битной и 64-битной технологиями во избежание потери или ошибочной интерпретации данных, передаваемых между процессами, основанными на различных технологиях.

Вследствие этого переводу парка информационной инфраструктуры с 32-битных версий Windows на 64-битные версии должны предшествовать подробный анализ используемого 32-битного программного обеспечения и существующих его 64-битных аналогов, прогноз его работоспособности в среде 64-битной версии операционной системы и тестирование используемых сценариев работы в лабораторных условиях.

Драйверы устройств и исполняемые модули

Несмотря на то, что Microsoft в настоящее время поддерживает три архитектуры процессоров – x86, x64 и IA64, модули операционных систем, содержащие исполняемые процессорные команды, не являются взаимозаменяемыми. К таким модулям относятся, в первую очередь, драйверы устройств. Дополнительно к ограничению, изложенному выше (32-битные драйверы устройств и модули уровня ядра не работают на

64-битных платформах), появляется еще одно: 64-битные драйверы для архитектуры процессора x64 не работают на компьютерах, оснащенных процессорами архитектуры IA64, и наоборот. Кроме того, программные модули и динамические библиотеки, содержащие исполняемые команды процессоров архитектуры x64, не работают на компьютерах, оснащенных процессорами архитектуры IA64, и наоборот. Это ограничение не распространяется на следующее программное обеспечение:

- 32-битные приложения, выполняемые в среде подсистемы WOW64, эмулирующей архитектуру x86; такие приложения, как правило, поддерживаются на обеих 64-битных архитектурах (x64 и IA64) с незначительными отличиями;
- Программные модули и библиотеки, содержащие символьный код, преобразуемый в исполняемые процессорные команды непосредственно в момент исполнения – например, модули, созданные с помощью технологии разработки управляемых приложений .NET Framework. Такие модули (при условии использования версии .NET Framework не менее 2.0 и использовании при сборке параметра /platform:anycpu) содержат не исполняемые процессорные команды, а символьный код (MSIL – Microsoft Intermediate Language), который преобразуется в команды процессора в момент выполнения кода специальным модулем операционной системы – JIT компилятором (JIT от Just-IN-Time);
- Программные модули, созданные на основе скриптовых технологий и обрабатываемые в момент исполнения дополнительными средствами – например, интерпретаторами скриптов – при условии работоспособности этих интерпретаторов на конкретной платформе.

Поддержка 32-битных приложений в среде подсистемы WOW64 не распространяется на 32-битные драйверы устройств (как указано выше). Вместо этого появилось новое, дополнительное требование к драйверам, созданным для 64-битных версий Windows: каждый такой драйвер обязан предоставлять свои службы как 64-битным, так и 32-битным приложениям. Для этого было решено расширить номенклатуру сервисов ядра операционной системы и ввести несколько новых функций, позволяющих драйверу определить, является ли обратившийся к нему процесс 32-битным или 64-битным, и соответственно реагировать. Излишне упоминать, что 64-битные драйверы должны поддерживать модели данных для 32-битной и 64-битной технологий (см. выше).

Средства разработки программного обеспечения

Несмотря на существенную разницу по многим ключевым характеристикам как между 32-битной и 64-битной технологиями, так и между 64-битными процессорными архитектурами – x64 и IA64, средства разработки программного обеспечения для всех вышеупомянутых версий и архитектур Windows по-прежнему консолидированы в единые пакеты.

Минимально необходимый пакет для разработки программного обеспечения под операционные системы Windows – Microsoft Windows Platform SDK [14]. Выпускаемый синхронно с каждой новой версией операционной системы, этот пакет содержит все минимально необходимые модули, библиотеки, ресурсы, документацию и примеры для разработки и сопровождения как 32-битного, так и 64-битного программного обеспечения. Кроме того, в области 64-битных технологий Microsoft Windows Platform SDK поддерживает разработку программного обеспечения для обеих процессорных архитектур – x64 и IA64.

Аналогичными пакетами для разработки программного обеспечения, также с полной параллельной поддержкой архитектур x86, x64 и IA64, являются:

- Windows Driver Foundation (WDF) – разработка модулей уровня ядра операционной системы Windows (драйверов и пр.) [15],

– .NET Framework SDK – разработка приложений на основе .NET Framework [16].

Для организации настоящей профессиональной разработки программного обеспечения и управления связанными с этим производственными процессами Microsoft предлагает линейку продуктов Visual Studio, масштабируемую от бесплатной Express Edition до версии Team Suite с Team Foundation Server [17].

Касательно изменений в методике программирования под операционную систему Windows в связи с переходом на 64-битные технологии следует заметить, что отличий от аналогичной методики для 32-битной технологии относительно мало. В основном, эти изменения коснулись модели данных и нескольких связанных с этим служебных функций Windows. Вследствие этого минимизируются экономические затраты перехода к разработке программного обеспечения для 64-битных технологий: отпадают или остаются пренебрежимо малыми расходы на приобретение новых средств разработки, дополнительное обучение и приобретение опыта разработчиками программ.

64-битные продукты Microsoft

В сфере разделения 32-битной и 64-битной технологий Microsoft придерживается несколько отличных друг от друга стратегий развития программного обеспечения для персональных компьютеров и для серверов. Соответственно стратегии о переводе серверных продуктов полностью на 64-битные технологии, уже длительное время практически все продукты серверной линейки от Microsoft выпускаются либо одновременно для 64-битных и 32-битной технологии (например, Microsoft SQL Server 2008, Microsoft BizTalk Server 2009), либо исключительно для 64-битной технологии (например, Microsoft Exchange Server 2007, Microsoft Exchange Server 2010). В перспективе 32-битные версии серверных продуктов не будут больше производиться. Кроме того, существенно отличается поддержка 64-битных архитектур x64 и IA64: широкомасштабная архитектура x64 поддерживается всеми серверными продуктами Microsoft, в то время как список продуктов Microsoft для узкоспециализированной архитектуры IA64 на сегодняшний день состоит практически исключительно из системы управления базой данных Microsoft SQL Server for IA64, впервые выпущенный в 2003 году как версия Microsoft SQL Server 2000 только для архитектуры IA64.

В области программного обеспечения персональных компьютеров еще долгое время будут поддерживаться архитектуры x86 (32-битная технология) и x64 (64-битная технология), но не IA64, ввиду отсутствия персональных компьютеров на ее основе. Начиная с версии 2010, один из наиболее известных и успешных продуктов Microsoft для персональных компьютеров – Microsoft Office – также увидит свет сразу в двух вариантах: для 32-битной и для 64-битной технологий [18].

Ввиду того, что требования к объемам памяти в сфере персональных компьютеров пока существенно ниже аналогичных требований в сфере серверов, а также с учетом широкого спектра существующего 32-битного программного обеспечения Microsoft будет продолжать выпуск 32-битных версий своих продуктов для персональных компьютеров при постоянном расширении выпуска их 64-битных версий.

Заключение

64-битные технологии Microsoft позволяют снять ограничения прежних 32-битных стандартов адресации памяти и предоставляют массу преимуществ для пользователей и специалистов по разработке, сопровождению и администрированию программного обеспечения. Максимально возможные технический и экономический эффекты от внедрения 64-битных технологий могут быть достигнуты лишь при правильном стратегическом подходе как к переводу существующих ландшафтов информационных систем на новые технологии, так и к созданию новых ландшафтов на их основе,

в том числе – при своевременном фундаментальном предварительном ознакомлении с техническими особенностями новых продуктов и методик.

Как стало известно после завершения работы над статьей, Майкрософт официально объявила 02.04.2010 о прекращении поддержки процессоров Itanium (архитектура IA64) в следующих версиях своих продуктов. Существующие версии продуктов для IA64 будут поддерживаться до конца 2011–2013 годов (в зависимости от типа продукта). Параллельно с этим Майкрософт предлагает широкую программу поддержки перевода пользовательских систем с архитектуры IA64 на x64.

Литература

1. Moore's Law Meets Its Match, IEEE Spectrum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spectrum.ieee.org/computing/hardware/moores-law-meets-its-match>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
2. The Benefits of x64 Technology, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microsoft.com/servers/64bit/x64/benefits.mspx>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
3. Intel® 64 Architecture, Intel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intel.com/info/em64t/>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
4. AMD64 Solutions, AMD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.amd.com/us/products/technologies/amd-64/Pages/amd-64.aspx>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
5. INTEL® ITANIUM® PROCESSOR FAMILY, Intel, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intel.com/itcenter/products/itanium/>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
6. Scott Townsend, Itanium® Processor Family Performance Advantages: Register Stack Architecture, Intel, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://software.intel.com/en-us/articles/itaniumr-processor-family-performance-advantages-register-stack-architecture/>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
7. Leonid Baraz, Tevi Devor, Orna Etzion, Shalom Goldenberg, Alex Skaletsky, Yun Wang and Yigal Zemach, IA-32 Execution Layer: a two-phase dynamic translator designed to support IA-32 applications on Itanium®-based systems, Intel [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://software.intel.com/en-us/articles/ia-32-execution-layer-technical-whitepaper/>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
8. Memory Limits for Windows Releases, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa366778%28VS.85%29.aspx>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
9. 4-Gigabyte Tuning, Microsoft [Электронный ресурс], режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb613473%28VS.85%29.aspx>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
10. Operating Systems and PAE Support, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.microsoft.com/whdc/system/platform/server/PAE/pae_os.mspx, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
11. Michael Kanellos, HP discontinues its Itanium workstations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://news.cnet.com/HP-discontinues-its-Itanium-workstations/2100-1006_3-5381398.html, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.

12. Mike Becker, 64-Bit-Technologie von Microsoft, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/de-de/library/bb978906.aspx>, свободный, язык немецкий, последний вход 18.03.2010.
13. Running 32-bit Applications, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa384249%28VS.85%29.aspx>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
14. Windows SDK for Windows Server 2008 and .NET Framework, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?familyid=E6E1C3DF-A74F-4207-8586-711EBE331CDC&displaylang=en>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
15. Windows Driver Foundation (WDF), Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microsoft.com/whdc/driver/wdf/default.mspx>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
16. The .NET Framework, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microsoft.com/net/>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
17. Team Foundation Server Home, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/en-us/teamsystem/dd408382.aspx>, свободный, язык английский, последний вход 18.03.2010.
18. 64-Bit-Editionen von Office 2010, Microsoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://technet.microsoft.com/de-de/library/ee681792%28office.14%29.aspx>, свободный, язык немецкий, последний вход 18.03.2010.

Беккер Михаил Яковлевич – Microsoft Germany GmbH, ведущий консультант, выпускник СПбГУ ИТМО, mbecker@microsoft.com

УДК 004.89

БЫСТРЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД В СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ VISUAL PROLOG

И.А. Бессмертный

В статье обсуждается реализация логического вывода в системах искусственного интеллекта, построенных на продукционной модели знаний, с использованием теоретико-множественных операций в среде программирования Visual Prolog. Предлагается набор предикатов, реализующих быстрое выполнение операций реляционной алгебры. Приводятся результаты натурных экспериментов, подтверждающих существенное, не менее чем на три порядка, ускорение логического вывода для баз знаний с большим числом фактов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, реляционная алгебра, Prolog

Введение

Язык программирования Prolog, имеющий встроенный механизм исчисления предикатов MODUS PONENS, является привлекательным инструментом для построения систем искусственного интеллекта, поскольку конструкции на языке Prolog максимально приближены к логическим выражениям, которыми может быть описана решаемая проблема. Обратной стороной изящности Prolog-программ является их низкая производительность в связи с тем, что резолюция цели достигается путем «наивного» логического вывода, т.е. перебора всех возможных вариантов, а значит, обхода всех ветвей на дереве решений.

Существующие методы ускорения логического вывода в системах искусственного интеллекта, построенных на продукционной модели знаний, связаны с предварительной обработкой правил. Наиболее известным является алгоритм Rete [1], в котором для каждого условия правила строится список фактов, удовлетворяющих данному условию. Списки фактов образуют префиксное дерево, которое должно создаваться для каждого правила. Таким образом, быстродействие обеспечивается многократным дублированием фактов. Узким местом алгоритма Rete является необходимость обновления всех префиксных деревьев при каждой модификации базы фактов, что обуславливает ограниченное применение алгоритма.

В работе [2] предлагается индексация и предварительный отбор фактов, релевантных правилам. Эффективность данного подхода существенно зависит от доли фактов, участвующих в каждом правиле: чем она выше, тем меньше выигрыш от использования индексов.

Необходимость в создании машины логического вывода (интеллектуального агента) предусмотрена в концепции Глобальной семантической сети (Semantic Web) [3], которая базируется на продукционной модели знаний. При этом набор операций над фактами, предусматриваемый в языках представления правил, в частности, SWRL, является ограниченным, поскольку элементами правил (атомами) могут быть только $C(x)$, $P(x, y)$, $sameAs(x, y)$ или $differentFrom(x, y)$, где C – свойство, P – отношение, x, y – переменные [4]. Как показано в работе [2], интерпретация правил может быть заменена операциями реляционной алгебры над кортежами значений переменных, хранящихся в фактах. Хранение фактов и логический вывод могут быть перенесены в среду систем управления базами данных (СУБД). Использование СУБД для построения систем искусственного интеллекта порождает новые проблемы: необходимость трансляции правил в язык запросов SQL, преобразования имен и др. В этой связи представляет интерес логический вывод с использованием реляционных операций в среде языка программирования Prolog как наиболее удобной для манипулирования знаниями.

Реализация быстрых реляционных операций в среде Visual Prolog

Набор базовых операций реляционной алгебры включает в себя пересечение $X \cap Y$ (INTERSECT), вычитание $X - Y$ (DIFFERENCE), объединение $X \cup Y$ (UNION), соединение (JOIN), проекцию, дополнение (NOT) и фильтрацию (WHERE) [5]. Реализация над двумя списками $X = \{x\}$ и $Y = \{y\}$ операций пересечения, разности и объединения предполагает в среднем развертывание $n_x n_y / 2$ вершин дерева поиска (список Y сканируется до первого появления искомого значения), где n_x, n_y – количество фактов в множествах X и Y соответственно. Для операции соединения развертывается $n_x n_y$ вершин, поскольку соединение представляет собой декартово произведение с фильтрацией. Операции дополнения и фильтрации в языке SWRL являются простыми, поскольку здесь не допускается вложенный поиск, и требуют развертывания только n_x вершин.

Ниже приведен текст предиката *list::intersection*, входящего в состав библиотеки *list* языка Visual Prolog 7.2 (<http://www.visual-prolog.com/>). Здесь и далее вместо множеств мы будем говорить о списках. Во-первых, список – это агрегат данных, которым манипулирует Prolog; во-вторых, списки допускают повторяющиеся значения, сохранение которых необходимо в некоторых операциях.

predicates

intersection: (Elem ListA, Elem* ListB) → Elem* IntersectionAB.*

clauses

intersection([], _) = [].

intersection([X|Xs], Ys) = [X|intersection(Xs, Ys)]:-

$isMember(X, Ys), !.$
 $intersection([Xs], Ys) = intersection(Xs, Ys).$

Предикат $list::isMember$ вызывает извлечение в среднем $n_y/2$ элементов списка Y , для каждого элемента списка X , что и обуславливает низкую скорость работы данного предиката.

Отсортируем списки $X=\{x\}$ и $Y=\{y\}$ по возрастанию значений. В этом случае оба списка можно обрабатывать совместно, и дерево поиска будет состоять из n_x+n_y вершин. Таким образом, ожидаемое ускорение обусловлено переходом от квадратичной к линейной зависимости сложности поиска от числа фактов. Предикат нахождения пересечения отсортированных списков $intersectSorted$ представлен ниже.

predicates

$intersectSorted : (Elem * ListX, Elem * ListY) \rightarrow Elem * IntersectionXY.$

clauses

$intersectSorted([], _) = [] :- !.$

$intersectSorted(_, []) = [] :- !.$

$intersectSorted([Y|Xs], [Y|Ys]) = [Y|intersectSorted(Xs, [Y|Ys])] :- !.$

$intersectSorted([X|Xs], [Y|Ys]) = intersectSorted([X|Xs], Ys) :- X > Y, !.$

$intersectSorted([X|Xs], [Y|Ys]) = intersectSorted(Xs, [Y|Ys]).$

Похожим образом реализуется операция вычитания множеств $X-Y$ $differenceSorted$:

predicates

$differenceSorted : (Elem * ListX, Elem * ListY) \rightarrow Elem * ListXExceptListY.$

clauses

$differenceSorted([], _) = [] :- !.$

$differenceSorted(R, []) = R :- !.$

$differenceSorted([X|Xs], [X|Ys]) = differenceSorted(Xs, [X|Ys]) :- !.$

$differenceSorted([X|Xs], [Y|Ys]) = [X|differenceSorted(Xs, [Y|Ys])] :- X < Y, !.$

$differenceSorted([X|Xs], [_Y|Ys]) = differenceSorted([X|Xs], Ys).$

Операция объединения множеств состоит из суммы двух вычитаний множеств плюс их пересечение:

$$X \cup Y = (X - Y) + (Y - X) + (X \cap Y),$$

т.е. требует пять операций. Создание отдельного предиката $unionSorted$ для операции объединения позволит сократить размерность данной задачи:

predicates

$unionSorted : (Elem * ListX, Elem * ListY) \rightarrow Elem * UnionXY.$

clauses

$unionSorted([], R) = R :- !.$

$unionSorted(R, []) = R :- !.$

$unionSorted([X|Xs], [X|Ys]) = unionSorted(Xs, [X|Ys]) :- !.$

$unionSorted([X|Xs], Ys) = [X|unionSorted(Xs, Ys)].$

Наиболее часто в процессе интерпретации условий правил требуется соединение двух множеств кортежей (x_1, x_2, x_m) и $(y_1, y_2, \dots, y_k)$ по совпадению значений переменных $x_i = y_j$. В реляционной алгебре данной функции соответствует операция INNER JOIN. Количество развертываемых вершин дерева поиска для данной операции в случае наивного вывода составляет $n_x n_y$, а для соединения отсортированных списков

$$N = n_x + n_y + SUM(n_{xi} n_{yj}, x_i = y_j, (n_{xi} > 1 \vee n_{yj} > 1)), \quad (1)$$

где n_{xi} , n_{yj} – количество повторяющихся значений в первом и втором списке соответственно. Если пренебречь возможностью повторения одних и тех же значений в обоих списках ($n_{xi} > 1 \wedge n_{yj} > 1$), а также случаями ($n_{xi} > 1 \wedge n_{yj} = 0$) и ($n_{xi} = 0 \wedge n_{yj} > 1$), то формулу (1) можно упростить:

$$N = n_x + n_y + d_x + d_y, \quad (2)$$

где d_x, d_y , – число дубликатов значений в списках X и Y соответственно. Ниже представлен текст предиката, реализующего данную операцию над двумя множествами кортежей $\{(x_1, x_2)\}$ и $\{(y_1, y_2)\}$ по совпадению $x_1 = y_1$.

predicates

$innerJoinSorted:(t\{X,X\} * ListX, t\{X,X\} * ListY, t\{X,X,X\} * JoinXY) \rightarrow t\{X,X,X\} * JoinXYfinal.$

$innerJoinSorted1:(t\{X,X\}, t\{X,X\} *, t\{X,X\} *, t\{X,X,X\} *) \text{ procedure } (i,i,o,o).$

clauses

$innerJoinSorted([], _, Final) = Final :- !.$

$innerJoinSorted([t(X1,X2)|Xresidue], Y, In) = innerJoinSorted(Xresidue, YtoLookUp, Out) :-$

$innerJoinSorted1(t(X1, X2), Y, YtoLookUp, XY),$

$Out = list::append(XY, In).$

$innerJoinSorted1(_, [], [], []) :- !.$

$innerJoinSorted1(t(X1, X2), [t(Y1, Y2)|Yresidue], [t(Y1, Y2)|Yresidue], []) :- X1 < Y1, !.$

$innerJoinSorted1(t(X1, X2), [t(Y1, _)|Yresidue], YlookUp, XY) :-$

$X1 > Y1, !,$

$innerJoinSorted1(t(X1, X2), Yresidue, YlookUp, XY).$

$innerJoinSorted1(t(X1, X2), [t(Y1, Y2)|Yresidue], [t(Y1, Y2)|YlookUp], [t(X1, X2, Y2)|XY]) :-$

$innerJoinSorted1(t(X1, X2), Yresidue, YlookUp, XY).$

В табл. 1 обобщены данные о каждой из реляционных операций и их сложности, измеряемой числом развертываемых вершин дерева поиска.

Операция	Оператор в СУБД	Встроенный предикат в Visual Prolog	Сложность встроенного предиката	Сложность быстрого предиката
Пересечение $X \cap Y$	INTERSECT	$list::intersection$	$n_x n_y / 2$	$n_x + n_y$
Разность $X - Y$	MINUS	$list::difference$	$n_x n_y / 2$	$n_x + n_y$
Объединение $X \cup Y$ $= (X - Y) + (Y - X) + (X \cap Y)$	UNION	$list::union$	$n_x n_y / 2$	$n_x + n_y$
Соединение	JOIN	отсутствует	$n_x n_y$	$n_x + n_y + d_x + d_y$

Таблица 1. Сложность операций реляционной алгебры

Исследование быстродействия

Для исследования быстродействия использовались множества положительных чисел, полученные с помощью генератора случайных чисел. Предикат, формирующий список положительных чисел, представлен ниже.

predicates

$generate : (positive, positive, positive*) \text{ procedure } (i,i,o).$

clauses

$generate(0, _, []) :- !.$

$generate(N, Range, [Num1|Residue]) :- Num1 = math::random(Range),$

$generate(N-1, Range, Residue).$

Наивный логический вывод был реализован итеративными предикатами, приведенными ниже. Здесь $f1(X)$, $f2(X)$ и $f(X)$ – исходные и результирующий факт соответственно.

```

% Пересечение
isec() :- f1(X), f2(X), assert(f(X)), fail.
isec().

% Вычитание
idiff() :- f1(X), not(f2(X)), assert(f(X)), fail.
idiff().

% Соединение
ijoin() :- f1(t(X1,X2)), f2(t(X1,Y2)), assert(f3(t(X1,X2,Y2))), fail.
ijoin().
    
```

Приведенные в табл. 2 и на рис. 1 результаты натурных экспериментов показывают, что логический вывод с использованием реляционных операций над отсортированными множествами на три-четыре порядка быстрее наивного вывода, в то время как предикаты реляционной алгебры дают ускорение не более, чем на порядок по сравнению с наивным выводом.

Число фактов	100000	200000	400000	800000	1600000
Время сортировки списков, с	3,1	4,5	14,4	30,6	65,89
Время сортировки кортежей, с	3,73	6,5	18,11	36	75
Пересечение списков, наивный вывод, с	360	1536	5800		
Пересечение списков, библи. предикат, с	1400	6530	22605		
Пересечение быстрый предикат, с	0,08	0,15	0,33	0,73	1,41
Объединение списков, библи. предикат, с	2020	7203	22563		
Объединение списков, быстрый предикат, с	0,09	0,28	0,56	1,13	2,13
Вычитание списков, быстрый предикат, с	0,09	0,17	0,36	1,2	2,34
Соединение кортежей, наивный вывод, с	316	1804	6600	23400	
Соединение кортежей, быстрый предикат, с	0,26	0,55	1,4	2,5	5,4

Таблица 2. Результаты натурных экспериментов

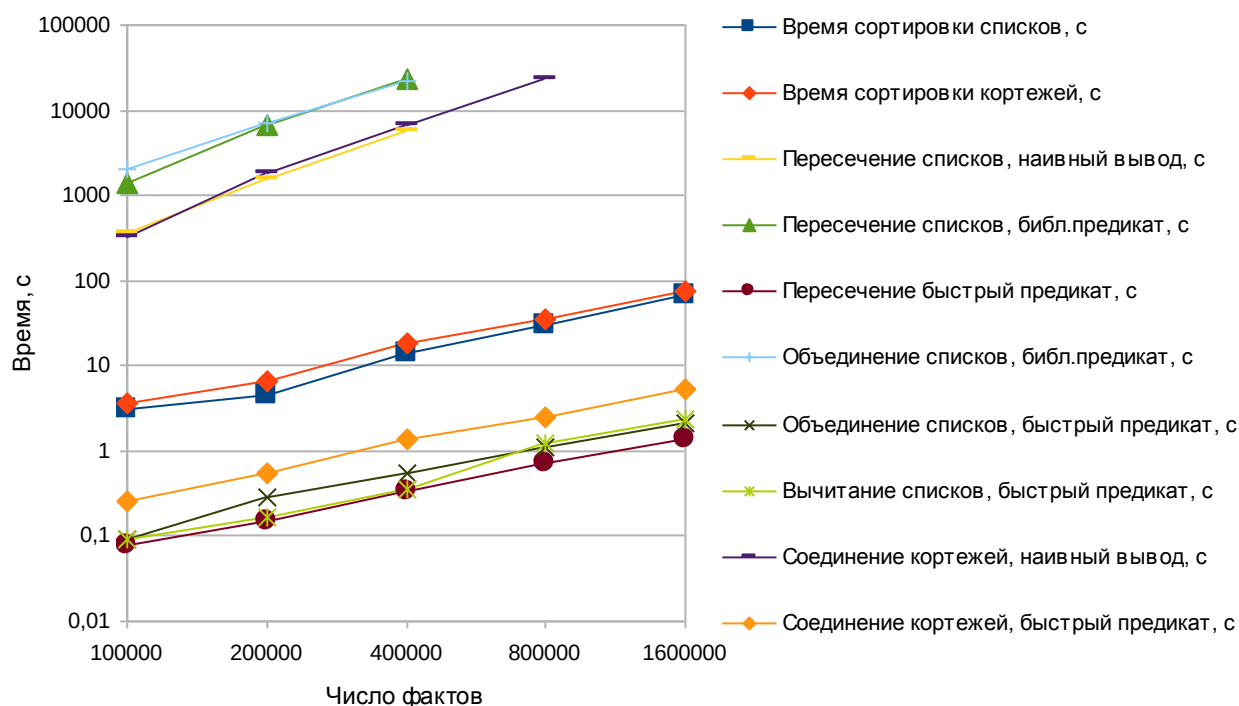


Рис. 1. Результаты натурных испытаний методов логического вывода

Сортировка стандартным предикатом `list::sort` демонстрирует высокую скорость, поэтому даже если считать, что сортировка выполняется перед каждой реляционной операцией, выполнение таких операций над отсортированными списками более чем на два порядка быстрее, чем наивный логический вывод.

Предложенные здесь Prolog-предикаты не требуют больших объемов оперативной памяти, поскольку во всех предикатах хвостовая рекурсия (*tail recursion*) отсутствует. Объем памяти, занимаемый тестовой программой за вычетом памяти для хранения базы фактов, в течение всего процесса обработки тестовых фактов не превышает 10 Мб.

Натурные испытания позволили также проверить применимость формул, приведенных в табл. 1, для оценки времени вывода в предположении о том, что время вывода

$$T = tN, \quad (3)$$

где t – время развертывания одной вершины дерева поиска, N – число вершин. Рис. 2 и 3 демонстрируют, что данная формула может применяться как для наивного логического вывода, так и для операций реляционной алгебры, причем время t составляет порядка 4×10^{-8} с для наивного вывода, $2,85 \times 10^{-7}$ с для стандартных предикатов, реализующих реляционные операции, и $4,4 \times 10^{-7}$ с для быстрых предикатов.

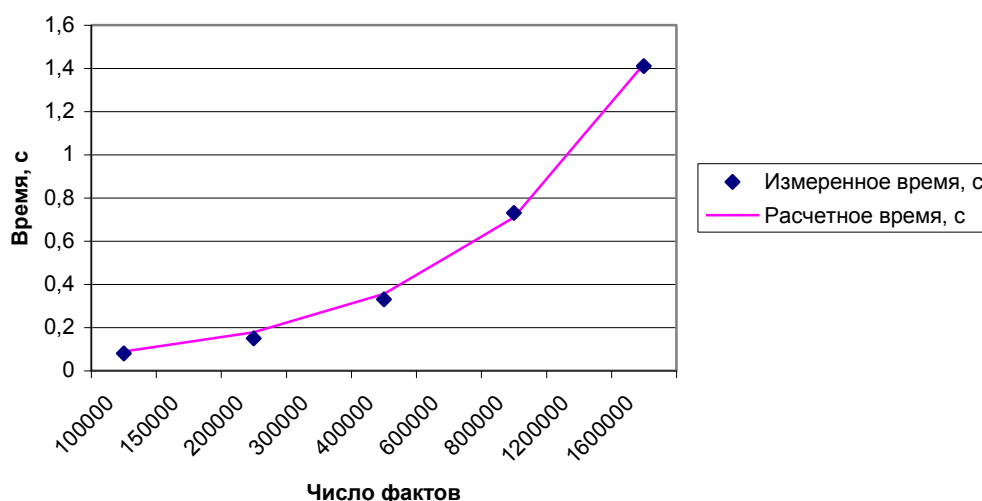


Рис. 2. Сравнение измеренного и расчетного времени вывода для операции быстрого пересечения

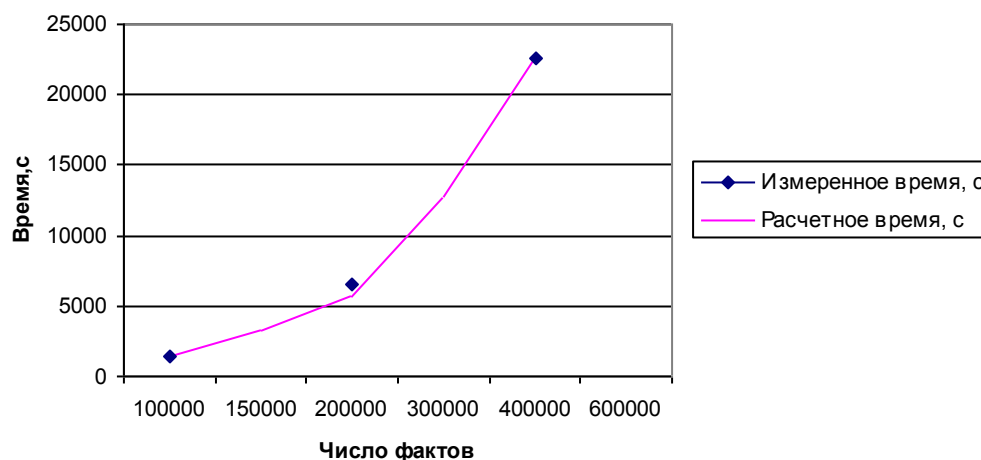


Рис. 3. Сравнение измеренного и расчетного времени вывода для операции `list::intersection`

Заключение

Замена наивного логического вывода операциями реляционной алгебры дает возможность решить проблему комбинаторной сложности задач поиска в системах искусственного интеллекта, построенных на продукционной модели знаний и, в частности, для создания интеллектуальных агентов для поиска решений в Глобальной семантической сети. В данной работе доказано, что среда программирования Prolog позволяет создавать эффективные предикаты, реализующие реляционные операции с высокой скоростью. На базе подхода, испытанного на базовых операциях реляционной алгебры, могут быть разработаны простые и эффективные предикаты для прочих операций, необходимость в которых может появиться при разработке интеллектуальных агентов для Глобальной семантической сети. Предикаты для операций реляционной алгебры, апробированные в среде Visual Prolog, могут быть перенесены на другие диалекты языка Prolog.

Литература

1. Forgy C.L. RETE: A fast algorithm for the many pattern / many object pattern match problem // Artificial Intelligence. – 1982. – Vol. 19. – P. 17–37.
2. Бессмертный И.А. Теоретико-множественный подход к логическому выводу в базах знаний // Научно-техн. вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 2. – С. 43–49.
3. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web // Scientific American Magazine. – May, 2001.
4. SWRL: A Semantic Web Rule Language. Combining OWL and RuleML. W3C Member Submission 21 May 2004 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>, своб.
5. Дейт Дж. Введение в системы баз данных. – 8-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1328 с.

Бессмертный Игорь Александрович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, igor_bessmertny@hotmail.com

5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ
В АВИАНИКЕ*(к 30-летию базовой кафедры машинного проектирования
бортовой электронно-вычислительной аппаратуры СПбГУ ИТМО)*

УДК 681.324

КРИТЕРИЙ ПОДОБИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ
ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ В АВИАНИКЕ

Ю.И. Сабо, И.О. Жаринов

Рассматриваются методологические основы направленного проектирования авиационной техники с целью обеспечения практического подобия объектов разработки требованиям тактико-технического задания на примере разработки комплексов бортового оборудования, выполненных в соответствии с основными положениями концепции интегрированной модульной авионики.

Ключевые слова: бортовое оборудование, критерий подобия, мера близости.

Введение

Синтез бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭО) представляет собой проектную процедуру, целью которой является соединение различных элементов, свойств, сторон объекта проектирования в единое целое – комплекс. В результате синтеза создаются проектные решения, обладающие новым качеством относительно своих элементов [1]. Среди всех подходов к решению задачи синтеза наибольшее распространение получили различные методы, принадлежащие к классу комбинаторно-логических. В основе этого подхода лежит организованный перебор в массиве проектных решений, которые между собой являются аналогами. Если четко ограничить требованиями Ξ^* тактико-технического задания (ТТЗ) характеристики Ξ объекта проектирования, то множество проектов данной направленности разработки образует класс, который на структурном уровне описания можно рассматривать как обобщенную структуру в общем маршруте проектирования, показанном на рис. 1. Обобщенная структура представляет собой «комбинаторное пространство», в котором находятся различные сочетания элементов, образующих множество структур с тем или иным уровнем подобия требованиям ТТЗ.

Задача синтеза БРЭО формулируется как оптимизационная задача достижения практического подобия, требующая разработки критерия $\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*)$, системы ограничений $\langle \xi_i \nabla \xi_i^* \rangle, \xi_i \in \Xi, \xi_i^* \in \Xi^*, \nabla \in \{\leq, <, =, \geq, >\}$ и метода решения с целью обеспечения $\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*) \rightarrow \min$.

Релевантные параметры объекта проектирования

Процедура проектирования БРЭО начинается с высшего уровня – уровня главного конструктора. Главный конструктор оперирует относительно небольшим числом существенно значимых параметров (критериев) проекта $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{\zeta}$, поэтому на каждом иерархическом уровне проектирования множество всех параметров $\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\psi}\}$ для составляющих объекта проектирования рассматривается [2] как совокупность $\Psi = \{\hat{\Psi}, \check{\Psi}\}$ множества существенных параметров $\hat{\Psi} = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\hat{\psi}}\}$ и множества второстепенных параметров $\check{\Psi} = \{\psi_{\check{\psi}+1}, \psi_{\check{\psi}+2}, \dots, \psi_{\psi}\}$, таких, что всегда найдется некоторая

малая скалярная величина ε (мера вклада), для которой $\xi_i(\Psi) = \xi_i(\hat{\Psi}, \varepsilon \check{\Psi})$ или, при $\varepsilon \rightarrow 0$, $\xi_i(\Psi) = \xi_i(\hat{\Psi}, \varepsilon \check{\Psi}) \approx \xi_i(\hat{\Psi}, 0 \check{\Psi}) \approx \xi_i(\hat{\Psi})$.

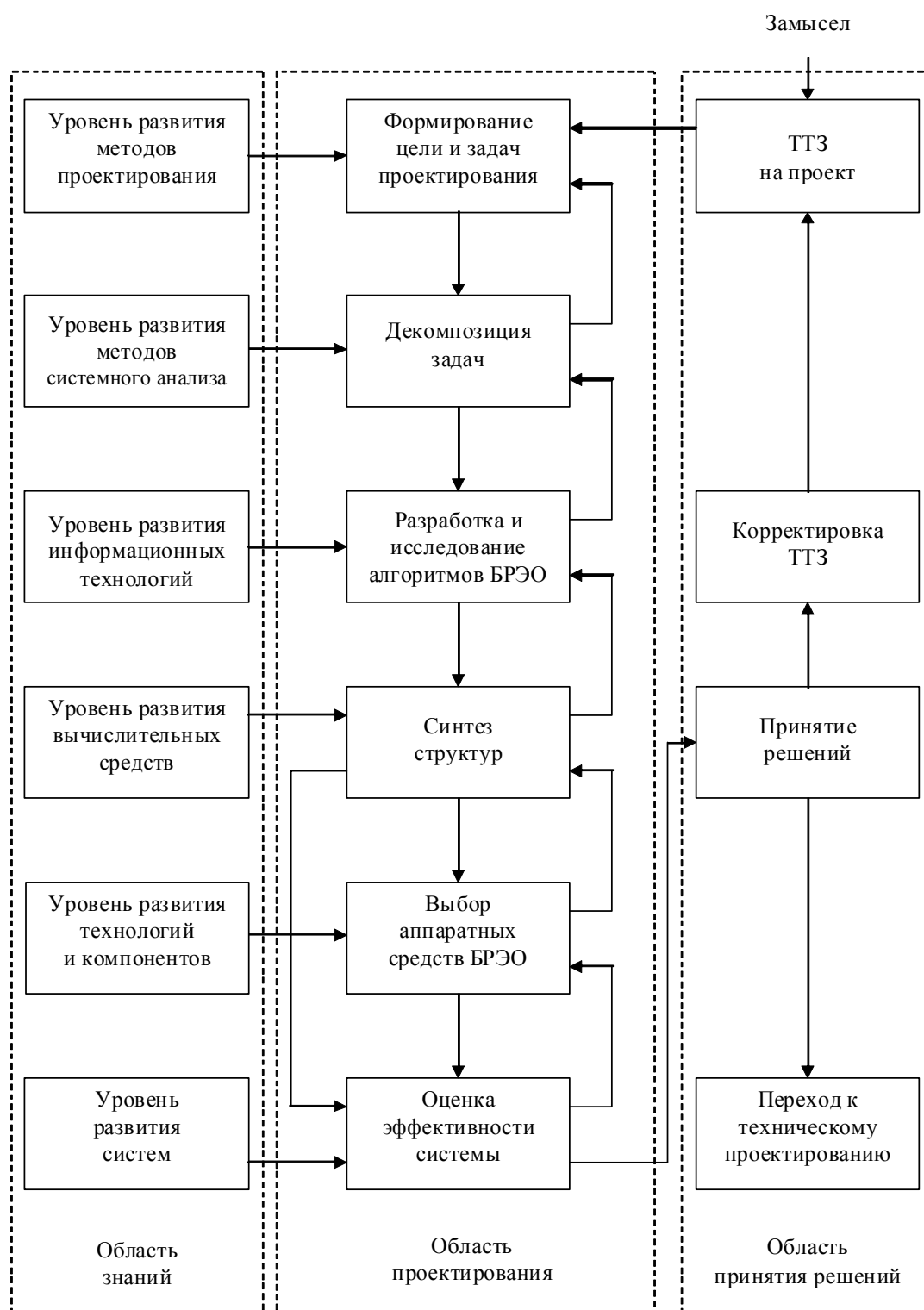


Рис. 1. Маршрут системного проектирования БРЭО

В итоге в модель проекта включаются только те компоненты $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\varsigma \in \Xi$, которые являются существенными (релевантными) по отношению к цели проектирования. Рабочая функция проектирования БРЭО в этом случае определяется как

$$F(\xi_1(\Psi, 0), \xi_2(\Psi, 0), \dots, \xi_\zeta(\Psi, 0)) \approx F(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi)) \rightarrow \min.$$

Если воспользоваться геометрическими аналогиями (рис. 2), то задача синтеза представляется как задача поиска в ζ -мерном действительном пространстве параметров такой точки (набора из ζ значений параметров $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\zeta$), для которой либо просто выполняются требования ТТЗ, либо выполняются наилучшим образом.

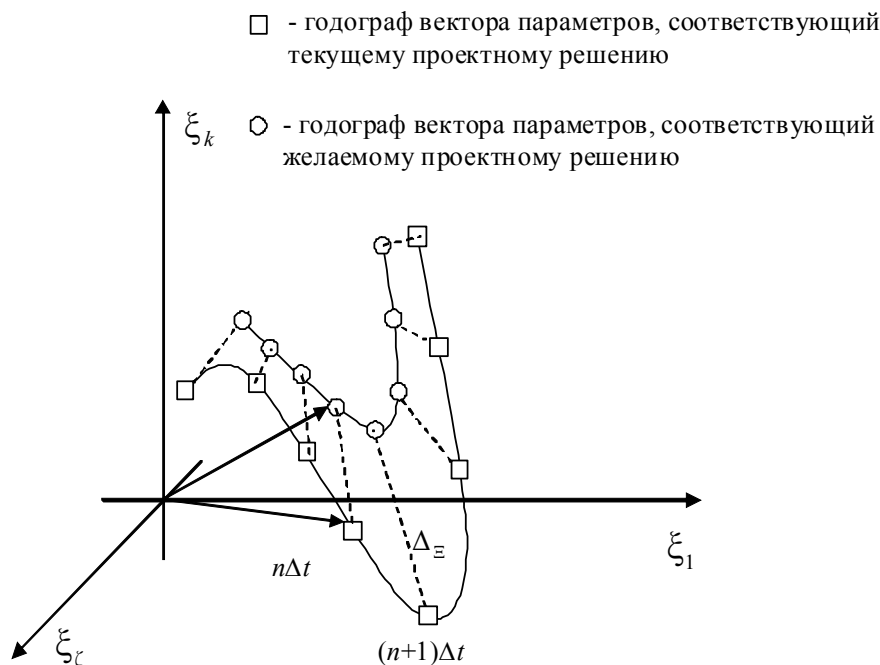


Рис. 2. Геометрическое представление длины вектора и оценка близости текущего проектного решения желаемому (заданному по ТТЗ) в векторном пространстве

В первом случае требуется, чтобы решение задачи синтеза принадлежало некоторой замкнутой и ограниченной области пространства параметров. Во втором случае решение представляет собой точку пространства, наилучшую по критерию оптимальности $\Delta_\Xi \rightarrow \min$, который формализует понятие наилучшего выполнения соответствия объекта проектирования требованиям ТТЗ. Если разработана математическая модель объекта проектирования, то по постановке и методам решения задача синтеза в первом случае сводится, а во втором случае является задачей оптимизации, обеспечивающей выполнение условия

$$\left| F(\xi_1^j, \xi_2^j, \dots, \xi_\zeta^j) - F^*(\Xi^*) \right| \leq \Delta_\Xi(\Xi - \Xi^*),$$

где Δ_Ξ – неотрицательно определенная мера близости функционального обеспечения выбранного j -го варианта БРЭО по отношению к наилучшему Ξ^* (заданному по ТТЗ).

Критерий подобия проектных решений

Идея оптимизации [3, 4] состоит в том, чтобы, начав с любой проектной альтернативы, приближаться к $(\xi_1^*, \xi_2^*, \dots, \xi_\zeta^*)$ по некоторой спиралевидной траектории в пространстве параметров $\Xi = A\Psi$, где A – матрица линейного преобразования параметров, что достигается введением числовой меры близости. Евклидова метрика оценки близости текущей проектной точки с координатами $(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi))$ к «идеальной точке» $(\xi_1^*, \xi_2^*, \dots, \xi_\zeta^*)$, являющейся решением задачи синтеза, определяется как

$$\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*) = \sqrt{\sum_{i=1, j=1}^{\zeta} (\xi_i(\Psi) - \xi_j^*) \gamma_{ij} (\xi_i(\Psi) - \xi_j^*)},$$

где $\gamma = [\gamma_{ij}]$ — положительно определенная матрица. В частном случае, если $\gamma = [\gamma_{ij}]$ — матрица единичного вида, вводится метрика

$$\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*) = \sqrt{\sum_{i=1}^{\zeta} (\xi_i(\Psi) - \xi_i^*)^2}$$

либо

$$\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*) = \min_i \{ \wp_i (\xi_i(\Psi) - \xi_i^*) \} + \wp_{\zeta+1} \sum_{i=1}^{\zeta} \wp_i (\xi_i(\Psi) - \xi_i^*),$$

при этом считается, что $\xi_i(\Psi) \geq \xi_i^*$; $\wp_{\zeta+1}$ определяет цель проектирования — уменьшать оценку близости к желаемым значениям любого из частных показателей или суммарную близость всех критериев к их целевым значениям.

Если часть требований ТТЗ ограничивает критерии снизу, $\xi_i(\Psi) \geq \xi_i^*$, $i=1, 2, \dots, m_1$, часть — сверху, $\xi_i(\Psi) \leq \xi_i^*$, $i = m_1+1, m_1+2, \dots, m_2$, а часть задает требования ТТЗ жестко, $\xi_i(\Psi) = \xi_i^*$, $i=m_2+1, m_2+2, \dots, \zeta$, метрика $\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*)$ приводится к виду

$$\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*) = \min_i \{ L(\xi_i, \xi_i^*) \} + \wp_{\zeta+1} \sum_{i=1}^{\zeta} L(\xi_i, \xi_i^*),$$

$$L(\xi_i, \xi_i^*) = \begin{cases} \wp_i (\xi_i(\Psi) - \xi_i^*), & 1 \leq i \leq m_1, \\ \wp_i (\xi_i^* - \xi_i(\Psi)), & m_1 + 1 \leq i \leq m_2, \\ \wp_i \min \{ (\xi_i(\Psi) - \xi_i^*) (\xi_i^* - \xi_i(\Psi)) \}, & m_2 + 1 \leq i \leq \zeta. \end{cases}$$

Выражения для $\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*)$ определяют систему зависимостей для критерия подобия, отражающих цели проектирования по методу целенаправленного выбора и связывающих релевантные для данной цели параметры объекта проектирования и требования ТТЗ на него. Наибольшее распространение на практике получила [5] квадратичная мера:

$$\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*) = \sum_{i=1}^{\zeta} (\xi_i(\Psi) - \xi_i^*)^2.$$

Задача проектировщика сводится в данном случае к назначению допустимых границ используемых показателей и собственно организации процесса проектирования.

В общем случае (см. рис. 2) векторы Ψ и Ξ являются функциями времени $\Psi(t)$, $\Xi(t)$ и определяют развивающуюся модель объекта проектирования. При изменении $0 \rightarrow t \rightarrow \infty$ конец вектора $\Xi(t)$ в пространстве релевантных параметров формирует годограф, форма которого определяется $\Xi(t)$. Расстояние между годографами параметров модели объекта проектирования $\Xi(t)$ и их желаемых значений Ξ^* на бесконечном,

$$\Delta_{\Xi}^{\infty}(\Xi - \Xi^*) = \int_0^{\infty} (\Xi(t) - \Xi^*) dt,$$

или конечном,

$$\Delta_{\Xi}^t(\Xi - \Xi^*) = \int_0^t (\Xi(\tau) - \Xi^*) d\tau,$$

интервале определяет степень соответствия релевантных параметров БРЭО и требований ТТЗ на его разработку в качестве критерия подобия.

Задача минимизации критерия подобия Δ_{Ξ} при квадратичной мере $\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*)$ сводится к минимизации суммы квадратов отклонений

$$\sum_{i=1}^{\zeta} (\xi_i(\Psi) - \xi_i^*)^2 \rightarrow \min,$$

или

$$\begin{aligned} \Delta_{\Xi} &= \left(F^k(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{\zeta}) - F^*(\xi_1^*, \xi_2^*, \dots, \xi_{\zeta}^*) \right) = \\ &= \sum_{i=1}^{\zeta} \wp_i \left(\xi_i(\Psi(\mathbf{S}_k)) - \xi_i^* \right)^2 = \sum_{i=1}^{\zeta} \wp_i \left(\sum_{j=1}^{\Psi} a_{ij} \psi_j(\mathbf{S}_k) - \xi_i^* \right)^2 \rightarrow \min, \end{aligned}$$

где $\wp_i$ – элемент вектора концепций по параметру ξ_i БРЭО; ψ_i – значение векторного параметра, определяющее соответствующий технико-экономический показатель частной аппаратуры $\mathbf{S}_k$, входящей в БРЭО; a_{ij} – элемент матрицы линейного преобразования $\Xi = A\Psi$; ξ_i^* – заданное в ТТЗ значение (желаемое) параметра ξ_i БРЭО, состоящего из s подсистем. В соответствии с [6] задача $\Delta_{\Xi}(F^k(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{\zeta}) - F^*(\xi_1^*, \xi_2^*, \dots, \xi_{\zeta}^*)) \rightarrow \min$ поиска экстремума квадратичного критерия подобия $\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*)$ сводится к задаче, в которой минимизируется сумма квадратов отклонений

$$\Delta_{\Xi}(\mathbf{B}) = \sum_{i=1}^{\zeta} \left(\xi_i^* - \sum_{j=1}^{\Psi} b_j a_{ij} \right)^2 = (\Xi^* - A\mathbf{B})^T (\Xi^* - A\mathbf{B}) \rightarrow \min,$$

имеющей решение по методу наименьших квадратов с использованием неопределенных множителей Лагранжа [6]. Минимум $\Delta_{\Xi}(\mathbf{B})$ достигается при дифференцировании $\Delta_{\Xi}(\mathbf{B})$ по $\mathbf{B}$:

$$\frac{\partial \Delta_{\Xi}(\mathbf{B})}{\partial \mathbf{B}} = -2A^T \Xi^* + 2A^T A\mathbf{B} = 0.$$

Если матрица $(A^T A)^{-1}$ не вырождена, то, умножив уравнение $2A^T \Xi^* - 2A^T A\mathbf{B} = 0$ слева на матрицу $(A^T A)^{-1}$, получим вектор наилучших оценок в виде

$$\mathbf{B}_{\text{мнк}} = (A^T A)^{-1} A^T \Xi^*.$$

Таким образом, задача проектирования в этом случае решается отысканием автоматизированным способом комбинации элементов $\Xi = A\Psi$, в совокупности удовлетворяющих требованиям ТТЗ и наиболее близко соответствующих критерию $\Delta_{\Xi}(\Xi - \Xi^*) \rightarrow \min$ оптимальности проекта.

Заключение

Предложенный критерий подобия проектных решений требованиям ТТЗ был апробирован на практике при разработке изделий авиационной промышленности в ФГУП СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П. А. Ефимова в классах:

– пультов управления и индикации ПУИ,

- многофункциональных цветных индикаторов МФЦИ,
- бортовых вычислительных машин БЦВМ.

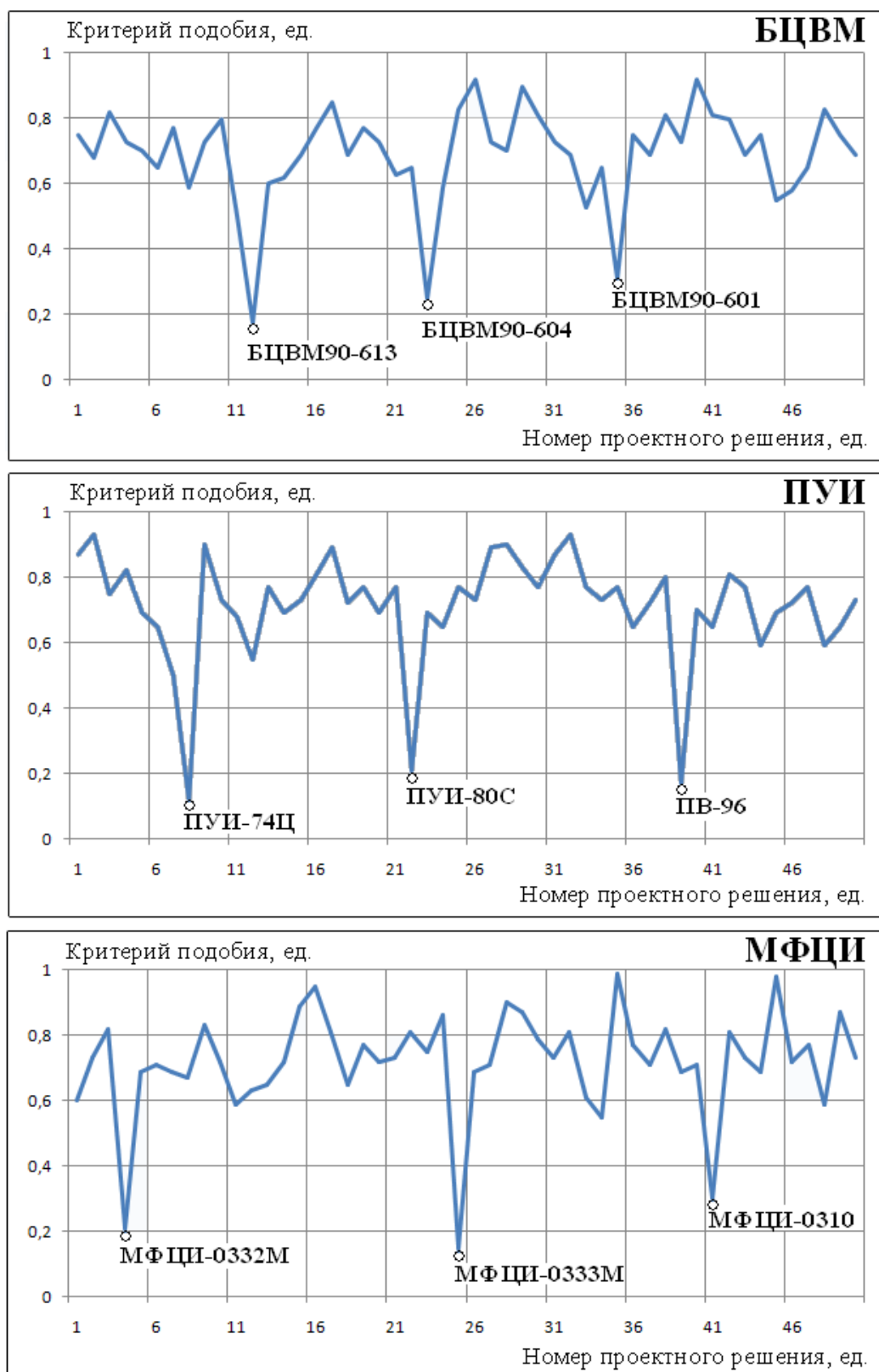


Рис. 3. Результаты моделирования при выборе проектного решения бортового оборудования

Результаты математического моделирования и выбора проектных решений представлены на рис. 3. Как следует из рис. 3, массив проектных решений может быть составлен в кортеж по предпочтениям, в котором определяются наиболее близкие требованиям ТТЗ варианты проектных альтернатив по критерию подобия. В частности, отмечены номера проектных решений изделий класса БЦВМ (бортовых цифровых вычислительных машин), получивших внедрение в промышленную эксплуатацию: БЦВМ90-613, БЦВМ90-604, БЦВМ90-601. Аналогично производился выбор при проектировании в классе изделий ПУИ (пульты управления и индикации) – проектные решения: ПУИ-74Ц, ПУИ-80, ПВ96, и в классе multifunctional цветных индикаторов МФЦИ – проектные решения: МФЦИ-03332М, МФЦИ-0333М, МФЦИ-0310.

Литература

1. Божко А.Н., Толпаров А.Ч. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.techno.edu.ru:16001/db/msg/13845.html>, свободный, язык русский, дата обращения 10.01.2010.
2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 488 с.
3. Губанов В.С. Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астрономии. – СПб: Наука, 1997. – 318 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
5. Курочкин С.А. Методология проектирования информационно-измерительных систем тренажеров подвижных наземных объектов / Автореферат диссертации ... доктора техн. наук по спец. 05.11.16. – Тула, 2007. – 40 с.
6. Чебраков Ю.В. Теория оценивания параметров в измерительных экспериментах. – СПб: СПб ГУ (институт химии), 1997. – 300 с. (серия: Физика, химия и технология материалов. Вып. №1).

Сабо Юрий Иванович

– СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова», главный конструктор, доктор технических наук, профессор, postmaster@elavt.spb.ru

Жаринов Игорь Олегович

– СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова», главный специалист, кандидат технических наук, доцент, igor_rabota@pisem.net

УДК 681.324

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В АВИОНИКЕ

Ю.А. Гатчин, П.П. Парамонов

Рассматриваются методологические основы формирования на множестве проектных решений в авионике подмножества эффективных по Парето решений и выбора наиболее эффективного проектного решения в векторном пространстве частных критериев качества.

Ключевые слова: бортовое оборудование, многопараметрическая оптимизация, множество Парето.

Введение

В работе [1] сформулирована задача параметрического синтеза бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) по множеству частных показателей качества $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\zeta \in \Xi$, задаваемых в тактико-техническом задании (ТТЗ) на его разработку и составляющих вектор Ξ параметров проекта для каждой проектной альтернативы S_i .

Поскольку основная аксиома оценки по нескольким показателям утверждает невозможность строгого математического доказательства существования максимально предпочтительного объекта по всем критериям $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_\zeta$ одновременно (рис. 1), то любое проектное решение из числа недоминирующих (т.е. не являющихся менее предпочтительными по всем показателям сразу) может быть признано в качестве искомого варианта проектирования.

Таким образом, сложность проблемы выбора проектного решения по совокупности показателей связана не столько с трудностями вычислений при генерации проектных решений, сколько с концептуальной обоснованностью методологии выбора «наилучшего» проектного решения при одновременном $\xi_1 \rightarrow \min, \xi_2 \rightarrow \min, \dots, \xi_\zeta \rightarrow \min$. В этой связи актуальным является решение задачи [1] параметрического синтеза БРЭО на множестве эффективных по Парето проектных решений.

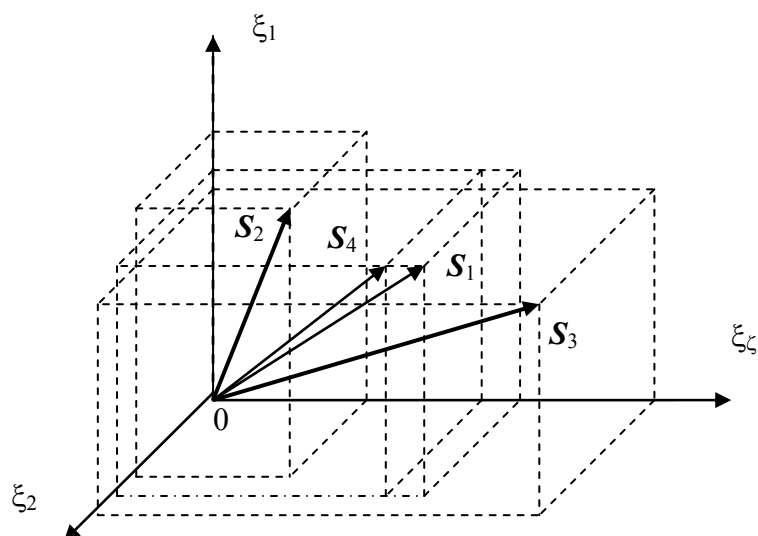


Рис.1. Геометрическое представление вектора параметров БРЭО для четырех различных вариантов S_i проектных решений

Принцип формирования множества эффективных по Парето проектных решений

Способ многокритериальности выбора состоит в отказе от выделения единственной наилучшей альтернативы и соглашении о том, что предпочтение одной альтернативе перед другой можно отдавать, только если первая альтернатива оказывается лучше второй по всем частным показателям. Если предпочтения хотя бы по одному частному критерию расходятся с предпочтениями по другому, то такие альтернативы являются несравнимыми.

В результате попарного сравнения альтернатив все худшие по всем критериям альтернативы отбрасываются, а все оставшиеся несравнимые между собой (недоминируемые) принимаются. Если все минимально достижимые значения частных критериев не относятся к одной и той же альтернативе, то принятые альтернативы образуют множество Парето.

Актуальность приближенного построения множества Парето обусловлена принципом Эджворта [2], согласно которому при «разумном» поведении лица, принимающего решение – главного конструктора проектной организации – выбор решения следует производить на основе множества Парето [3]. Пусть $\xi_i = f_i(\Psi), i = 1, 2, \dots, \zeta$ – значение i -го параметра БРЭО в точке $\Psi^j = \{\psi_1^j, \psi_2^j, \dots, \psi_\psi^j\}, j = 1, 2, \dots, \psi$, полагая, что

$\{\xi_1^j, \xi_2^j, \dots, \xi_\zeta^j\} = \{\xi_1^k, \xi_2^k, \dots, \xi_\zeta^k\}$ тогда и только тогда, когда $j=k$. Упорядоченный список (в порядке убывания) всех проектных решений критериального множества составляет кортеж по предпочтениям $\{\xi_i^j\}, j=1, 2, \dots, N_s$. В результате такого отображения точкам множества допустимых проектных решений соответствует множество точек $\mathbf{K}$ с координатами $\{k^1, k^2, \dots, k^\zeta\}$, каждая из которых принимает целочисленное значение на интервале $[1, 2, \dots, N_s]$. При этом в каждой из гиперплоскостей размерности $\zeta - 1$, параллельных координатам, лежит одна и только одна из точек множества $\mathbf{K}$.

Множество $\mathbf{K}$ лежит в ζ -мерном кубе размером $(N_s - 1) \times (N_s - 1) \times \dots \times (N_s - 1)$. В силу построения любая точка множества $\mathbf{K}$ расположена на пересечении ζ гиперплоскостей размерности $\zeta - 1$, параллельных координатным гиперплоскостям и проходящих через точки $\{k^1, k^2, \dots, k^\zeta\}$. По той же причине из $\|\xi_1^i, \xi_2^i, \dots, \xi_\zeta^i\| \geq \|\xi_1^j, \xi_2^j, \dots, \xi_\zeta^j\|$ следует, что $\|k_i^1, k_i^2, \dots, k_i^\zeta\| \leq \|k_j^1, k_j^2, \dots, k_j^\zeta\|$, а значит, выявление точек, оптимальных по Парето, на множестве значений критериев оптимизации Ξ эквивалентно аналогичной операции на числовом множестве $\mathbf{K}$ по правилам сравнения $\leq$. Тогда среди всех точек множества $\mathbf{K}$, принадлежащих множеству Парето по условию $(\zeta - 1)N_s + 1 \geq k_i^1 + k_i^2 + \dots + k_i^\zeta$, предпочтительными являются те варианты проектных решений, для которых $\sum_{\ell=1}^{\zeta} k_i^\ell > \sum_{\ell=1}^{\zeta} k_j^\ell$.

Таким образом, решение задачи параметрического синтеза, сформулированной в [1], для случая многопараметрической оптимизации [4] проектных решений, составляет $F^*(\Xi^*) = \min_{\Psi \in G_\Psi} \{F(\Xi(\Psi))\}$, где Ψ – вектор варьируемых параметров аппаратуры, входящей в БРЭО, принадлежащий непустому множеству допустимых значений $G_\Psi \subset G^{g_1}$; $F(\Xi) = F(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi))$ – векторный критерий оптимальности, осуществляющий отображение множества G_Ψ в непустое критериальное множество $G_F \subset G^{g_2}$; Ξ^* – искомое решение задачи проектирования БРЭО; G^{g_1} и G^{g_2} – арифметические векторные пространства размерности $g_1 \geq 1$ и $g_2 \geq 1$ соответственно. Запись $\min_{\Psi \in G_\Psi} \{F(\Xi(\Psi))\}$ предполагает, что лицо, принимающее решение, – главный конструктор проектной организации – стремится уменьшить значения частичных критериев оптимальности $\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi) \in \Xi$, полагаемых однозначными функциями вектора Ψ параметров подсистем, входящих в БРЭО в качестве элементов агрегатной базы.

Рассматривая критерии $\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi) \in \Xi$ как аддитивно-сепарабельные при $F = F(\Xi)$, можно записать: $F^1 \leq F^2$, если $\xi_i^1 \leq \xi_i^2, i=1, 2, \dots, \zeta$. В этом случае векторное решение F^1 из критериального множества доминирует по Парето решение F^2 из того же множества.

Неформально, множество Парето G_F^* задачи многокритериальной оптимизации (G_F^* – эффективное по Парето множество, порожаемое множеством векторов $\Psi \in G_\Psi$, $G_F^* = F(G_\Psi^*)$) можно определить как совокупность векторов $F \in G_F$, среди которых нет доминирующих. Формально, $G_F^* = \{F^* \in G_F : \{F' \in G_F : F' \leq F\} = 0\}$.

Заключение

Применение метода выявления Парето-оптимальных вариантов проектных решений апробировано на практике в разработках ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова». При проектировании изделий класса БЦВМ (бортовых цифровых вычислительных машин), состоящих из различных модулей авионики, было сформировано (рис. 2) множество эффективных по Парето модулей-вычислителей, составивших агрегатную базу построения БЦВМ семейства БЦВМ90-6ХХ.

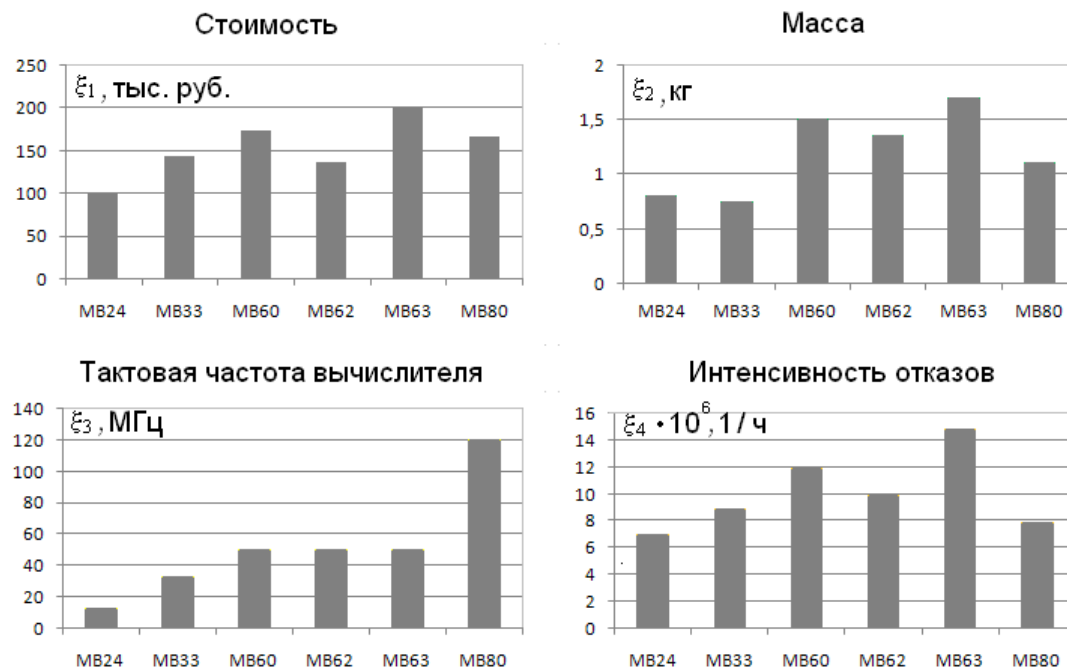


Рис. 2. Техничко-экономические показатели различных модулей-вычислителей, используемых при проектировании БЦВМ

Литература

1. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Модели и методы проектирования интегрированной модульной авионики // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2010. – №1. – С. 12–20.
2. Ногин В.Д. Принятие решения в многокритериальной среде: количественный подход. – М.: Физматлит, 2002. – 176 с.
3. Белокуров С.В. Эффективный алгоритм выбора недоминируемых решений в численных векторных схемах // Вестник Воронежского института МВД России. – 2008. – № 2. – С. 86–90.
4. Карпенко А.П., Котов И.О. Распараллеливание некоторых методов приближенного построения множества Парето в задачах многокритериальной оптимизации / Сб. трудов 9-ой международной конференции «Научные технологии и интеллектуальные системы», 18.03.2007. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – Ч. 2, с. 194–197.

Гатчин Юрий Арменакович

– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, <http://faculty.ifmo.ru/csd/>

Парамонов Павел Павлович

– СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова, директор – генеральный конструктор, доктор технических наук, профессор, postmaster@elavt.spb.ru

УДК 681.324

ГЕНЕРАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Р.А. Шек-Иовсепянц, И.О. Жаринов

Рассматривается подход к автоматизированному синтезу математических моделей бортового оборудования на основе аппарата генетических алгоритмов. Представлены алгоритм и примеры практической реализации операторов селекции и мутации на моделях интегрированной модульной авионики.

Ключевые слова: интегрированная модульная авионика, генетические алгоритмы.

Введение

Основу проектирования комплексов бортового оборудования сегодня составляет концепция интегрированной модульной авионики (ИМА). Перспективным в рамках концепции ИМА оказывается использование так называемых генетических алгоритмов, которые обладают рядом полезных свойств, а именно: адаптация к целевой функции проектирования; работа в условиях множеств и задач как малой, так и значительной размерности; допустимость изменения детализации описания без значительной модификации в самом алгоритме «перебора» и др.

В основу генетического алгоритма положены идеи естественного отбора в биологических популяциях. В генетическом алгоритме решение задачи синтеза представляется «хромосомой», состоящей из «генов». Значениями «генов» являются значения проектных параметров. Задача проектирования БРЭО с использованием аппарата генетических алгоритмов заключается в разработке строковой математической модели объекта проектирования и формализации механизмов автоматизированной генерации проектных решений на ее основе.

Предлагаемый подход к решению

Так как генетический алгоритм [1] в процессе поиска использует некоторую кодировку множества параметров вместо самих параметров, то он может эффективно применяться для решения задач дискретной оптимизации, определенных на числовых множествах. Аппарат генетических алгоритмов действует на числовом множестве Ψ технико-экономических показателей $\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_c(\Psi)$ авионики (вектор релевантных параметров $\Xi(\Psi)$) с представленными в конечном алфавите ψ строками Ψ_s конечной длины, которые используются для кодировки исходного множества проектных альтернатив S^j бортового оборудования. Строки представляют собой [2] упорядоченные наборы из ψ элементов параметров проекта $\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_\psi\}$, каждый из которых задается в своем собственном алфавите $\psi_1 = \{\psi_{1,1}, \psi_{1,2}, \dots, \psi_{1,\psi_1}\}$, $\psi_2 = \{\psi_{2,1}, \psi_{2,2}, \dots, \psi_{2,\psi_2}\}$, $\dots$, $\psi_\psi = \{\psi_{\psi,1}, \psi_{\psi,2}, \dots, \psi_{\psi,\psi_\psi}\}$, где алфавит ψ является множеством из $\Psi_s = \{\psi_{ij}\}$, $i=1, 2, \dots, \psi$; $j=1, 2, \dots, \psi_i$ символов. В частности, при использовании бинарного алфавита [3] символов $\{0,1\}$ проектные решения (табл. 1) имеют вид

$$\Psi_1^{\text{БРЭО}} = \{10000010010000101000101\},$$

$$\Psi_2^{\text{БРЭО}} = \{01000001001000010100011\},$$

$$\Psi_3^{\text{БРЭО}} = \{00100000100100000010101\},$$

$$\Psi_4^{\text{БРЭО}} = \{00010010000010000001011\},$$

$$\Psi_5^{\text{БРЭО}} = \{00001001000001000000101\}.$$

Используемое оборудование		Кодовая комбинация проектного решения						
Наименование системы	Марка							
Средство отображения информации	МФИ 10-5	1	0	0	0	0	0	1
	МФИ 10-6	0	1	0	0	0	0	0
	МФЦИ-0333М	0	0	1	0	0	0	0
	ЖК-АМ МФИ-2000-1	0	0	0	1	0	0	0
	TDS-10LH / TDS-10LL	0	0	0	0	1	0	0
	TDS-10PH / TDS-10PL	0	0	0	0	0	1	0
Пульт управления и индикации	ПС-2 сер.1	0	0	0	0	0	0	1
	ПС-5	0	1	0	0	1	0	0
	ПУИ-80С	0	0	1	0	0	1	0
Система управления полетом	БИАВС	1	0	0	0	0	0	0
	ВСС-95-1В	0	1	0	0	0	0	0
	КАБРИС-31	0	0	1	0	0	0	0
	АБРИС	0	0	0	1	0	0	0
	FMS-6000	0	0	0	0	1	0	0
	ЛИНС-2000	0	0	0	0	0	1	0
	ИСС-1	0	0	0	0	0	0	1
Навигационный приемник	СН-3022	1	0	0	0	1	0	0
	СН-99	0	1	0	0	0	1	0
	СН-3704	0	0	1	0	0	0	1
	СН-3301	0	0	0	1	0	0	0
Система предупреждения опасной близости земли	GPWS	1	0	1	0	1	0	1
	TAWS (ТТА-124)	0	1	0	1	0	1	0
Система предотвращения столкновений в воздухе	СПС-2000	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 1. Варианты распределения аппаратуры в комплексе бортового оборудования

Таким образом, задача проектирования заключается в поиске алгоритма, позволяющего однозначно отобразить конечное множество проектных альтернатив S^j на множество строк Ψ_s . Целевая функция проектирования F считается заданной (в соответствии с требованиями тактико-технического задания) на множестве $\Psi_s = \{\psi_{ij}\}$ неотрицательно определенной функцией многих переменных $F = F(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi))$, определяющей показатель качества проектного решения для каждой альтернативы S^j . Направленный перебор решений (формализованный механизм генерации) осуществляется по информационной базе данных проектов предприятия на ЭВМ рабочего места проектировщика с помощью математических операторов генетических алгоритмов.

Генетические операторы в проектных решениях авионики

Базовыми операциями аппарата генетических алгоритмов являются операции скрещивания и мутации. Скрещивание [2] представляет собой процесс случайного обмена значениями соответствующих элементов ψ_i для произвольно сформированных пар строк Ψ_s параметров проекта. Для этого выбранные строки (например, $\Psi^{\text{ПУИ}}$ для вектора параметров изделия класса ПУИ – пульт управления и индикации и $\Psi^{\text{ЦВМ}}$ для вектора параметров изделия класса ЦВМ – цифровые вычислительные машины) слу-

чайным образом группируются в пары. Далее каждая пара с заданной вероятностью подвергается операции скрещивания:

$$\Psi^{\text{ПУИ}} = \{\psi_1^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_i^{\text{ПУИ}}, \psi_{i+1}^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ПУИ}}\} \otimes \Psi^{\text{ЦВМ}} = \{\psi_1^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_i^{\text{ЦВМ}}, \psi_{i+1}^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ЦВМ}}\} \Rightarrow$$

$$\Psi^{\text{ПУИ}} = \{\psi_1^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_i^{\text{ПУИ}}, \psi_{i+1}^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ЦВМ}}\} \cup \Psi^{\text{ЦВМ}} = \{\psi_1^{\text{ЦВМ}}, \dots, \psi_i^{\text{ЦВМ}}, \psi_{i+1}^{\text{ПУИ}}, \dots, \psi_\psi^{\text{ПУИ}}\}.$$

Мутация [2] представляет собой процесс случайного изменения значений элементов одной строки Ψ_s . Для этого строки, генерируемые при помощи операции скрещивания, просматриваются поэлементно. Каждый элемент с заданной вероятностью мутации изменяет значение на любой случайно выбранный символ, допустимый алфавитом для данной позиции:

$$\Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{i-1}, \psi_i, \psi_{i+1}, \dots, \psi_\psi\} \Rightarrow \Psi = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{i-1}, \overline{\psi_i}, \psi_{i+1}, \dots, \psi_\psi\}.$$

Операция мутации позволяет находить новые комбинации признаков параметров проекта, увеличивающих ценность строк Ψ_s . Генетический алгоритм реализует поиск строки, для которой $F^*(\Psi) = \arg \min_{\Psi \in \Psi = \{\psi_{ij}\}} \{F(\Psi)\}$. Поскольку на множестве альтернатив

S^j задана целевая функция $F = F(\xi_1(\Psi), \xi_2(\Psi), \dots, \xi_\zeta(\Psi))$, где $\Xi = A\Psi$, то функция $F(\Psi)$ на множестве строк Ψ_s определяется через биективное отображение $F(\Xi) \Leftrightarrow F(\Psi)$, если вектор Ξ при отображении исходного множества S^j на множество строк был сопоставлен строке Ψ_s .

Заключение

Результаты практической реализации применения генетического алгоритма при проектировании бортовой аппаратуры в ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова» приведены в табл. 2. Представлены составы изделий класса БЦВМ (бортовых цифровых вычислительных машин), БЦУ (блоков цифрового управления), БФВИ (блоков формирования видеоизображения), наименования входящих модулей и формализованный механизм перехода от одного проектного решения (класса изделия) к другому в процессе проектирования.

Агрегатную базу модулей авионики представляют: МД – модуль дискретный, МВ – модуль-вычислитель, МО – модуль обмена, МР – модуль разовых команд, МН – модуль напряжений, МА – модуль аналоговый, МГ – модуль графический, МК – модуль коммутационный, МП – модуль памяти. Механизм перехода обозначен мнемознаком $\underbrace{\downarrow \uparrow}$, символом $\boxtimes$ обозначен отсутствующий по конструкторской документации модуль (свободный слот).

В частности, при использовании единого конструктива БЦВМ правило автоматизированного перехода от одного проектного решения БЦВМ90-602 к другому проектному решению БЦВМ90-613 осуществляется путем замены в 7-ой и 8-ой позиции строковой модели БЦВМ соответственно модулей МО51, МП60 на МА53, МА54. Физически такая замена для БЦВМ90-613 уменьшает число обслуживаемых каналов обмена с параметрами по ГОСТ 26765.52-87 и вводит возможность обработки аналоговых сигналов с параметрами по ГОСТ 18977-79, РТМ 1495-75.

Аналогично,

$$\Psi^{\text{БЦВМ90-602}} = \{\Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МВ60}}, \Psi^{\text{МО51}}, \Psi^{\text{МН50М}}, \Psi^{\text{МО51}}, \Psi^{\text{МП60}}\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Psi^{\text{БЦВМ90-613}} = \{\Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МД50}}, \Psi^{\text{МВ60}}, \Psi^{\text{МО51}}, \Psi^{\text{МН50М}}, \Psi^{\text{МА53}}, \Psi^{\text{МА54}}\}.$$

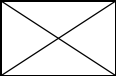
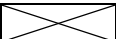
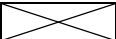
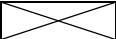
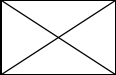
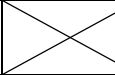
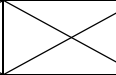
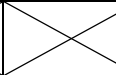
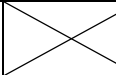
Класс изделия	Проектный состав изделия (помодульно)							
БЦВМ90-604	МД50	МД50		МВ63	МО51	МН50М	МО51	МА56
				↓ ↑				↓ ↑
БЦВМ90-602	МД50	МД50	МД50	МВ60	МО51	МН50М	МО51	МП60
							↓ ↑	↓ ↑
БЦВМ90-613	МД50	МД50	МД50	МВ60	МО51	МН50М	МА53	МА54
					↓ ↑			
БЦУ25	МД50	МД50		МВ60	МРП24	МН50М	МА53	МА54
							↓ ↑	↓ ↑
БЦУ24	МД50	МД50		МВ60	МРП24	МН50М	МА50	МА50
					↓ ↑			↓ ↑
БФВИ24	МД50	МД50		МВ60	МО51	МН50М	МА50	МГ51
БЦВМ90-601	МД50	МД50		МВ60	МО51	МН50М		
БЦВМ90-610	МД50	МД50		МВ60		МН50М		
БЦВМ90-603	МД50			МВ60	МО51	МН50М	МК603	

Таблица 2. Результаты практического использования генетического алгоритма при проектировании бортовой аппаратуры

Литература

1. Гладков Л.А. и др. Генетические алгоритмы. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.
2. Генетические алгоритмы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://g-u-t.chat.ru/ga>, свободный, язык русский, дата обращения 10.01.2010.
3. Ефанов В.Н., Кожевникова Е.А. Комплексирование бортового оборудования на базе мобильного генетического алгоритма // Мир авионики. – 2003. – № 3. – С. 23–29.

Шек-Иовсепяц Рубен Ашотович – СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», главный конструктор, доктор технических наук, профессор, postmaster@elavt.spb.ru

Жаринов Игорь Олегович – СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», главный специалист, кандидат технических наук, доцент, igor_rabota@pisem.net

УДК 621.396.988.6: 629.19

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА В НАВИГАЦИОННЫХ
КОМПЛЕКСАХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ**

В.Д. Суслов, Д.В. Козис

Рассматривается подход к организации моделирования траектории полета летательного аппарата (ЛА) в горизонтальной плоскости. Введены математические модели движения ЛА, представлены результаты моделирования в среде MathLab.

Ключевые слова: моделирование, движение в горизонтальной плоскости.

Введение

На современном этапе проектирования и разработки навигационных комплексов (НК) применение статических и динамических моделей функционирования бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) является экономически и технически выгодными с точки зрения решения главной задачи – обработки, преобразования и индикации навигационной информации по следующим критериям [1]: полнота, целостность; достоверность; требуемая точность.

По мере роста интенсивности воздушного движения и, как следствие, ужесточения требований к точности навигации в боковом и продольном канале все более усложняется состав БРЭО. На сегодняшний день стало международной нормой наличие в составе НК такого оборудования, как спутниковая навигационная система, система предупреждения близости земли, система предупреждения столкновений и т.д. Соответственно возрастают трудности и объемы работ, связанных с имитацией перечисленного оборудования при их моделировании.

Прежде всего, для достижения высокой степени информационного и динамического подобия моделей и реальных систем приходится отказываться от многих упрощений, общепринятых в существующих разработках НК. Включение в состав НК БЦВМ сделало возможным использование методов комплексной (оптимальной) обработки информации от навигационных датчиков, что требует моделирования навигационных сигналов со статическими характеристиками, близкими к реальным.

Повышение и улучшение характеристик НК, повышение требований к степени информационного и динамического подобия модели и реальной системы приводят к необходимости более детальной имитации навигационной обстановки и других факторов, непосредственно влияющих на работу НК в реальном полете.

Функциональная схема моделирования траектории полета

В состав современного НК входят бортовые цифровые вычислительные машины (БЦВМ), что позволяет, наряду с широким внедрением математических моделей в программное обеспечение:

- реализовать комплексную обработку информации при работе НК;
- обеспечить фильтрацию возмущений и помех;
- реализовать выявление и изъятие из обработки аномальных измерений параметров;
- существенно повысить информационную надежность НК;
- получить отражение реальной пилотажно-навигационной и помеховой обстановки в имитаторе НК;
- моделировать динамику погрешностей датчиков и воспроизводить в имитаторе НК возмущения и помехи и их статические характеристики, близкие к реальным;
- обеспечить системное представление информации в удобной для восприятия оператором форме.

На рис. 1 представлена функциональная схема моделирования траектории полета ЛА.

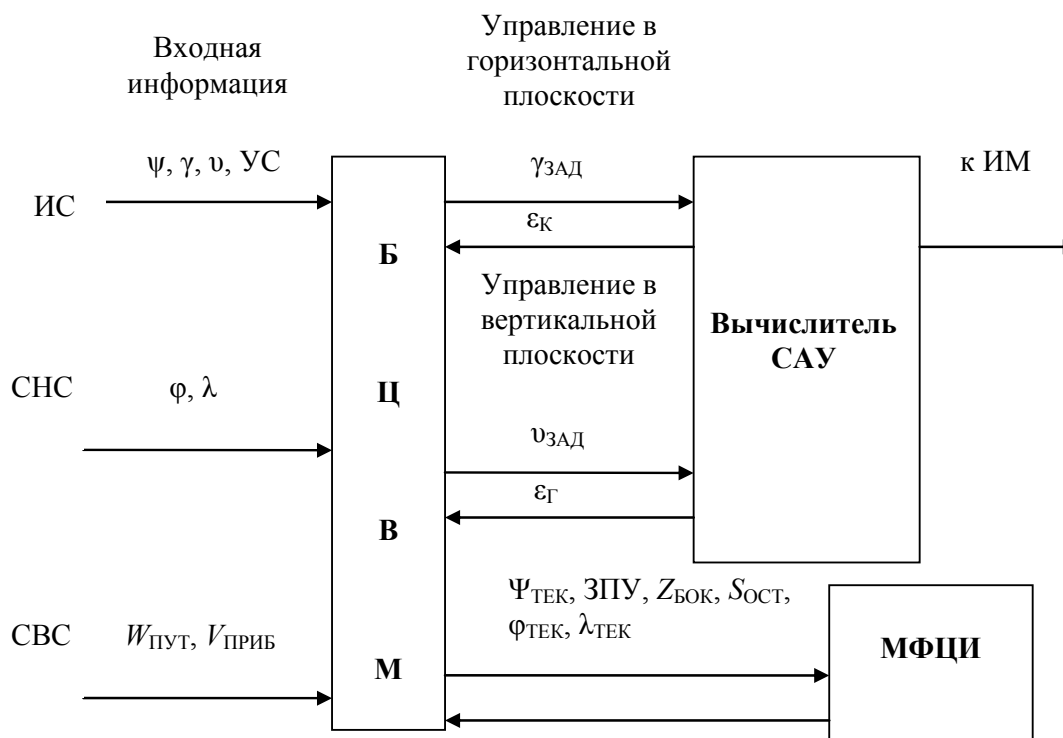


Рис. 1. Функциональная схема моделирования траектории полета летательного аппарата

Существует два способа реализации моделирования траектории полета.

1. Управляющими воздействиями при моделировании являются значения следующих параметров: географическая широта ϕ ; географическая долгота λ ; угол сноса (УС); угол крена γ ; угол тангажа v ; гироскопический курс ψ ; путевая скорость $W_{ПУТ}$; приборная скорость $V_{ПРИБ}$. Информация с выходов навигационных датчиков по последовательному коду поступает на входы соответствующих модулей БЦВМ, после чего передается в цифровом виде в модуль процессора, где и происходит вычисление навигационных задач [2]. В качестве реальных датчиков навигационной информации выступают: инерциальная система (ИС), система воздушных сигналов (СВС), спутниковая навигационная системы (СНС). В результате моделирования в БЦВМ для управления траекторией полета в горизонтальной плоскости на выходе получаем значение заданного угла крена $\gamma_{ЗАД}$. Данная информация поступает в вычислитель САУ. В результате дальнейшей обработки САУ подает сигналы на исполнительные механизмы, после чего происходит маневр ЛА. Кроме того, существует обратная связь в виде сигналов из САУ в БЦВМ: ϵ_K – отклонение по курсу; ϵ_G – отклонение по глиссаде. Данный способ моделирования является полунатурным, его недостатки приводят к использованию следующего способа моделирования.
2. Вместо реальных датчиков, из которых получают управляющие воздействия для моделирования, используют математические модели сигналов. При этом в БЦВМ создается имитационная среда параметров датчиков навигационной информации и их погрешностей. Структурная схема модели траектории полета при данном подходе приведена на рис. 2. Данный способ моделирования является математическим с применением реальной БЦВМ. Для контроля и визуализации информации, поступающей из БЦВМ на МФЦИ, используется модель (эмулятор) индикатора, реализованная на ПК.

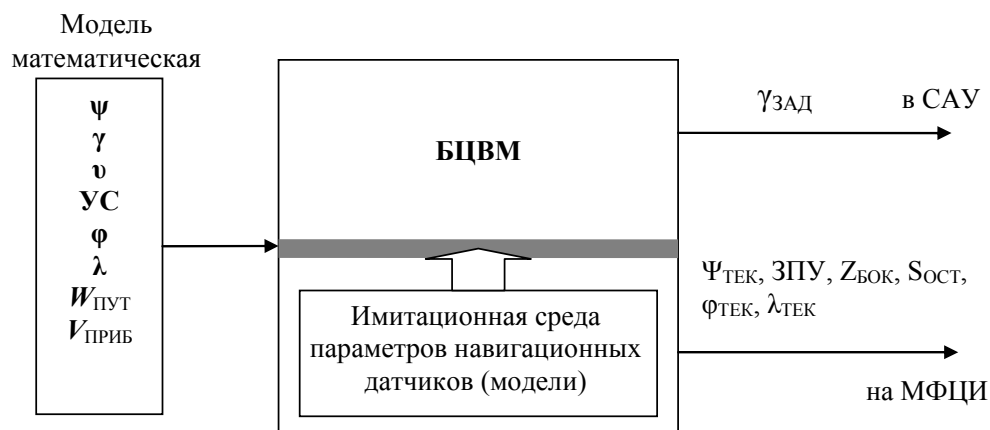


Рис. 2. Структурная схема модели траектории полета

Моделирование траектории полета летательного аппарата в горизонтальной плоскости

Разворот в горизонтальной плоскости (рис. 3) требует создания центростремительной силы, направленной к центру кривизны траектории и равной по модулю центробежной силе.

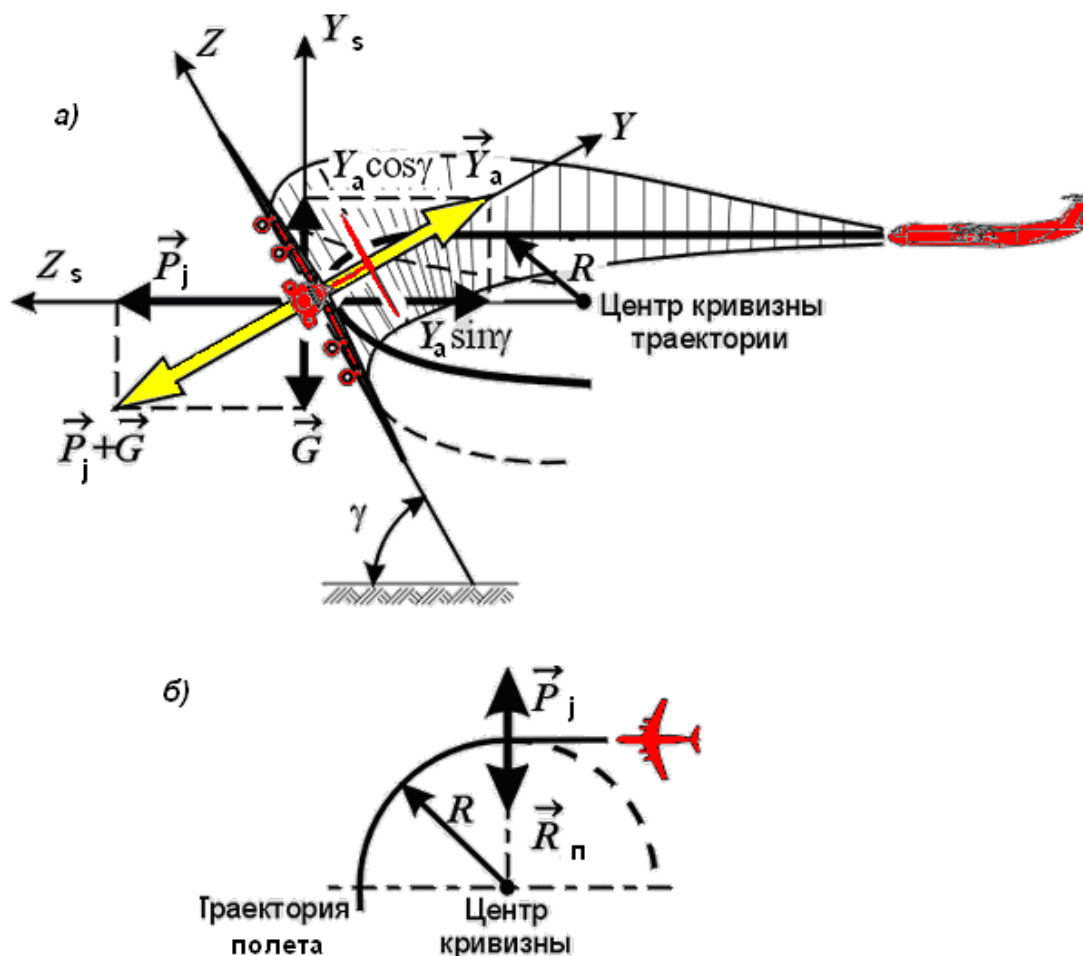


Рис. 3. Разворот ЛА в горизонтальной плоскости: а) вид сбоку; б) вид сверху

Создание такой силы возможно за счет изменения крена самолета на угол γ [3]. В этом случае вертикальная составляющая подъемной силы $Y_a \cos \gamma$ уравнивает силу тяжести G , а горизонтальная составляющая

$$R_n = Y_a \sin \gamma \quad (1)$$

центробежную силу

$$P_j = \frac{GV^2}{gR}. \quad (2)$$

Условия равновесия имеют вид:

$$Y_a \cos \gamma - G = 0; \quad (3)$$

$$-Y_a \sin \gamma + \frac{GV^2}{gR} = 0. \quad (4)$$

Под действием этих сил самолет будет осуществлять разворот со скоростью V по дуге окружности радиуса R . Радиус разворота может быть определен как

$$R_{\text{РАЗВ}} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{Y_a \sin \gamma} = \frac{V^2}{g \cdot \tan \gamma}. \quad (5)$$

Задача моделирования – рассчитать закон управления движения ЛА в горизонтальной плоскости для выдерживания им точности самолетовождения.

Моделирование траектории полета летательного аппарата в горизонтальной плоскости в среде MatLab

Навигационные характеристики НК существенно зависят от системы координат, лежащей в основе алгоритма моделирования траектории полета [4]. В современных НК наибольшее распространение получила геоцентрическая система координат. В этой системе перемещение объекта по поверхности сферы описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{R} \left(1 - \frac{H}{R} \right) [V \cos \text{ИК} + U_B \cos \delta_B], \quad (6)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{1}{R} \left(1 - \frac{H}{R} \right) \left[\frac{V \sin \text{ИК} + U_B \sin \delta_B}{\cos \phi} \right], \quad (7)$$

где ϕ и λ – географическая широта и долгота места объекта; $R = 6372900$ м – радиус земной сферы; ИК – истинный курс объекта; H и V – высота и горизонтальная составляющая воздушной скорости объекта; U_B и δ_B – скорость и направление (угол) ветра. В НК истинный курс обычно определяется через гироскопический курс ψ :

$$\text{ИК} = \psi + \delta, \quad (8)$$

где δ – азимутальная поправка на перемещение объекта, определяемая уравнением

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} \sin \phi. \quad (9)$$

В свою очередь, изменение гироскопического курса связано с углом крена γ зависимостью

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{g \cdot \tan \gamma}{V}, \quad (10)$$

где g – ускорение свободного падения.

Скорость и направление ветра вычисляется из системы уравнений:

$$\begin{cases} W \cos \text{УС} = V + U_B \cos(\text{ИК} - \delta_B) \\ W \sin \text{УС} = U_B \sin(\text{ИК} - \delta_B) \end{cases} \quad (11)$$

При кренах менее 20° с достаточной для практики точностью измерение крена можно описать уравнением

$$T_\gamma \frac{d\gamma_{\text{зАд}}}{dt} + \gamma_{\text{зАд}} = \gamma, \quad (12)$$

где T_γ – постоянная времени движения ЛА с креном; $\gamma_{\text{зАд}}$ – сигнал заданного крена.

Полученные результаты

Рассмотрим движение ЛА по экватору. Входные воздействия (математические модели) представляются в следующем виде:

- приборная скорость $V_{\text{приб}}(t)$ – постоянная величина, равная 600 км/ч (166,67 м/с);
- путевая скорость $W_{\text{пут}}(t)$ – постоянная величина, равная 900 км/ч (250 м/с);
- географическая долгота $\lambda(t)$ – линейно возрастающая прямая с тангенсом угла наклона, равным путевой скорости;
- географическая широта $\varphi(t)$ – постоянная величина, равная нулю;
- гироскопический курс $\psi(t)$ – постоянная величина, равная 90° (1,5704 рад);
- угол сноса $УС(t)$ принимается равным $0,5^\circ$ (0,087 рад).

Упростим процесс моделирования, приняв нулевой азимутальную поправку на перемещение объекта δ . Постоянную времени T_γ движения ЛА с креном назначим равной 30 с. Ошибка в определении линейных характеристик полета не должна превышать значения $0,08 \cdot 10^{-3} \cdot S$, где S – пройденное расстояние. Ошибка в определении угловых характеристик полета определяется как

$$\sigma_{\text{угл}} \leq \text{tg } \beta \approx \frac{\sigma_{\text{лин}}}{S} = 8 \cdot 10^{-5}, \quad (13)$$

На рис. 4 представлена структурная схема моделирования траектории полета ЛА в горизонтальной плоскости в среде MatLab (Simulink). На рис. 5 показан сигнал крена заданного, полученный с учетом влияния трех составляющих погрешности – «квазипостоянной», низкочастотной и высокочастотной. Для сглаживания возникающих флуктуаций в программном обеспечении САУ применяется фильтрация сигнала, которая устраняет явление перерегулирования по крену.

Заключение

Результаты расчетов показывают, что полученная система дифференциальных уравнений (1)–(12) представляет собой математическую модель движения летательного аппарата в географических координатах, которая может быть реализована в моделирующей БЦВМ, входящей в состав НК.

Литература

1. Григорьев В.В., Парамонов П.П., Козис Д.В., Коровьяков А.Н., Видин Б.В. Контроль показателей информационной надежности при моделировании аналоговых датчиков навигационных систем летательных аппаратов // Известия вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – № 6. – С. 35–38.
2. Григорьев В.В., Козис Д.В., Коровьяков А.Н., Медынский Ю.В., Парамонов П.П. Обеспечение информационного подобия модели и реальной системы в навигационных комплексах // Научно-технический вестник ИТМО. – 2006. – № 33. – С. 8–10.
3. Козис Д.В. Анализ подходов к моделированию пилотажно-навигационных комплексов летательных аппаратов // Научно-технический вестник ИТМО. – 2004. – № 14. – С. 96–99.

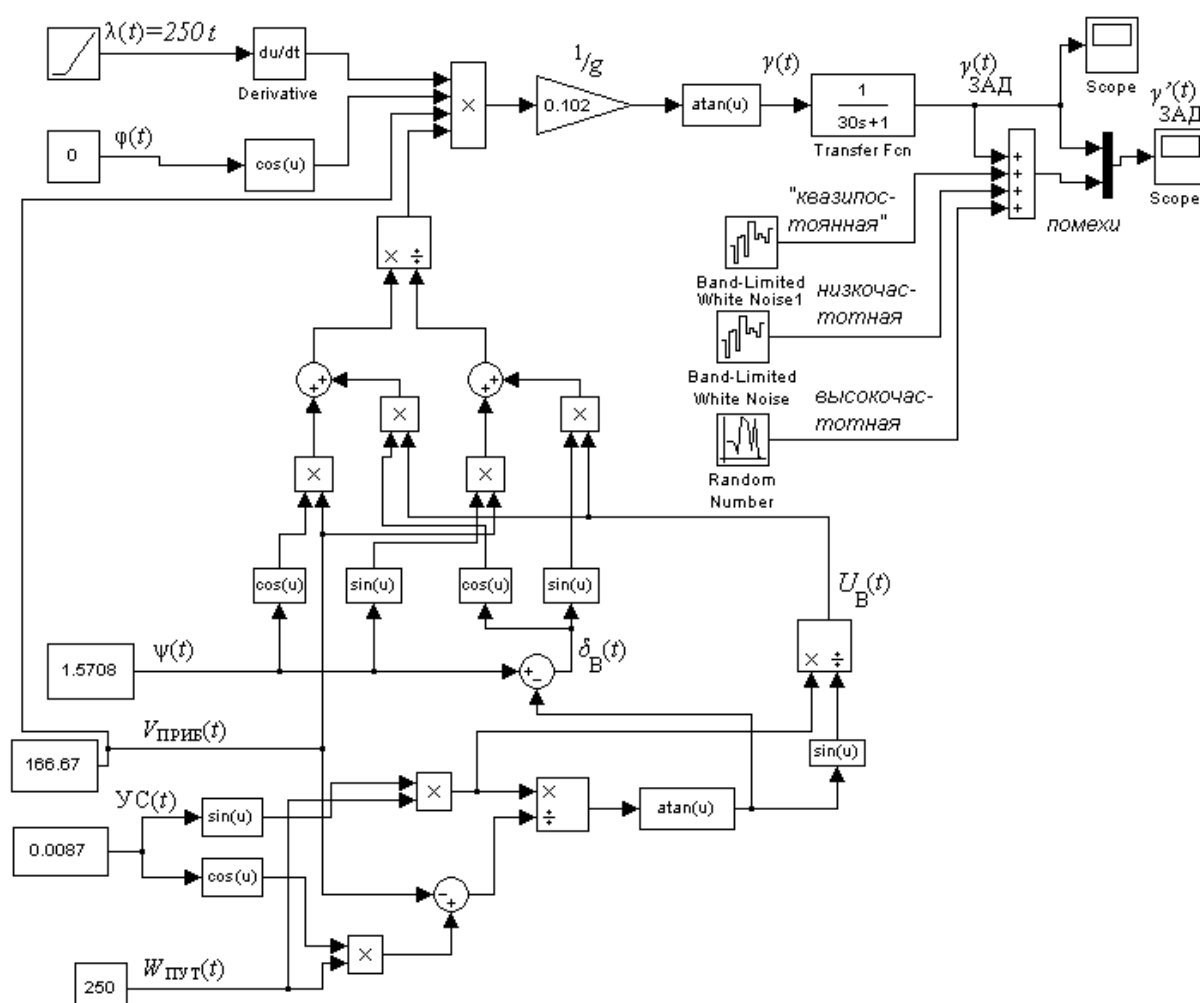


Рис. 4. Структурная схема моделирования траектории полета ЛА в горизонтальной плоскости в среде MatLab (Simulink)

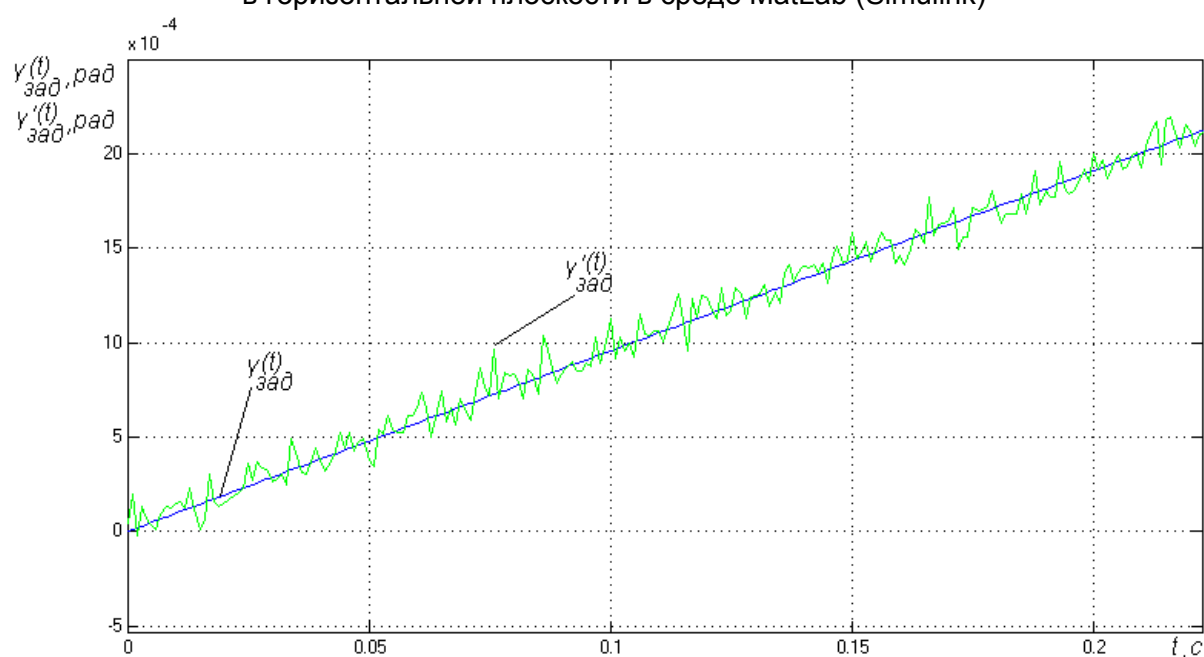


Рис. 5. Крен заданный с учетом погрешностей

4. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Оптико-электронные комплексы со встроенным ЭВМ» / Под ред. Зенкова Г.Н. – Л.: ИТМО, 1982.

Суслов Владимир Дмитриевич – СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова», зам. генерального директора, postmaster@elavt.spb.ru
Козис Дмитрий Владимирович – РАА «Спецтехника», директор, кандидат технических наук, kozisd@mail.ru

УДК 681.5.01

ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЯ

Б.В. Видин, О.В. Ульянова

Исследуется нелинейная система дифференциальных уравнений, описывающая движение центра масс летательного аппарата в вертикальной плоскости при прямолинейной траектории. Получены оценки значений скорости и дальности в зависимости от ограничений на ресурс управления тягой двигателя.

Ключевые слова: динамика летательного аппарата, ресурс управления, ограничения.

Введение

Движение центра масс летательного аппарата в скоростной системе координат в вертикальной плоскости на прямолинейном участке траектории после выбора направления описывается [1] системой уравнений

$$m \frac{dV}{dt} = P \cos \alpha - C_x \frac{\rho V^2}{2} S - mg \sin \theta, \quad (1)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = 0, \quad \frac{dh}{dt} = V \sin \theta, \quad \frac{dx}{dt} = V \cos \theta, \quad \frac{dm}{dt} = -q, q > 0,$$

где m – масса летательного аппарата; V – длина вектора скорости; θ – угол наклона траектории, $\theta = \text{const}$; α – угол атаки, $\alpha = \text{const}$; h – высота полета; x – дальность полета; q – секундный расход массы топлива; P – тяга двигателя, $P \leq K$; K – ресурс управления (величина, ограничивающая тягу двигателя, изменение тяги двигателей возможно в пределах строго ограниченного интервала, обусловленного количеством топлива (используется нижняя граница данного интервала), S – площадь крыльев летательного аппарата (ЛА), $\rho(h)$ – плотность атмосферы, зависящая от высоты полета, $\rho(h) = C e^{-h/R}$, R – радиус Земли, C_x – коэффициент лобового сопротивления, C_y – коэффициент подъемной силы, при этом

$$\frac{\partial C_x}{\partial \alpha} > 0; \quad \frac{\partial C_y}{\partial \alpha} > 0$$

В качестве управляющей функции выбирается тяга двигателя $P(t)$. Ставится задача найти $P(t)$ так, чтобы решение системы (1) удовлетворяло начальным условиям

$$t = t_0: V = V_0, h = h_0, x = x_0, m = m_0, P = P_0 \quad (2)$$

и конечным условиям $t = t': h = h_k, x = x_k, m = m_k$, где t' – заранее неизвестный момент времени.

Предлагаемый подход к решению

Совокупность функций $V(t)$, $h(t)$, $x(t)$, $m(t)$, $P(t)$ будем называть решением задачи (1), (2). Разделив все уравнения системы (1) на $\frac{dx}{dt} = V \cos \theta$, приходим к системе

$$\frac{dV}{dx} = \frac{1}{mV \cos \theta} \left(P \cos \alpha - C_x \frac{\rho V^2}{2} S - mg \sin \theta \right),$$

$$\frac{dh}{dx} = \operatorname{tg} \theta, \quad \frac{dt}{dx} = \frac{1}{V \cos \theta}, \quad \frac{dm}{dx} = \frac{-q}{V \cos \theta}. \quad (3)$$

Требуется найти $P(t)$ так, чтобы решение системы (3) удовлетворяло начальным условиям:

$$x = x_0 : V = V_0, h = h_0, m = m_0, P = P_0 \quad (4)$$

и конечным условиям $x = x_k$, $h = h_k$, $m = m_k$. Совокупность функций $V(x)$, $h(x)$, $m(x)$, $P(x)$ будем называть решением задачи (3), (4). Так как в соответствии с исходными данными $\theta = \text{const}$, необходимо найти функцию $h(x)$:

$$h(x) = \operatorname{tg} \theta \int_{x_0}^{x_k} dx.$$

Продифференцируем обе части первого уравнения системы (3):

$$\frac{dV}{dx} = \frac{1}{mV \cos \theta} \left(P \cos \alpha - C_x \frac{\rho V^2}{2} S - mg \sin \theta \right) = f(V, h, m, P),$$

$$\frac{d^2V}{dx^2} = \frac{\partial f}{\partial V} \frac{dV}{dx} + \frac{\partial f}{\partial h} \frac{dh}{dx} + \frac{\partial f}{\partial m} \frac{dm}{dx} + \frac{\partial f}{\partial P} \frac{dP}{dx},$$

откуда получаем производную тяги по дальности

$$\frac{dP}{dx} = \frac{\frac{d^2V}{dx^2} - \frac{\partial f}{\partial V} \frac{dV}{dx} - \frac{\partial f}{\partial h} \frac{dh}{dx} - \frac{\partial f}{\partial m} \frac{dm}{dx}}{\frac{\partial f}{\partial P}},$$

где

$$\frac{\partial f}{\partial V} = \frac{1}{\cos \theta} \left(-\frac{P \cos \alpha}{V^2 m} - \frac{C_x \rho S}{2m} + \frac{g \sin \theta}{V^2} \right),$$

$$\frac{\partial f}{\partial h} = -\frac{C_x \rho V S}{2m \cos \theta} \frac{C}{R} e^{-h/R},$$

$$\frac{\partial f}{\partial m} = \frac{1}{m^2 \cos \theta} \left(-\frac{P \cos \alpha}{V} + \frac{C_x \rho V S}{2} \right),$$

$$\frac{\partial f}{\partial P} = \frac{\cos \alpha}{mV \cos \theta}.$$

Таким образом, приходим к системе уравнений

$$\frac{dP}{dx} = \frac{\frac{d^2V}{dx^2} - \frac{\partial f}{\partial V} \frac{dV}{dx} - \frac{\partial f}{\partial h} \frac{dh}{dx} - \frac{\partial f}{\partial m} \frac{dm}{dx}}{\frac{\partial f}{\partial P}},$$

$$\frac{dh}{dx} = \operatorname{tg} \theta, \quad \frac{dt}{dx} = \frac{1}{V \cos \theta}, \quad \frac{dm}{dx} = \frac{-q}{V \cos \theta}$$

с учетом начальных условий $x = x_0, t = t_0, h = h_0, m = m_0, P = P_0$ на траектории $[x_0, x_k]$.

Поскольку $\theta = \operatorname{const}$, $\frac{d\theta}{dt} = 0$, то $P \sin \alpha + C_y \frac{\rho V^2}{2} S - mg \cos \theta = 0$. Задавая ограничения на m : $m_1 \leq m \leq m_2$, получим ограничения на V :

$$C_y \frac{\rho V^2}{2} S = mg \cos \theta - P \sin \alpha,$$

$$V^2 = \frac{2}{C_y \rho S} (mg \cos \theta - P \sin \alpha).$$

Обозначив $V^2 = \bar{V}$, получим

$$\bar{V} \leq \frac{2}{C_y^{\min} \rho S} (m_2 g \cos \theta - K \sin \alpha) = \bar{V}_2,$$

$$\bar{V} \geq \frac{2}{C_y^{\max} \rho S} m_1 g \cos \theta = \bar{V}_1,$$

$$\bar{V}_1 \leq \bar{V} \leq \bar{V}_2; V_1 = \sqrt{\bar{V}_1}, V_2 = \sqrt{\bar{V}_2}; V_1 \leq V \leq V_2,$$

где V_1 и V_2 - минимальное и максимальное значение по скорости соответственно.

Получим оценку на конечное значение дальности:

$$\frac{dV}{dx} = \frac{dV}{dx} \Big|_{X=X_0} + \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx,$$

$$\frac{dV}{dx} \Big|_{X=X_0} = \frac{1}{m_0 V_0 \cos \theta} \left(P_0 \cos \alpha - C_{x_0} \frac{\rho_0 V_0^2}{2} S - m_0 g \sin \theta \right),$$

$$V_1 \leq V \leq V_2, \quad V = V_0 + \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx,$$

и выберем V_0 : $V_1 \leq V_0 \leq V_2$,

$$V_1 - V_0 < \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx < V_2 - V_0,$$

$$\int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx = \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx + \int_{X_0}^{X_k} \int_{X_0}^{X_k} \frac{d^2 V}{dx^2} dx^2,$$

$$V_1 - V_0 - \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx \leq \frac{d^2 V}{dx^2} (x_k - x_0)^2 \leq V_2 - V_0 - \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx.$$

Введем обозначения:

$$V_1 - V_0 - \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx = \bar{\beta}_1,$$

$$V_2 - V_0 - \int_{X_0}^{X_k} \frac{dV}{dx} dx = \bar{\beta}_2, \quad \beta_1 \leq \frac{d^2 V}{dx^2} \leq \beta_2,$$

$$\beta_1 = \frac{\bar{\beta}_1}{(x_k - x_0)^2}, \beta_2 = \frac{\bar{\beta}_2}{(x_k - x_0)^2},$$

$$\left| \frac{dP}{dx} \right| \leq K(x_k - x_0), \bar{K} = \max \left| \frac{dP}{dx} \right|$$

в области, где фазовые координаты удовлетворяют ограничениям. С учетом дополнительных соотношений [2]

$$\rho(h) = Ce^{-h/R}, \rho_1 \leq \rho(h) \leq \rho_2,$$

$$\rho_1 = Ce^{-h_2/R}, \rho_2 = Ce^{-h_1/R},$$

аналогично могут быть получены оценки

$$\gamma_1 \leq \frac{dV}{dx} \leq \gamma_2, \gamma_3 \leq \frac{dh}{dx} \leq \gamma_4, \gamma_5 \leq \frac{dm}{dx} \leq \gamma_6$$

$$\delta_1 \leq \frac{\partial f}{\partial V} \leq \delta_2, \delta_3 \leq \frac{\partial f}{\partial h} \leq \delta_4, \delta_5 \leq \frac{\partial f}{\partial m} \leq \delta_6, \delta_7 \leq \frac{\partial f}{\partial P} \leq \delta_8$$

тогда

$$\bar{K} = \frac{\beta_2 + \gamma_2 \delta_2 + \gamma_4 \delta_4 + \gamma_6 \delta_6}{\delta_7}, \bar{K}(x_k - x_0) \leq K, x_k - x_0 \leq \frac{K}{\bar{K}}.$$

Заключение

При выполнении полученного ограничения управление летательным аппаратом удовлетворяет условию $P \leq K$. Таким образом, для описанного движения ЛА получены оценки на значения скорости и дальности, при которых управляющая функция удовлетворяет заданным ограничениям.

Предлагаемая модель движения летательного аппарата может быть использована при разработке программного обеспечения пилотажно-навигационных комплексов, на которые возложены задачи управления полетом в условиях ограниченного ресурса управления, с отработкой на этапе предварительных стендовых испытаний.

Литература

1. Красовский А.А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. – М.: Наука, 1973. – 523 с.
2. Остославский И.В., Стражева И.В. Динамика полетов. Траектории летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1969. – 354 с.

Видин Борис Викторович – СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова, зам. главного конструктора, кандидат технических наук, профессор, postmaster@elavt.spb.ru

Ульянова Ольга Владимировна – СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П.А. Ефимова, инженер, postmaster@elavt.spb.ru

УДК 004.92

МЕТОД ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО УПРОЩЕНИЯ
3D ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.Т. Тозик, А.В. Меженин

В статье рассматривается метод геометрического упрощения 3D полигональных моделей объектов с целью сокращения объема данных, что приводит к повышению скорости процессов передачи и визуализации. Предлагаемый метод упрощения трехмерных полигональных объектов использует операции свертывания ребер. Дополнительно выполняется проверка, направленная на устранение эффекта вырожденной полигональной сетки. Для оценки качества упрощения полигональной сети предлагается использовать размерность Хаусдорфа.

Ключевые слова: многомасштабное представление, упрощение сеток.

Введение

Одной из основных проблем передачи и отображения трехмерных данных является передача больших объемов данных, необходимых для описания сложных трехмерных моделей в условиях ограничения пропускной способности каналов передачи данных, таких как Интернет, космическая связь и т.д. [1]. Упрощение сложных 3D объектов является важным направлением исследований в компьютерной графике. Уменьшение уровней детализации Level of Detail (LOD) упрощает не только задачу передачи данных, но и задачу визуализации, особенно для небольших дисплеев мобильных устройств и специальной аппаратуры.

Большинство итерационных алгоритмов упрощения полигональных моделей можно разделить на три категории: прореживание вершин, свертывание ребер, прореживание граней [2, 3] (рис. 1).

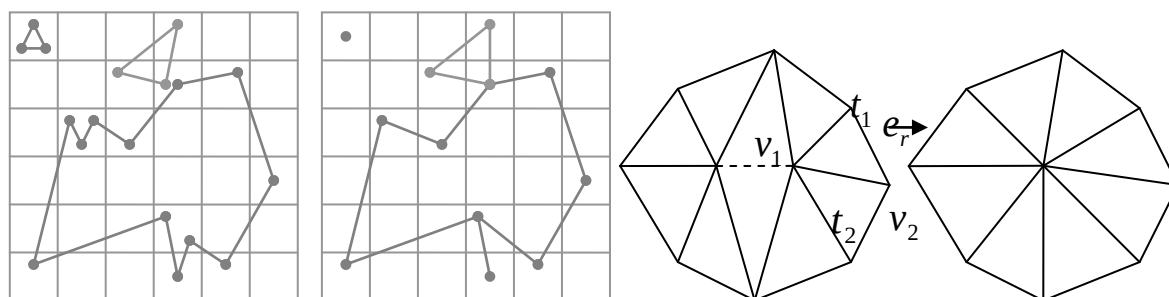


Рис. 1. Прореживание вершин и свертывание ребер

Алгоритм кластеризации вершин относится к категории прореживания вершин и состоит в объединении вершин, находящихся в одном кластере пространства, в одну. Его достоинство – высокая скорость, а недостаток в некоторых случаях – нарушение топологии получаемых моделей. Более точно топологию модели передает алгоритм прореживания вершин, выполняемый в несколько проходов. На каждом этапе происходит удаление вершин, расположенных на расстоянии меньше заданного от усредненной плоскости соседних вершин. Одна из проблем, возникающая при реализации алгоритма – исчезновение граней, принадлежащих удаляемым вершинам. При этом могут образоваться разрывы, которые необходимо заполнить, выполняя операции триангуляции, что требует дополнительного времени.

Алгоритмы, основанные на свертывании ребер, можно рассматривать как частный случай удаления вершин, однако они не требуют выполнения дополнительных операций триангуляции. Поэтому их реализация дает хорошие результаты с точки зрения качества и быстродействия. Свертывание ребра представляет собой слияние двух вершин, образующих ребро, в одну. При этом в общем случае происходит удаление двух треугольных ячеек. Последовательность свертывания ребер определяется мерой ошибки, которая отражает локальное геометрическое отклонение ячеек. Способы вычисления этой ошибки определяют различие между алгоритмами этого класса.

Известны следующие меры ошибки, используемые для выбора стратегии при свертывании ребра:

- определение среднего расстояния между новыми треугольниками и типовыми точками на исходной модели;
- нахождение величины допуска как выпуклой комбинации сфер, расположенных в каждой вершине упрощения. Выбор граней основывается на самой малой длине, а новая вершина позиционируется таким образом, что новая поверхность будет гарантированно лежать в пределах этого допуска;
- поддержка связи между точками исходной модели и соответствующими окрестностями на упрощенной модели.

Метод кластеризации ограничивающего объема и операции свертывания ребер

Предлагаемый авторами подход к задаче упрощения трехмерных полигональных объектов и организации прогрессивной сетки основан на кластеризации ограничивающего объема и операциях свертывания ребер. Очевидно, что в первую очередь необходимо обрабатывать только те вершины, которые не влияют существенно на форму объекта. Вершины, в которых поверхность объекта существенно меняется, будем называть опорными. Такие вершины выделяются на стадии предварительной обработки и постоянно присутствуют при синтезе объекта. Выделение опорных вершин производится следующим образом.

Шаг 1. Строится ограничивающий объем, представляющий собой параллелепипед, стороны которого параллельны осям координат. Координаты вершин параллелепипеда находятся как значения минимальных и максимальных координат вершин объекта по осям:

$$\begin{aligned}x_{\min} &= \min(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad x_{\max} = \max(x_1, x_2, \dots, x_n), \\y_{\min} &= \min(y_1, y_2, \dots, y_n), \quad y_{\max} = \max(y_1, y_2, \dots, y_n), \\z_{\min} &= \min(z_1, z_2, \dots, z_n), \quad z_{\max} = \max(z_1, z_2, \dots, z_n)\end{aligned}$$

Шаг 2. Координаты ограничивающих объемов находятся из предыдущих значений следующим образом:

$$x_{c_k} = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2k_x}, \quad y_{c_k} = \frac{y_{\min} + y_{\max}}{2k_y}, \quad z_{c_k} = \frac{z_{\min} + z_{\max}}{2k_z},$$

где k_x, k_y, k_z – количество разбиений по осям X, Y, Z .

Шаг 3. Определяется принадлежность вершин к каждой области разбиения путем проверки условий

$$x_{\min} \leq x_i \leq x_{\max}, \quad y_{\min} \leq y_i \leq y_{\max}, \quad z_{\min} \leq z_i \leq z_{\max}.$$

Шаг 4. Определяется квадрат расстояния от вершин области до центров областей разбиения:

$$d_i^2 = (x_{c_{k+1}} - x_i)^2 + (y_{c_{k+1}} - y_i)^2 + (z_{c_{k+1}} - z_i)^2.$$

Шаг 5. Находятся минимальные и максимальные квадраты расстояний. Вершины, расположенные на минимальном и максимальном расстояниях, удаляться не будут.

Дальнейшее упрощение основано на свертывании ребер. В качестве критериев используются угол между нормальными векторами граней и изменение площади свертываемой грани. На каждом шаге производятся следующие действия.

- Вычисляется показатель ошибки для каждой операции свертывания ребра и выполняется упорядочивание по приоритетам.
- Выбирается ребро $\vec{e}_r(v_0, v) \mapsto v$ с минимальной величиной ошибки и заменяется на v . Во время этой операции треугольники, имеющие общие ребра с e_r , становятся сингулярными и удаляются. Оставшиеся грани, инцидентные вершине v_0 , модифицируются таким образом, что все, что было связано с v_0 , заменяется на v .
- Пересчитывается величина ошибки свертки ребра $\vec{e}_r(v_1, v) \mapsto v$. Добавляется стоимость ошибки схлопывания $\vec{e} = (v_0, v_1)$ в ту часть очереди, которая связана с вершиной v_1 , и модифицируется очередь по приоритетам. В результате формируется прогрессивная структура сети.

Когда происходит свертывание произвольного ребра $\vec{e}_r(v_0, v) \mapsto v$, две грани, примыкающие к ребру, становятся выродившимися. Свертывание ребра $e_r = \{v_0, v\}$ приводит к отображению треугольника $t = (v_0, v_1, v_2)$ в треугольник $t' = (v, v_1, v_2)$. Ребра $\{v_0, v_1\}$ и $\{v_0, v_2\}$ треугольника $t = (v_0, v_1, v_2)$ вырождаются (рис. 2).

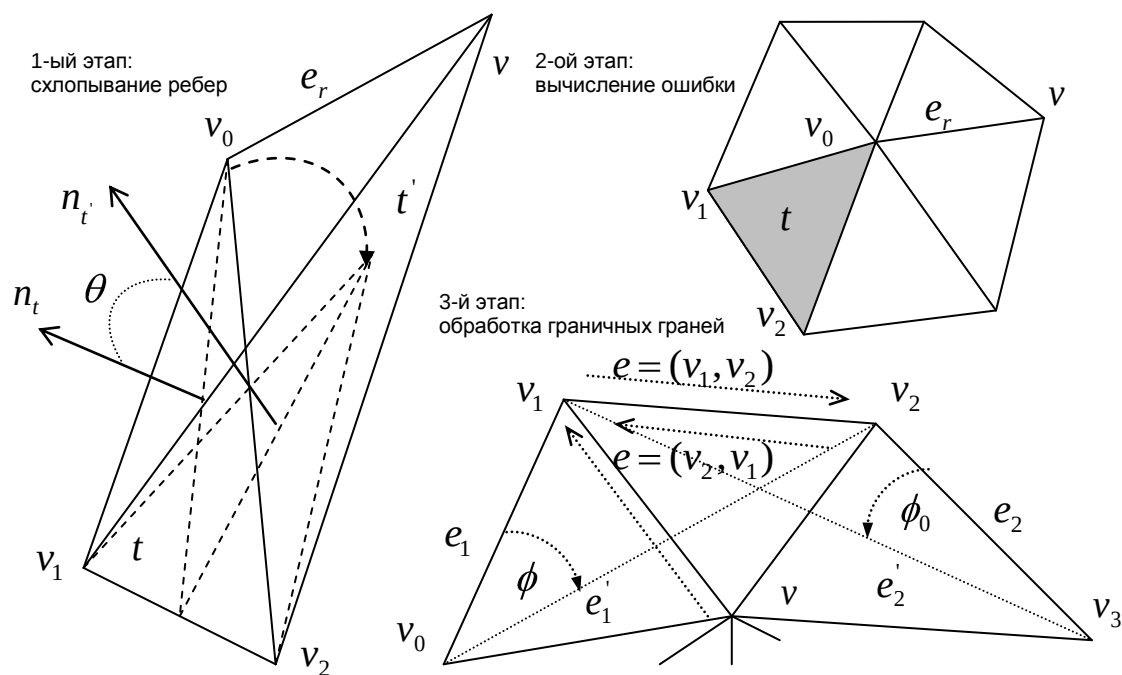


Рис. 2. Свертывание ребер

В результате смещения оставшихся граней происходит изменение геометрической формы поверхности. Величина этого изменения может характеризоваться, с одной стороны, углом поворота грани $t = (v_0, v_1, v_2)$, с другой стороны, площадью треугольника $t'' = (v_0, v, v_1)$. Чем больше та или другая величина, тем больше изменение формы

поверхности. Таким образом, для грани $t = (v_0, v_1, v_2)$ величина ошибки может характеризоваться произведением этих величин:

$$Q_t = A\theta,$$

где $A = \frac{1}{2} \|\mathbf{a} \times \mathbf{b}\|$, $\mathbf{a} = \mathbf{v}_0 - \mathbf{v}_1$, $\mathbf{b} = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}$, θ – угол между векторами нормалей двух треугольников. Суммарная величина ошибки $\vec{e}_r(v_0, v) \mapsto v$ может быть определена как сумма ошибок сверток всех граней, примыкающих к v_0 : $Cost(\vec{e}_r) = \sum_{t \in (v_0, v) \mapsto v} Q_t$.

Граничные грани требуют специальной обработки для сохранения формы модели. Ребра, расположенные вдоль границы, делим на две категории: ребра, которые имеют одну вершину на границе $\vec{e} = (v, v_1)$ и ребра, имеющие две вершины на границе $\vec{e} = (v_1, v_2)$. Ребро $e_1 = \{v_0, v_1\}$ поворачивается на угол ϕ при свертывании $\vec{e} = (v_1, v_2)$. Соответственно, если свертывается $\vec{e} = (v_2, v_1)$, то ребро $e_2 = \{v_2, v_3\}$ повернется на угол ϕ_0 , при этом получается $\phi_0 < \phi$. В результате схлопывания ребра $e = \{v_0, v\}$ треугольник $t = (v_0, v_1, v_2)$ может перекрыть грань (рис. 2).

Свертывание ребра $\vec{e} = (v_s, v_t) \mapsto v_t$ с конечной вершиной, находящейся на границе, не требует специальной обработки. Однако, если начальная вершина находится на границе, то свертывание ребра исказит границу, и это необходимо учитывать.

Ребро $e = \{v_0, v_1\}$ может быть свернуто в вершины v_1 или v_2 , но лучший результат будет при сворачивании в v_1 . Для достижения этого необходимо измерить угол ϕ и ϕ_0 между ребрами e_1 и e_1' и e_2 и e_2' соответственно.

Результаты апробации алгоритма

На рис. 3 представлены результаты апробации предлагаемого метода. Исходная полигональная модель содержит 3679 граней, т.е. 100% (а), а результаты упрощения – 2856 граней, т.е. 80% (б), и 2441 грань, т.е. 60% (в). На рис. 3 видно сохранение топологии, отсутствие разрывов и вырожденных граней.

Для оценки качества работы алгоритма и сравнения с другими известными алгоритмами предлагается вычислять ошибку аппроксимации между двумя полигональными моделями, которая базируется на вычислении расстояния аппроксимации (approximate distance) и может быть определена следующим образом. Дана точка p и поверхность S . Определим расстояние $e(p, S)$, и расстояние между двумя поверхностями S_1, S_2 как $e(p, S) = \min_{p' \in S} d(p, p')$, $E(S_1, S_2) = \max_{p \in S_1} e(p, S_2)$, где $d()$ – евклидово расстояние между двумя точками в E^3 . Необходимо отметить, что это расстояние несимметрично. Существуют поверхности такие, что $E(S_1, S_2) \neq E(S_2, S_1)$. Хаусдорфово расстояние (двустороннее) может быть получено как максимум $E(S_1, S_2)$ и $E(S_2, S_1)$. Среднее (mean) E_m расстояние между двумя поверхностями можно определить как интеграл по поверхности, определенный областью S_1 :

$$E_m(S_1, S_2) = \frac{1}{|S_1|} \int_{S_1} e(p, S_2) ds.$$

На рис. 4 приведены графики средней ошибки (расстояния аппроксимации) при уменьшении количества граней тестовой полигональной модели для разных алгоритмов упрощения [2, 3]. Разработанный алгоритм показал лучшие результаты.

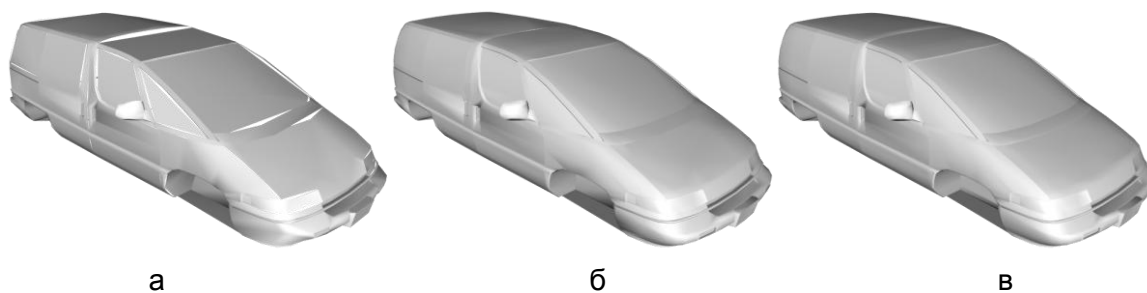


Рис. 3. Результат работы алгоритма

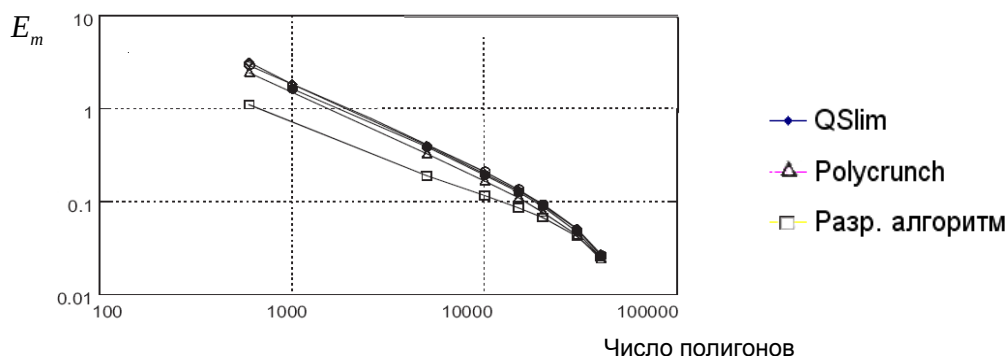


Рис. 4. Графики средней ошибки

Заключение

- В работе предложен алгоритм, обладающий следующими характеристиками.
- Алгоритм алгоритмически сохраняет визуально важные особенности полигональной модели лучшим образом по сравнению с известными алгоритмами упрощения.
 - Предложенный способ накопления ошибки не требует сохранения истории геометрических изменений, что позволяет эффективно упрощать большие полигональные модели, не требуя больших объемов памяти.
 - Алгоритм в вычислительном отношении показывает лучшие результаты по сравнению с известными алгоритмами, основанными на свертывании ребер.
 - Алгоритм автоматически предотвращает появление искажений типа свертки.

Литература

- 1.Парамонов П.П., Видин Б.В., Меженин А.В., Тозик В.Т. Методы представления сложных полигональных моделей в графических системах, работающих в режиме реального времени // Изв. вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – № 6. – С. 17–19.
2. Hoppe H. Progressive Meshes // Computer Graphics. – Vol. 30. –SIGGRAPH 96.
- 3.Garland M. Heckbert P. Multiresolution Modeling for Fast Rendering // Proceedings of Graphics Interface '94. – 1994.

- Тозик Вячеслав Трофимович** – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, tozik@mail.ifmo.ru
- Меженин Александр Владимирович** – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, mejenin@mail.ru

УДК 004.942

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОНСТРУКТИВОВ ПРИЕМО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

Д.А. Боголюбов, Н.С. Кармановский

Рассматривается алгоритм реализации метода конечных разностей для автоматизированного расчета тепловых режимов печатных плат приемо-измерительных модулей, содержащих тепловыделяющие элементы термостабилизации. Рассмотрены сравнительные характеристики разработанного метода с известными типовыми программными продуктами.

Ключевые слова: приемо-измерительные модули, метод конечных разностей, РЭА, САПР.

Введение

Особенностью работы печатных плат приемо-измерительных модулей системы ГЛОНАСС является наличие в них тепловыделяющих элементов (ТЭ), необходимых для стабилизации теплового режима. Поддержание температуры производится пятью нагревательными элементами мощностью по 0,75 Вт, равномерно распределенными по поверхности печатной платы [1]. Это, в свою очередь, требует проведения расчета тепловых режимов с учетом особенностей размещения ТЭ (нагревателей).

На сегодняшний день имеется большое количество программных продуктов, позволяющих произвести анализ тепловых режимов подобных модулей. Вместе с тем существующее программное обеспечение (ПО) не предоставляет требуемой точности расчета печатных плат с ТЭ, имеет значительные системные требования к аппаратным ресурсам САПР и высокую стоимость лицензий для конечных пользователей.

Предлагаемый в работе подход к автоматизации тепловых расчетов реализован в соответствии с классической схемой конечно-разностного анализа [2]. Явные методы решения дифференциальных уравнений при требуемой точности вычислений предполагают выполнение излишне большого числа итераций. Неявные методы позволяют увеличить временной шаг, но вынуждают производить громоздкие вычисления. В работе предложено использовать алгоритм автоматизации расчета тепловых режимов на основе полуявных методов, за счет чего удастся уменьшить объем вычислений и при этом существенно увеличить временной шаг без потери точности. Точность расчета с использованием данного алгоритма может устанавливаться пользователем [3].

Конечно-разностная модель

Программная реализация предложенного метода сводится к автоматизации решения системы дифференциальных уравнений второго порядка. В настоящее время известно несколько способов решения. Для разрабатываемого программного обеспечения был выбран следующий способ.

На первом этапе производим дискретизацию объема печатной платы и ТЭ. Полученные структурные элементы делим на четыре типа:

- внутренние структурные элементы печатной платы;
- внутренние структурные элементы нагревателей;
- структурные элементы платы и нагревателей на границе с окружающей средой;
- структурные элементы на месте контакта нагревателей и платы.

Для расчета элементов первого типа используется решение уравнения вида [4]

$$\frac{U_{i,j,k,n+1} - U_{i,j,k,n}}{\Delta T} = a \frac{U_{i-1,j,k,n} + U_{i+1,j,k,n} + U_{i,j-1,k,n} + U_{i,j+1,k,n} + U_{i,j,k-1,n} + U_{i,j,k+1,n}}{\Delta x}. \quad (1)$$

Здесь a – температуропроводность материала.

Для элементов второго типа используется дифференциальное уравнение по методу Гаусса-Зейделя.

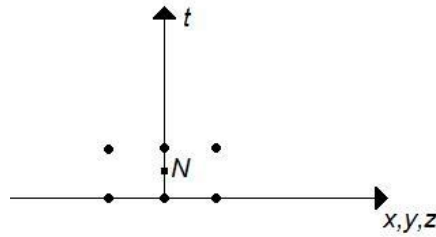


Рис. 1. Точки на плоскости, имеющиеся для решения уравнения данного элемента методом Гаусса-Зейделя

Строится аппроксимация в точке N (рис. 1). Тепловая мощность выделяется в этой точке и обозначается $f_{i,j,k,n+1/2}$ (n – шаг по времени):

$$U_{i,j,k,n+1}^{(p+1)} = \frac{\alpha}{1+3\alpha} (U_{i-1,j,k,n+1}^{(p+1)} + U_{i,j-1,k,n+1}^{(p+1)} + U_{i,j,k-1,n+1}^{(p+1)} + U_{i+1,j,k,n+1}^{(p+1)} + U_{i,j,k+1,n+1}^{(p+1)} + U_{i,j,k+1,n+1}^{(p+1)}) + \frac{1}{1+3\alpha} r_{i,j,k,n} \quad (2)$$

где

$$r_{i,j,k,n} = \frac{\alpha}{2} (U_{i-1,j,k,n} + U_{i+1,j,k,n} + U_{i,j-1,k,n} + U_{i,j+1,k,n} + U_{i,j,k-1,n} + U_{i,j,k+1,n}) + U_{i,j,k,n} + \Delta T \cdot f_{i,j,k,n+1/2},$$

$$\alpha = \frac{a\Delta T}{\Delta x^2}.$$

Свойства элементов третьего типа как граничных с окружающей средой определяются свойствами среды [4]. Это необходимое допущение было сделано для окончательной формулировки граничных условий к задаче.

Для элементов четвертого типа существуют два граничных условия:

$$\begin{cases} U_- = U_+ \\ \lambda_1 \frac{\partial U_+}{\partial y} = \lambda_2 \frac{\partial U_-}{\partial y} \end{cases},$$

где U_- , U_+ – тепловые мощности, заданные для контактирующих элементов, λ_1 и λ_2 – теплопроводности материалов контактирующих элементов.

Первое условие в этой системе означает, что U равны для обеих контактирующих поверхностей. Это обусловлено тем, что для решения контактной задачи задается единая сетка для обоих контактирующих слоев.

Производные заменяются на конечные разности. Приближение 1-го порядка:

$$\lambda_1 \frac{U_{i,j_0+1,k-1,n} - U_{i,j_0,k-1,n}}{\Delta x} = \lambda_2 \frac{U_{i,j_0,k_0,n} - U_{i,j_0,k,n}}{\Delta x}, \quad \forall i, k. \quad (3)$$

Направление j перпендикулярно границе раздела сред. В данном случае j_0 – индекс слоя элементов, где проходит граница раздела сред. Заметим, что равенство (3) не зависит от параметров конечно-разностной сетки и не вносит изменений в устойчивость системы.

Затем производится решение по методу последовательной релаксации:

$$U_{i,j_0,k,n+1}^{(p+1)} = U_{i,j_0,k,n+1}^{(p)} + \omega \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} U_{i,j_0,k,n+1}^{(p)} + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} U_{i,j_0-1,k,n+1}^{(p+1)} - U_{i,j_0,k,n+1}^{(p)} \right), \quad (4)$$

где ω – коэффициент релаксации. Результатом расчета по указанной методике является получение тепловой мощности и значений перегрева для каждого структурного элемента печатной платы и ТЭ.

Алгоритм реализации метода

Алгоритм разрабатываемого программного обеспечения представлен на рис. 2.

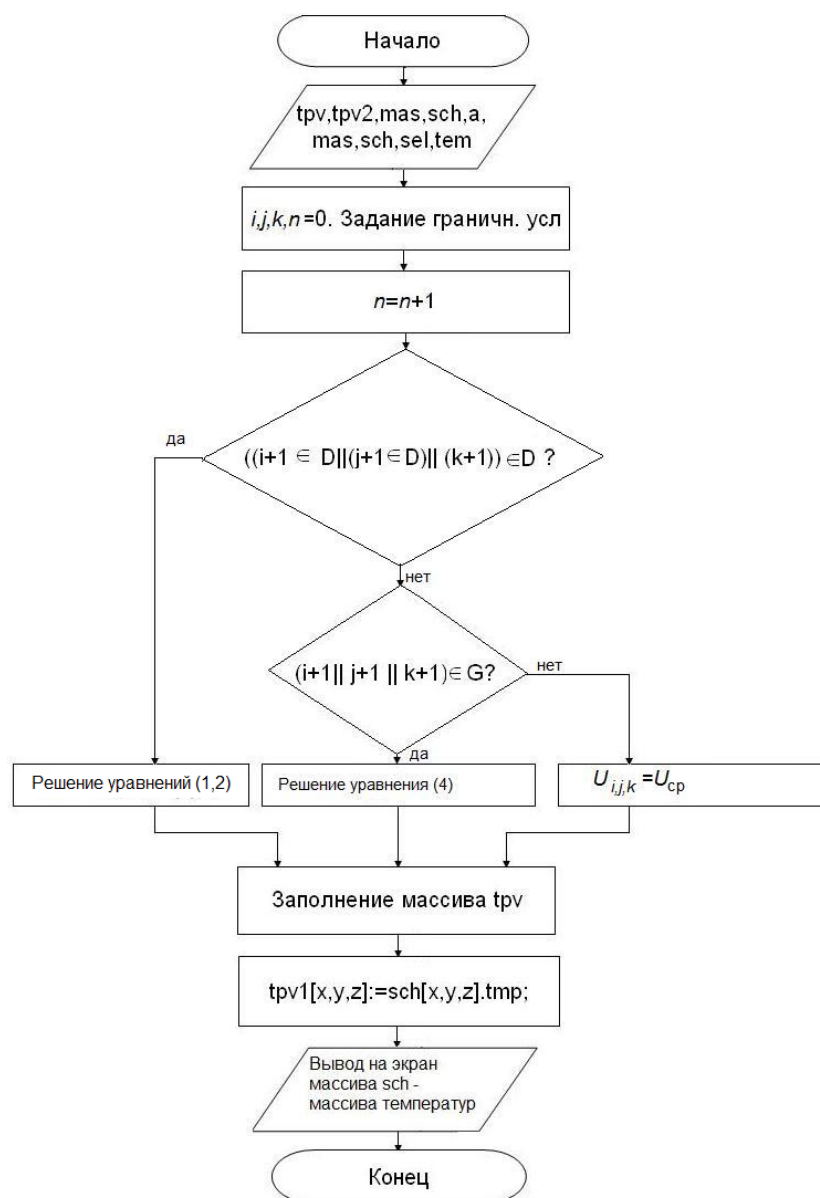


Рис. 2. Алгоритм разрабатываемого программного обеспечения

Отличительной особенностью разрабатываемого программного обеспечения является возможность отслеживания хода расчета, приближенного к режиму реального времени. Пользователь может получать графическое изображение результатов расчета с временным шагом в 1 с и останавливать (приостанавливать) расчет в любой момент времени. Такая возможность не реализуется в известных программных пакетах. Это обусловлено чрезмерными затратами аппаратных ресурсов САПР. Важно отметить, что примененные технологии визуализации реализованы на видеокартах GeForce 4 и анало-

гичных, что позволяет значительно сократить системные требования по сравнению с программами-аналогами.

В частности, глобальные массивы, куда записываются исходные данные, разделены по своим функциям. Один из них (tem) содержит данные исключительно для визуализации процесса расчета (цвета элементов, их координаты и параметр прозрачности), а второй (trv) – данные теплофизической модели (свойства материала, тепловая мощность, температуропроводность). Первый массив рассчитывается с помощью графического сопроцессора, а второй массив – с помощью центрального процессора. Подобное разделение процессов ведет к существенной экономии аппаратных ресурсов и позволяет реализовать заявленную возможность визуализации результатов теплового расчета в режиме, близком к режиму реального времени: шаг, с которым выполняется расчет, может быть равен 10 мс. При расчете с шагом в 100 мс на компьютере на основе одноядерного процессора Celeron с оперативной памятью 512 Мб визуализация результатов реализуется полностью без каких-либо затруднений с возможностью запуска других приложений операционной системы.

Результаты расчетов

При программной реализации данного алгоритма рационально используется объем оперативной памяти. Алгоритм позволяет сократить время расчета тепловых режимов на 10–15 % по сравнению с программами-аналогами.

Используемое в настоящее время ПО не предоставляет требуемую точность расчетов, имеет закрытые исходные коды и алгоритмы, требует значительных вычислительных мощностей. Основные программы-аналоги – SolidWorks/COSMOSWorks, ANSYS, ЛИРА – уступают предлагаемому программному обеспечению по ряду показателей, таких как требования к аппаратным средствам САПР, точность предоставляемых результатов, удобство пользовательского интерфейса. Сравнительный анализ современных программных пакетов был произведен в ходе расчетов тепловых режимов одних и тех же радиоэлектронных блоков. Результаты этого анализа приведены в табл. 1.

Программные продукты	Декларируемая погрешность результатов	Фактическая погрешность результатов	Системные требования
SolidWorks/ COSMOSWorks	3,5 – 17%	11,2 %	2-ядерный ЦП, 2,4 ГГц с 3 Гб ОЗУ
ANSYS	5 – 9%	7,2 %	2-ядерный ЦП, 2,8 ГГц с 4 Гб ОЗУ
ЛИРА	10-14%	13,2 %	2-ядерный ЦП, 1,8 ГГц с 1 Гб ОЗУ
Разрабатываемое ПО	4-7 %	5,7 %	ЦП Celeron, от 2 ГГц с 512 Мб ОЗУ

Таблица 1. Сравнительный анализ программных продуктов автоматизации тепловых расчетов

Декларируемая погрешность рассматриваемых САПР соответствует значениям, приведенным в официальной документации к программным пакетам. Фактическая погрешность результатов расчетов приведена на примере расчетов шести модулей, а также климатических испытаний. Из табл. 1 видно, что погрешность расчетов в рассматриваемых программах сравнительно невелика. Программный пакет ANSYS соответствует требованиям по погрешности расчета тепловых режимов, предъявляемых ОСТ 4-Г0.012.221-78. Однако из-за перегруженности пользовательского интерфейса и несовершенства применяемых алгоритмов ANSYS имеет несоизмеримо большие системные

требования к аппаратным средствам САПР по сравнению с разрабатываемым ПО. Стоимость лицензии для юридических лиц продукта ANSYS Mechanical, предоставляющего неполную функциональность CAD/CAE систем, составляет от 50 000 руб. за установку на одно рабочее место.

Ввиду необходимости установки САПР тепловых расчетов не менее чем на 5 рабочих мест представляется очевидной экономическая выгода от предлагаемого ПО. Оно свободно от излишней функциональности и обладает большей гибкостью вследствие открытых алгоритмов и программного кода, которые могут быть скорректированы в зависимости от конкретной поставленной задачи. Основные требования к функциональности разрабатываемого программного обеспечения заключаются в следующем:

1. возможность выполнения расчетов как стационарного состояния, так и переходного процесса;
2. обеспечение общей погрешности расчета в пределах 10%;
3. возможность контроля за ходом расчета в режиме реального времени или приближенном к реальному времени с шагом не более 5 с.

Апробация программы произведена на примере расчета приемо-измерительного модуля (рис. 3), содержащего 5 ТЭ мощностью 0,75 Вт. Размер модуля 155×210×12 мм. Рабочая температура составила минус 10°C, начальная температура – минус 40°C.

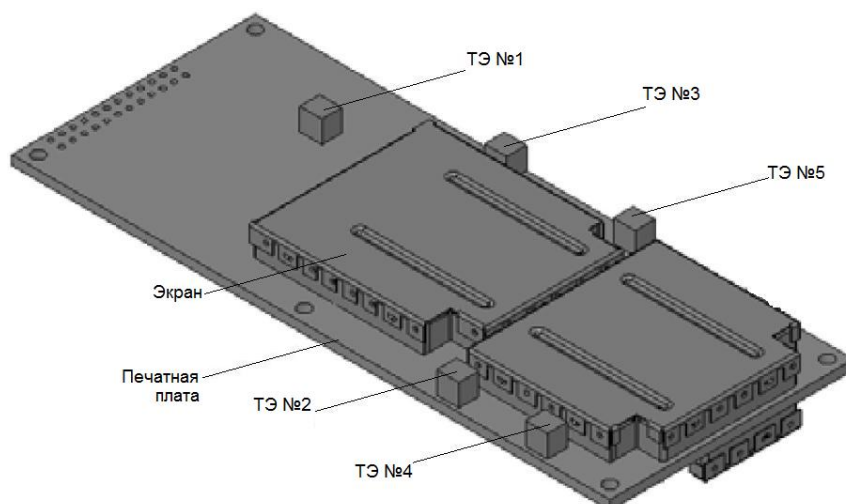


Рис. 3. Плата приемо-измерительного модуля

Результаты теплового расчета приемо-измерительного модуля через 8 минут после включения обогрева приведены в табл. 2.

Программный продукт	Средняя температура под экраном	Температура нагревательного элемента № 1	Температура нагревательного элемента № 2	Температура нагревательного элемента № 4
SolidWorks/ COSMOSWorks	-16,0 (21%)	-14,9 (24%)	-12,9 (20%)	-12,6 (19%)
ANSYS	-10,6 (3%)	-8,2 (3%)	-7,6 (4%)	-7,7 (4%)
ЛИРА	-13,1 (11%)	-3,0 (12%)	-2,8 (10%)	-2,7 (11%)
Разрабатываемое ПО	-8,8 (3%)	-5,5 (5%)	-5,1 (3%)	-5,2 (3%)
Климатические испытания	-9,74	-7,11	-6,12	-6,26

Табл. 2. Результаты расчета тепловых режимов приемо-измерительного модуля, °C

В табл. 2 в скобках приведено отклонение расчетных значений от результатов климатических испытаний приемо-измерительного модуля. Из этих данных следует, что в ходе выполнения расчетов разрабатываемое программное обеспечение показало уровень программной погрешности, сопоставимый с ПО ANSYS. Итоговый уровень программной погрешности составил 3–5 %, что укладывается в интервал погрешности расчета, приведенный в табл. 1.

Заключение

За счет оптимизации взаимодействия программы с оперативной памятью (табл. 1) достигается значительная экономия аппаратных ресурсов по сравнению с аналогичными программными комплексами. В частности, SolidWorks 2010 потребовало для осуществления подобных циклов расчетов 3 Гб оперативной памяти на модели приемо-измерительного модуля, тогда как разрабатываемое программное обеспечение функционирует при наличии в компьютере модуля оперативной памяти объемом 512 Мб. Время проведения расчетов при этом сопоставимо у обеих программ. Было установлено, что при использовании оперативной памяти большего объема (1 Гб) экономия времени составила 12%.

В настоящее время данная программная разработка представляется актуальной и перспективной, и в ближайшее время планируется провести дополнительную корректировку алгоритма для дальнейшего уменьшения требований к аппаратным средствам САПР и расширения функциональности программы. Разрабатываемое ПО может стать системой поддержки принятия решений на всех этапах проектирования подобных модулей.

Литература

1. Боголюбов Д.А., Кармановский Н.С. Исследование тепловых режимов различных радиоэлектронных конструктивов с помощью системы COSMOSWorks // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2007. – № 44. – С. 234–238.
2. Копысов С.П., Пономарев А.Б., Рынков В.Н. Открытое визуальное окружение для взаимодействия с геометрическими ядрами, генерации / перестроения / разделения сеток и построения расчетных моделей // Труды Всероссийской конференции «Прикладная геометрия, построение расчетных сеток и высокопроизводительные вычисления». – М.: ВЦ РАН, 2004. – Т. 2. – С. 154–164.
3. Баранов Л.Б. Актуальные вопросы технологии современных САПР // Труды Всероссийской конференции «Прикладная геометрия, построение расчетных сеток и высокопроизводительные вычисления». – М.: ВЦ РАН, 2004. – Т. 2. – С. 131–142.
4. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. – М.: Наука, 1971. – 552 с.

Боголюбов Данила Александрович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, astenias@mail.ru

Кармановский Николай Сергеевич – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, karmanov50@mail.ru

7 МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.056.4

МОДЕЛЬ КОНКУРЕНЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

А.В. Разумовский

Безопасность программного обеспечения зависит не только от реализованных в нем механизмов защиты, но также и от его способности конкурировать с другими образцами программного обеспечения, выживать в конкурентной борьбе с ними. Для оценки конкурентоспособности программы в будущем необходима модель ее развития в условиях конкуренции с другим программным обеспечением.

Ключевые слова: модель, безопасность, программное обеспечение, оценка, информация.

Введение

Программное обеспечение (ПО) испытывает давление не только со стороны злоумышленников и вредоносных программ, но и со стороны конкурентов. Цель каждого программного продукта – максимизировать свою долю на рынке, увеличить количество копий, установленных на компьютерах пользователей. Чем популярнее становится программа, тем больше предпринимается попыток по ее взлому или компрометации. Логика злоумышленников в данном случае проста: чем популярнее ПО, тем больше инсталляций на компьютерах, тем выше вероятность успешной атаки. В качестве примера можно привести современные браузеры. До недавнего времени браузером компании Microsoft Internet Explorer пользовалось подавляющее число пользователей. Брешы в безопасности появлялись очень часто. По мере роста популярности другого браузера, Firefox от компании Mozilla, в последнем чаще стали находить уязвимости, чем до начала роста его популярности. Уязвимости стали появляться не потому, что разработчики стали меньше уделять внимания безопасности, а потому, что злоумышленники стали предпринимать больше попыток его взлома. Этот пример показывает, что конкуренция между программами напрямую влияет на безопасность программного продукта в целом.

Немаловажным моментом является сложность современного ПО в сочетании с требованием быстрых его изменений. В условиях спешки не всегда можно предусмотреть, как повлияет новый функционал на общую управляемость ПО.

Для прогнозирования роста популярности программного обеспечения, оценки его качества и безопасности будем использовать модель эволюции [2], адаптировав ее к программному обеспечению. Модель включает представление жизненного цикла ПО в виде эволюции во времени набора программ, разработанных по единому техническому заданию, но реализованных различными авторами. Экземпляры программ рассматриваются как конкурирующие объекты. Ввиду несовершенства современных технологий программирования в каждой программе есть ошибки, а, следовательно, и угрозы. С течением времени программы модифицируются с целью устранения угроз. В результате появляются новые программы, а часть программ удаляется из конкуренции. Таким образом, модель предполагает, что каждый экземпляр программы характеризуется тремя свойствами, зависящими от времени: качество, модификация и удаление. Каждая программа описывается вектором параметров, которые характеризуют функционал, определенный в техническом задании, алгоритм его реализации, архитектуру программ, изменения в коде за счет воздействия внешних угроз, таких как вирусы и черви, и т.д. Процесс эволюции заключается в сравнении качества программ и выборе лучшей программы в каждый момент времени (тиражировании лучшего экземпляра, модификации худших программ и удалении плохих программ).

Оценка качества программ

Перед тем как перейти к описанию самой модели, необходимо каким-то образом оценить программы. Для сравнения программ между собой необходимо определить параметры или критерии, по которым можно сравнить программы. В этой модели выбор критериев оценки и последующую оценку производит эксперт. После оценки всех программ формируется оптимальный набор значений параметров. Оптимальный набор рассчитывается исходя из значений параметров всех программ. В него попадают наиболее часто встречающиеся значения параметров. Обозначим оптимальный набор значений как S_m . Набор значений параметров каждой программы обозначим как S_i . После оценки всех программ рассчитаем функцию приспособленности $f(S)$:

$$f(S) = \exp[-d_H(S_i, S_m)], \quad (1)$$

где d_H – разность между параметрами i -той программы и оптимальным набором параметров. В основе расчета величины лежит расстояние Ли [3].

Модель эволюции программного обеспечения

Рассматривается множество программ X_i , которое разделяется на подмножества X_j близких по характеристикам экземпляров программ, каждая группа X_j состоит из множества экземпляров программ x_i , изменяющихся во времени. Динамика развития каждой группы X_j определяется следующим образом:

$$\frac{dX_j}{dt} = (AQ_i - D_i)X_j + \sum_{k \neq i} \omega_{ik}X_k + \Phi_i. \quad (2)$$

Каждая группа программ X_j стремится максимально увеличить свою численность, для чего каждый экземпляр старается улучшить свои параметры, приближая их к оптимальным. При этом суммарное количество всех экземпляров программ не должно превышать X_i ,

$$\sum_j X_j \leq X_i. \quad (3)$$

Величина A_i описывает создание новых копий программы и зависит от приспособленности программы $f(S_i)$. Чем ближе параметры программы к оптимальным, тем меньше значение $f(S_i)$, соответственно, увеличение количества программ происходит более быстро. При этом увеличивается количество программ, входящих в группу X_j .

$$A_i = f(S_m) - f(S_i),$$

где $f(S_i)$ – функция приспособленности (1), $f(S_m)$ – функция приспособленности программы с идеальными параметрами. Значение A задается экспертом и задает начальную численность группы.

Величина Q_i – фактор качества. Более качественные программы распространяются с большей скоростью. Данная величина основывается на количестве экземпляров x в группе X_j . В модели качество каждой программы измеряется через расстояние Ли. Таким образом, качество всей группы можно обозначить как сумму качеств программ, входящих в группу X_j :

$$Q_i = \sum_i d_H,$$

где d_H – расстояние Ли. Величина D_i описывает запланированное удаление из группы и обратно пропорциональна функции приспособленности $f(S_i)$ конкретного экземпляра программы,

$$D_i = \frac{1}{f(S_i)}.$$

Функция приспособленности экспоненциально убывает с ростом разницы между параметрами (1), поэтому коэффициент удаления уменьшается также по экспоненте, т.е., чем выше приспособленность, тем больше экземпляров добавляется в группу (A) и тем меньше экземпляров отмирает (D).

Величина ω – процент программ из группы, которые подвергаются воздействиям угроз. Данная величина учитывает воздействие угроз, которым с определенной частотой подвергаются программы. Некоторые из таких воздействий вызывают изменения в работе программ. Таким образом, темп изменений отражает процент программ из общей группы, которые подверглись воздействию угроз. Статистика заражений говорит о том, что процент зараженных программ колеблется на уровне от 0,01 до 0,25 % от всего количества программ [4]. В данной работе мы предполагаем, что заражение экземпляров будет совпадать со статистическими.

Φ – количество программ, которые удаляются из группы при достижении группой предельного количества экземпляров программ $i_{\max}$:

$$\Phi = |i_{\max} - X_j|$$

Экспертное задание A, Φ отражает ограниченность ресурсов в модели. В нашем случае внешним ресурсом выступают пользователи, которые не могут все одновременно приобрести какую-либо программу из группы. Параметры Q, D, ω рассчитываются непосредственно в процессе взаимодействия программ в группе.

Результаты моделирования

Результаты компьютерного моделирования, представленные на рисунке, показывают, что чем больше параметры программного обеспечения отличаются от оптимальных, тем сильнее падает численность этих программ, причем критичным является начальное количество программ: если оно достаточно, то программа может изменить один или несколько своих параметров, чтобы приблизиться к оптимуму.

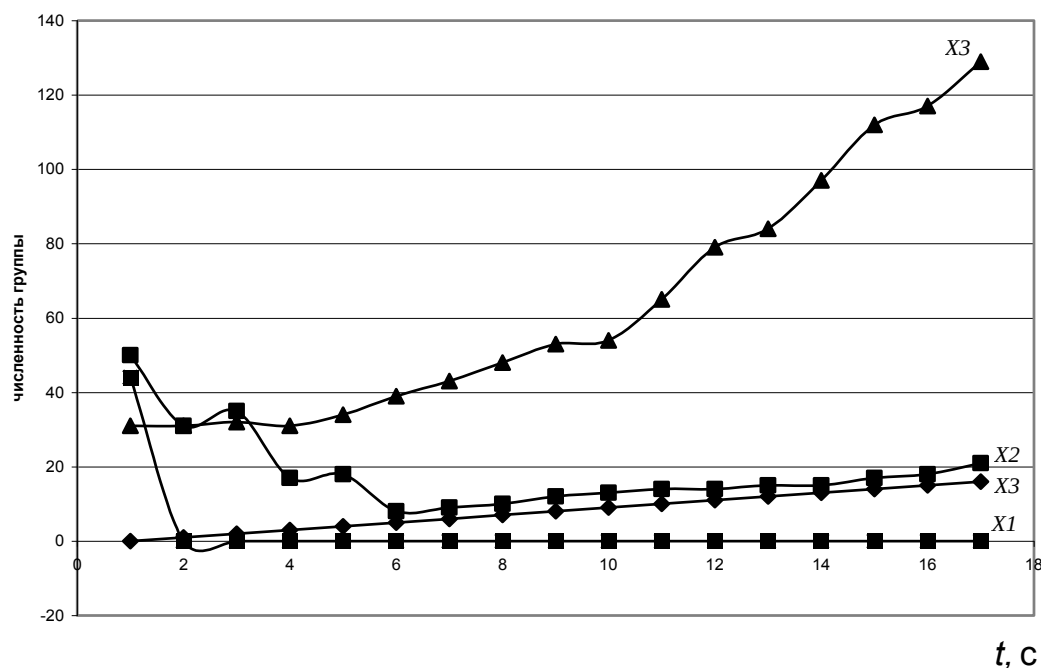


Рисунок. Результат компьютерного моделирования. Верхний график – группа, которая первой достигла ограничения численности, заданного параметром Φ

Рассмотренная модель может использоваться для оценки качества программного обеспечения, прогнозирования роста количества его копий во времени. Также ее можно использовать при расчете оптимальных параметров на этапе проектирования программного обеспечения, оценки различных сложных структур (узлы сети), для прогнозирования развития сложных программных комплексов.

Заключение

Описанная модель является дополнительным инструментом при разработке современного ПО. Эта модель позволит на ранних этапах разработки моделировать возможные проблемы, в том числе безопасности, разрабатывать более гибкую архитектуру приложений, что в конечном счете приведет к повышению надежности и безопасности программного обеспечения.

Литература

1. Редько В.Г. Эволюционная кибернетика. – М.: Наука, 2001. – 156 с.
2. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. – М.: Мир, 1973. – 216 с.
3. Ушаков А.В., Хабалов В.В., Дударенко Н.А. Математические основы теории систем: элементы теории и практикум / Под ред. Ушакова А.В. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007.
4. Обзор вирусной обстановки от компании «Доктор Веб» за первое полугодие 2009 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://news.drweb.com/show/?i=399&c=10&p=0>, свободный

Разумовский Андрей Владимирович – Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, xrew@yandex.ru

УДК 004.8:004.9

ФОРМАЛЬНЫЕ СПЕЦИФИКАЦИИ АКТИВНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПОНЕНТОВ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ БИЗНЕС-СРЕДЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИЙ

А.В. Маслобоев

Для реализации мультиагентной системы информационно-аналитической поддержки инновационной деятельности разработаны акторные модели функционирования программных агентов в виртуальной бизнес-среде развития инноваций. Модели представляют собой формальную спецификацию агентов системы. Предложено унифицированное описание моделей и алгоритмов функционирования агентов различных типов субъектов инноваций в терминах концептуальной модели мультиагентной виртуальной бизнес-среды. Комбинирование различных парадигм моделирования в акторных моделях обеспечило унифицированное описание процессов взаимодействия агентов в виртуальной бизнес-среде, что упрощает программную реализацию процедур обработки концептуальной модели и дает возможность более «тонкой» настройки агентов на условия конкретной задачи.

Ключевые слова: концептуальное моделирование, мультиагентная система, информационная поддержка, инновационная деятельность, виртуальная бизнес-среда.

Введение

Развитие инновационной деятельности является одним из путей преодоления последствий мирового экономического кризиса как на национальном, так и на региональном уровне. Поэтому научные исследования, направленные на совершенствование управления инновационными процессами, имеют высокую практическую значимость. В настоящее время задача создания информационной инфраструктуры поддержки инновационной деятельности не ограничивается простым накоплением все больших и больших объемов информации. Для реализации потенциала инновационного развития необходимы методы и средства обработки информации, направленные на автоматизацию различных аспектов инновационной деятельности, на облегчение и повышение эффективности анализа результативности инноваций. Эффективным средством решения подобных задач, согласно [1], является представление экспертных знаний о предметной области в виде формализованных концептуальных моделей и онтологий, а также имитационное моделирование инновационных процессов. Для этого необходимо создать соответствующие проблемно-ориентированные модели и информационные технологии.

В работе предложены формальные спецификации (акторные модели) активных программных компонентов мультиагентной виртуальной бизнес-среды развития инноваций. Интеграция различных парадигм моделирования в акторных моделях обеспечивает возможность создания унифицированного описания агентов и процессов их самоорганизации в открытых одноранговых проблемно-ориентированных системах информационно-аналитической поддержки.

Структура мультиагентной виртуальной бизнес-среды развития инноваций

Компонентами информационной среды развития инноваций являются, во-первых, открытый, расширяемый и доступный широкому кругу субъектов инновационной деятельности пул информационных ресурсов инноваций, во-вторых – методы и программно-технические средства полной или частичной автоматизированной обработки этих

ресурсов. Эти два компонента образуют верхний уровень информационной среды развития инноваций – виртуальную бизнес-среду (ВБС) инновационной деятельности. В терминах информационных систем виртуальная бизнес-среда представляет собой проблемно-ориентированную надстройку над базовой информационно-коммуникационной инфраструктурой. Последняя при этом обеспечивает эффективные информационные коммуникации, централизованные или распределенные хранение и доступ к данным, тогда как в рамках ВБС осуществляется проблемно-ориентированная обработка информации, решение задач, сформулированных в терминах предметной области.

В условиях распределенности и открытости информационной среды инноваций особенную важность приобретает задача обеспечения единого структурного представления такой среды. Эту задачу позволяет решить агентно-ориентированная концептуальная модель виртуальной бизнес-среды (КМ ВБС) [2]. Модель определяет состав и взаимосвязи элементов ВБС, а также обеспечивает базу для формализованного описания инновационных предложений с целью их последующего использования в процессе автоматизированного синтеза и анализа инновационных структур. Агентная ориентированность выражается в том, что в модель явно включено формализованное описание программных агентов, представляющих в виртуальной среде реальных участников инновационных бизнес-процессов.

Формальная модель интеллектуального агента в терминах КМ ВБС

Агенты (акторы) в концептуальной модели виртуальной бизнес-среды развития инноваций представляют интересы субъектов инноваций S и характеризуются множеством инновационных предложений – BI , которые они представляют в виртуальной среде, множеством базовых организационных структур – ORG^A , соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов, и внутренней структурой – C^A , описывающей функциональное устройство агента:

$$A = \{S, BI, ORG^A, C^A\}.$$

Организационная структура актора формально описывается в виде

$$ORG^A = \langle G^A, RL^A, CP^A, ACT^A, STR^A, L, ST, SL, T \rangle,$$

где G^A – дерево целей агента, которые он должен достичь для решения поставленной перед ним задачи; RL^A – множество ролей агента, в которых он должен выступать для достижения соответствующих целей; CP^A – множество навыков и способностей агента, которыми он должен обладать для исполнения соответствующей роли; ACT^A – множество действий; STR^A – множество стратегий поведения агента в направлении достижения соответствующих целей, причем $G^A \equiv G^S$, $RL^A \equiv RL^S$, $CP^A \equiv CP^S$, $ACT^A \equiv ACT^S$ и $STR^A \equiv STR^S$; L – множество языков; ST – множество состояний агента; SL – множество законов (правил) и ограничений функционирования агента, причем ограничение задается парой $\langle act, \phi \rangle$, закон sl есть множество ограничений $\langle act_i, \phi_i \rangle$, $\forall act_i \in ACT, \phi_i \in L, st \models \phi$; T – обобщенная функция переходов $T: ST \times ACT \times SL \rightarrow 2^{ST}$, удовлетворяющая следующим условиям: а) для любых $st \in ST, act \in ACT, sl \in SL$, если состояние st удовлетворяет ограничению ϕ , $st \models \phi$, и пара $\langle act, \phi \rangle \in sl$, то $T\langle st, act, sl \rangle = \emptyset$; б) для любых $st \in ST, act \in ACT, sl_1 \in SL, sl_2 \in SL$, если $sl_1 > sl_2$, то $T\langle st, act, sl_1 \rangle \subseteq T\langle st, act, sl_2 \rangle$.

Все агенты системы используют для взаимодействия друг с другом и построения общих и локальных планов действий иерархическую систему языков:

$$L = \langle L_0, L_1, L_2 \rangle,$$

где L_0 – язык исполнительного уровня (определяется используемыми сетевыми сервисами); L_1 – язык локального планирования, предназначенный для построения плана действий агента; $L_2 = \langle L_2^S, L_2^A \rangle$ – язык составления общих планов и взаимодействия с другими агентами; L_2^S – язык взаимодействия участников бизнес-процессов, а $L_2^A = \langle cmd, rep, lang \rangle$ – язык взаимодействия участников бизнес-процессов и их агентов; cmd – язык запросов (управления агентом), rep – форматированные результаты работы, $lang$ – язык взаимодействия агентов (*ACL – agent communication language*);

Внутренняя структура агента (актора), определяющая его функциональное устройство, описывается в виде $C^A = (K, M, P, R, I, C)$, где K – ментальная подсистема; M – подсистема моделирования (имитационный аппарат – комплекс системно-динамических моделей, с помощью которого агент становится способным прогонять внутри себя сценарии развития инновационных процессов и поведения конкурентов с целью прогнозирования рисков и экономического эффекта от капиталовложений в инновации); P – подсистема анализа и планирования; R – реактивная подсистема; I – подсистема координации и взаимодействия; C – подсистема коммуникаций.

Акторные модели функционирования интеллектуальных агентов в ВБС

На сегодняшний день одной из практических задач построения открытых много-агентных систем, согласно [3], является формализация и спецификация агентов и МАС, а также разработка моделей и методов коммуникации (диалога) агентов и средств унифицированного описания их поведения и поддержки миграции по сети. Для формализации и спецификации агентов, а также для унифицированного описания процессов их взаимодействия в МАС используются различные научные парадигмы: концептуальное моделирование [2], автоматный подход [4], аппарат нечетких отношений [5], логическое [6] и алгебраическое программирование [7], теория рефлексивных игр [8].

В теории агентов актор – это агент, обладающий некоторым поведением и имеющий свой почтовый ящик в сети как средство коммуникации с другими агентами системы (обмен сообщениями) [5]. В настоящей работе под актором понимается сущность, выполняющая заданную роль в системе. Роль актора в системе определяется типом и текущими целями участника инновационного процесса (инноватора, инвестора, производителя и т.д.), которого представляет актор. Каждой роли соответствует своя модель функционирования (модель поведения). Акторы (активные агенты) в концептуальной модели виртуальной бизнес-среды развития инноваций задаются множествами, включающими идентификаторы субъекта инноваций и ассоциированными с его текущей ролью в системе инновационными предложениями, структурированными наборами целей и функций.

Тип (роль) агента субъекта инноваций определяется набором функций $F = \{f_i\}, i = \overline{1, Q}$, которые он выполняет в системе, $g : RL^A \rightarrow F$. Множество действий агента, $ACT^A = \{act_i^a\}, i = \overline{1, D}$, называется планом действий агента. План действий агента определенного типа в конкретной ситуации образует стратегию поведения актора в системе, которую он должен реализовать для достижения поставленных перед ним це-

лей – например, поиск партнеров по бизнесу при заданных условиях и (или) формирование экономически эффективных инновационных структур, и зависит от его текущего состояния. Каждое действие агента представляет собой набор примитивных операций – $act_i^a = \{opr_j^a\}, i \in I, j \in J$.

Состояние i -го агента зависит от состояния среды функционирования $ST_{E_{BEC}}$ и состояния других агентов системы, которые оцениваются им с помощью подсистемы имитационного моделирования (имитационного аппарата):

$$v: ST_i^A \rightarrow ST_j^A \times ST_{E_{BEC}}, i = \overline{1, R}, j = \overline{1, W}, i \neq j.$$

Поведение агента определяется его текущим состоянием ST^A , ролью (типом) агента в системе RL^A , набором действий, которые агент может выполнять, ACT^A , состоянием внешней среды $ST_{E_{BEC}}$, состоянием окружения (других агентов), целью агента G^A в текущий момент времени T и условиями $W(\bar{x})$, при которых актор изменяет свое состояние:

$$u_i^a = f_i(st_i^a, rl_i^a, act_i^a, ST_{E_{BEC}}, g_i^a, W(\bar{x}), R(\bar{y})), i \in N,$$

где $RL^A = \{rl_j^a\}, j = \overline{1, L}$ – множество типов агентов в системе; $ST^A = \{st_j^a\}, j = \overline{1, M}$ – множество состояний агента (определяется на основе анализа параметров модели среды и моделей поведения других агентов); $ACT^A = \{act_j^a\}, j = \overline{1, D}$ – множество действий, которые выполняет агент, находясь в определенном состоянии; $G^A = \{g_j^a\}, j = \overline{1, P}$ – множество целей агента; $R(\bar{y})$ – результат выполнения плана действий или функций поведения актора.

Тогда формализованное представление поведения агентов для разных типов субъектов инноваций в терминах КМ ВБС в виде акторной модели (рис. 1) выглядит следующим образом:

$$AM = \{u_i\}, i \in N,$$

где $u_i^a = f_i(st_i^a, rl_i^a, act_i^a, ST_{E_{BEC}}, g_i^a, W(\bar{x}), R(\bar{y})), i \in N$ – множество функций поведения агента определенного типа.

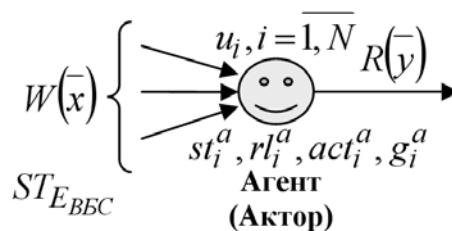


Рис. 1. Акторная модель агента субъекта инноваций определенного типа

Условия $W(\bar{x})$, при которых акторы изменяют свое состояние, определяются внешними по отношению к акторам характеристиками экономической среды развития инновации. К ним относятся макроэкономические, региональные и отраслевые факторы: темпы роста экономики страны (ВВП и ВВП), уровень инфляции, инвестиционный климат в регионе, уровень безработицы, уровень доходов населения, уровень развития инфраструктуры региона, уровень конкурентной борьбы, деловая репутация бизнес-структур и т.д. Анализ и оценка данных характеристик осуществляется на основе ком-

плекса имитационных моделей базовых компонентов социально-экономической системы региона и инструментальных средств моделирования, разработанных научным коллективом Института информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН.

Результатами выполнения плана действий или функций поведения акторов $R(\bar{y})$ могут быть, например: (1) множество подходящих для сотрудничества бизнес-партнеров, удовлетворяющих критериям поиска; (2) множество сформированных эффективных инновационных структур для реализации конкретного бизнес-предложения; (3) значения основных экономических показателей инновационных проектов; (4) адрес узла сети, на котором зарегистрирована бизнес-площадка, объединяющая «агентов совместной деятельности» с близкими интересами и целями; (5) прогнозные оценки развития бизнес-проектов, реализуемых различными инновационными структурами; (6) оценки деловой репутации и компетентности потенциальных бизнес-партнеров, и т.д.

Пример формирования акторных моделей субъектов «Инноватор» и «Инвестор» в зависимости от функций поведения их агентов в системе схематично показан на рис. 2.

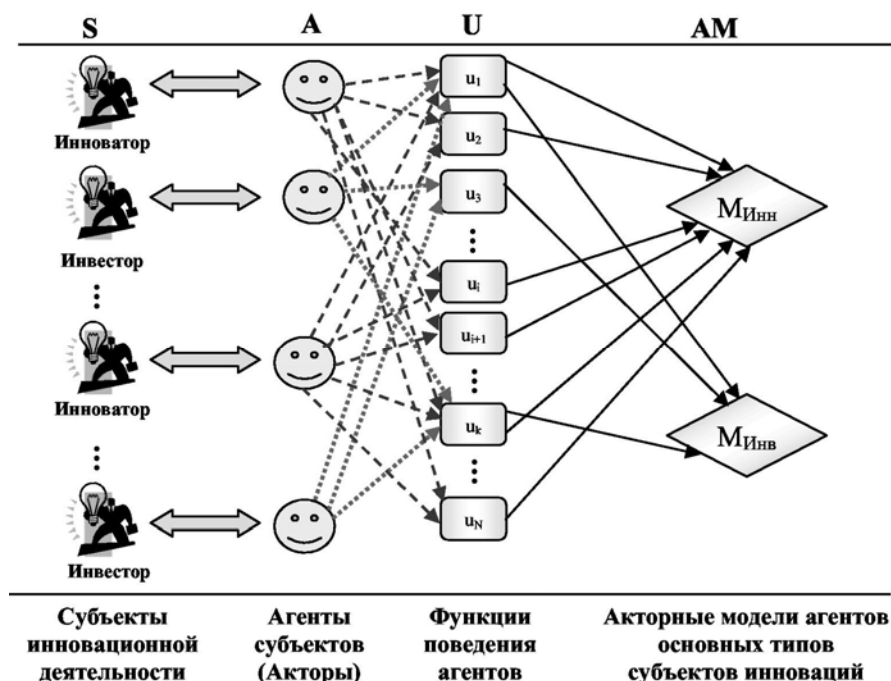


Рис. 2. Акторные модели субъектов «Инноватор» и «Инвестор» в зависимости от функций, выполняемых их агентами в системе

Для составления локальных планов своих действий акторы используют язык L_1 , базирующийся на алгебрах действий и поведений и описываемый грамматикой

$$\text{plan} ::= \text{plan} + \text{plan} \mid \text{plan} \times \text{plan} \mid \text{plan} \rightarrow \text{plan} \mid (\text{plan} + \text{plan}) \mid (\text{plan} \times \text{plan}) \mid (\text{plan} \rightarrow \text{plan}) \mid \text{op}$$

$$\text{op} ::= \perp \mid \Delta \mid 0 \mid f_i,$$

где f_i – функция модуля агента, $\perp, \Delta, 0$ – определенные в алгебре поведений (пустое, завершающее и невозможное), $+, \times$ и $\rightarrow$ – определенные в алгебре действий операции недетерминированного выбора, комбинации действий и последовательной композиции.

Акторная модель функционирования агента в виртуальной бизнес-среде в терминах алгебры действий и поведений формально представляется в следующем виде:

$$AM = PLAN(act_1 \times \dots \times act_i \times \dots \times act_n),$$

$$u = \sum_{i \in I} act_i u_i + \varepsilon,$$

где AM – локальный план действий и поведения агента (акторная модель), описываемый набором ненулевых детерминированных действий $act_i \in ACT$, u_i – поведение после каждого i -го выполненного действия, I – множество индексов, определяемое количеством действий, $\varepsilon = \Delta, \perp, \Delta + \perp, 0$ – терминальные константы.

Практическая реализация

Для реализации акторных моделей агентов использована система алгебраического программирования APS с базовым языком APLAN. Данная система позволяет комбинировать различные программные парадигмы: процедурную, функциональную, алгебраическую и логическую. Для формального представления распределенной системы взаимодействующих друг с другом и со средой агентов, содержащей элементы параллелизма и сетевой работы, использован язык действий AL, представляющий собой часть APS. Базовые шаблоны программных компонентов ВБС (агентов) разработаны в программной инструментальной среде разработки агентов и мультиагентных систем JADE (Java Agent Application Environment). Для поддержания эффективного информационного обмена и обеспечения единых стандартов диалога между агентами системы используется специальный язык FIPA's Agent Communication Language (ACL). Механизм переговоров между агентами системы основан не только на использовании общего языка коммуникации, но и на общей онтологии предметной области. Функции онтологии выполняет КМ ВБС, являющейся частью ментальной подсистемы гибридной InteRRap-архитектуры агента. Она определяет цели и правила взаимодействия агентов, а также отношения между ними.

Заключение

В ходе проведенных исследований разработаны акторные модели функционирования интеллектуальных агентов для разных типов субъектов инноваций. Полученные модели могут быть использованы для моделирования как поведения самих субъектов, так и развития виртуальных организационных структур инноваций. Акторные модели представляют собой формальные спецификации агентов системы, построенные на основе комбинирования различных парадигм моделирования. Учет ряда новых параметров, существенных с точки зрения управления функционированием агентов в ходе имитационного моделирования развития инноваций, позволяет создать наиболее адекватную среду информационно-аналитической поддержки инновационных процессов, учитывая их динамичность, а также распределенность и мобильность субъектов инновационной деятельности. Новизна полученных результатов связана с использованием разработанной ранее автором статьи формализованной концептуальной модели информационно-аналитической среды поддержки развития инноваций [2]. Единое формализованное описание обеспечило возможность разработки и создания комплексных согласованных решений на основе интеграции известных информационных технологий, методов анализа и имитационного моделирования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 08-07-00301-а «Разработка информационной технологии и распределенной информационно-аналитической среды поддержки инновационной деятельности»).

Литература

1. Олейник А.Г., Попков Ю.С., Путилов В.А., Шишаев М.Г. Информационные технологии поддержки инноваций. – М.: Эдиториал УРСС, 2010. – 503 с.
2. Маслобоев А.В., Путилов В.А., Шишаев М.Г. Концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды развития инноваций // Информационные технологии в региональном развитии: Сб. науч. тр. ИИММ КНЦ РАН. – Апатиты: КНЦ РАН, 2007. – Вып. VII. – С. 15–27.
3. Рыбина Г.В., Паронджанов С.С. Моделирование процессов взаимодействия интеллектуальных агентов в многоагентных системах // Искусственный интеллект и принятие решений. – М.: «КомКнига» УРСС, 2009. – Вып. 3. – С. 3–15.
4. Шалыто А.А., Наумов Л.А. Методы объектно-ориентированной реализации реактивных агентов на основе конечных автоматов // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 756–762.
5. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
6. Morozov A.A., Obukhov Yu.V. An Approach to Logic Programming of Intelligent Agents for Searching and Recognizing Information on the Internet // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2001. – Vol. 11. – № 3. – P. 570–582.
7. Мальцев А.И. Алгебраические системы. – М.: Наука, 1970. – 392 с.
8. Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексивные игры. – М.: СИНТЕГ, 2003. – 160 с.

Маслобоев Андрей Владимирович – Учреждение Российской Академии наук Институт информатики и математического моделирования технологических процессов, Кольский научный центр РАН, кандидат технических наук, доцент, докторант, masloboev@iimm.kolasc.net.ru

УДК 338.242.2

ПОНЯТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА И КАПИТАЛА КОМПАНИИ, ИХ СОСТАВЛЯЮЩИЕ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

Р.Е. Мансуров

В работе представлены результаты исследований экономической сущности таких понятий, как «интеллектуальный потенциал» и «интеллектуальный капитал». Данные категории рассматриваются как основа для формирования инновационных компаний с целью повышения экономической эффективности и конкурентоспособности отечественных предприятий.

Ключевые слова: интеллектуальный потенциал, интеллектуальный капитал, конкурентоспособность компании.

Введение

На современном этапе развития мировая экономика находится в состоянии постоянных ускоряющихся трансформаций. Ключевым фактором, определяющим данные изменения, является стремительное накопление и использование новых знаний. В целом это и обуславливает радикальное изменение условий внешней среды для предприятий, организаций и ставит их перед необходимостью непрерывных изменений в системе управления, продаж, технологии и организации производства. При этом требуется поиск новых, инновационных путей развития.

В этих условиях уже многие мировые лидеры следуют новому принципу менеджмента: «Устойчивость через развитие», что является основой деятельности новых форм

– инновационных предприятий, в основе которых лежит непрерывная реализация инноваций во всех сферах их деятельности [1].

Одной из качественных отличительных черт инновационного предприятия, как считает ряд авторов, является превышение рыночной капитализацией компании бухгалтерской стоимости основных фондов, материальных и финансовых средств. При этом считается, что превышение рыночной стоимости над бухгалтерской стоимостью формируется за счет недооцененного интеллектуального капитала предприятия. Немного не соглашаясь с данным подходом, отметим, что на рыночную капитализацию компании влияет еще ряд весомых факторов, которые не имеют отношения к интеллектуальному капиталу (например, условия внешней среды, информированность рынка о деятельности компании и т.д.). Тем не менее, считаем, что основой формирования инновационных предприятий являются наличие и укрепление ими интеллектуального капитала, в основе которого, в свою очередь, лежит интеллектуальный потенциал предприятия. При этом стратегия развития инновационных предприятий в основном формируется на основе менеджмента знаний, который понимается как стратегия управления компанией, ориентированная на развитие и максимальное использование своего интеллектуального потенциала [1].

Таким образом, в сложившихся современных условиях отечественным товаропроизводителям в целях выживания и дальнейшего устойчивого развития необходимо отойти от старых практик хозяйствования и взять курс на инновационное развитие, которое должно осуществляться через развитие и укрепление внутреннего интеллектуального потенциала компании. Стоит отметить, что данное инновационное развитие должно проходить не только в таких традиционных сферах, как техника и технология, но и в маркетинге, продажах, снабжении, логистике, системах управления компанией, персоналом и т.д. Роль управления персоналом в данном вопросе вообще сложно преувеличить, ведь основным генератором и носителем инноваций является человек – сотрудник компании.

Понятия «интеллектуальный капитал» и «интеллектуальный потенциал» являются относительно новыми для отечественной экономической науки и практики хозяйствования, анализ ряда литературных источников [2–8] говорит об отсутствии у авторов единого мнения. Поэтому необходимо уточнение данного понятия с позиций его экономического содержания.

Основные результаты

В целом понятие «*потенциал*» (от латинского *potentia* – сила) понимается как «источники, возможности, средства, запасы, которые могут быть использованы для решения каких-либо задач, достижения определённых целей» [9]. Проведенный анализ существующих определений «интеллектуального капитала» (ИК) и «интеллектуального потенциала» (ИП) показал, с точки зрения автора, ряд недостатков. А именно, существующие определения:

1. не учитывают влияние ИП и ИК на экономическую эффективность и конкурентоспособность предприятия;
2. не показывают взаимосвязь ИП и ИК;
3. не рассматривают ИК как основу инновационного развития компании;
4. в ряде случаев [4] рассматривают ИК только нематериальные активы компании;
5. рассматривают в качестве носителей ИК только сотрудников компании, не учитывая интеллектуальную собственность компании, инфраструктурный потенциал и «корпоративную память».

Таким образом, на основе проведенного анализа предлагаются следующие определения.

Интеллектуальный потенциал компании – это внутренние и внешние возможности компании, состоящие из человеческого потенциала компании, инфраструктурного потенциала компании, «корпоративной памяти компании», работ по НИОКР, инновационных проектов на стадии разработки и внедрения. Все это обеспечивает формирование интеллектуального капитала компании.

Интеллектуальный капитал – это совокупность интеллектуального потенциала компании и интеллектуальной собственности компании, выраженная в денежной форме, которая обеспечивает инновационность развития компании с целью достижения экономической эффективности и усиления конкурентных преимуществ компании на рынке.

С учетом рассмотренных положений предлагается видение формирования инновационной компании за счет развития интеллектуального потенциала, представленное на рис. 1. Таким образом, предлагается рассматривать интеллектуальный капитал компании следующим образом:

1. как один из основных факторов производства, наравне с физическим (производственным) капиталом, финансовым капиталом, природным капиталом и человеческим капиталом. На взаимодействии и различии ЧКК и ИКК следует остановиться подробнее. Предлагается понимать, что ЧКК предусматривает физическое наличие трудового ресурса и его физическую деятельность. ИКК, состоящий из ИПК, кроме всего прочего, аккумулирует в себе умственную деятельность, потенциальные интеллектуальные способности сотрудников, практический опыт связи и много другое (см. рис. 1). Тесная взаимосвязь между этими двумя категориями показана на рис. 1 пунктирной линией;
2. как совокупность ИСК (то, что уже материализовано, разработано и уже приносит компании пользу, например в виде прибыли) и ИПК (то, что еще находится на стадии разработки или может быть потенциально использовано).

Переходя к рассмотрению методики оценки ИК, также стоит отметить отсутствие единого мнения у ученых по этому поводу и определенную сложность оценки составляющих интеллектуального капитала. Самым адекватным, на первый взгляд, представляется подход, основанный на сравнении рыночной капитализации компании с ее бухгалтерской стоимостью. Однако, как уже было сказано, принципиальным его недостатком является то, что он не учитывает влияние на рыночную капитализацию, кроме интеллектуального капитала, еще ряда весомых факторов, которые к нему не имеют отношение.

Таким образом, в настоящее время необходима разработка более точного механизма оценки интеллектуального капитала компании. В развитие ранее изложенных положений рассмотрим подход для оценки ИПК и ИКК, предусматривающий суммирование составляющих интеллектуального капитала.

$$\text{ИКК} = \text{ИПК} + \text{ИСК},$$

где ИКК – интеллектуальный капитал компании, руб.; ИПК – интеллектуальный потенциал компании, руб.; ИСК – интеллектуальная собственность компании, руб.

$$\text{ИПК} = \text{ЧПК} + \text{ИнПК} + \text{КПК} + \text{НИОКР} + \text{ВИП},$$

где ЧПК – человеческий потенциал компании, руб.; ИнПК – инфраструктурный потенциал компании, руб.; КПК – «корпоративная память компании», руб.; НИОКР – реализуемые и планируемые научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, руб.; ВИП – внедряемые инновационные проекты, руб.

При этом основную сложность в определении стоимости составляют три слагаемых – ЧПК, ИнПК и КПК. Стоимость остальных составляющих (ИСК, НИОКР, ВИП), как правило, компании хорошо известна. При определенных допущениях возможен следующий подход к определению этих составляющих.

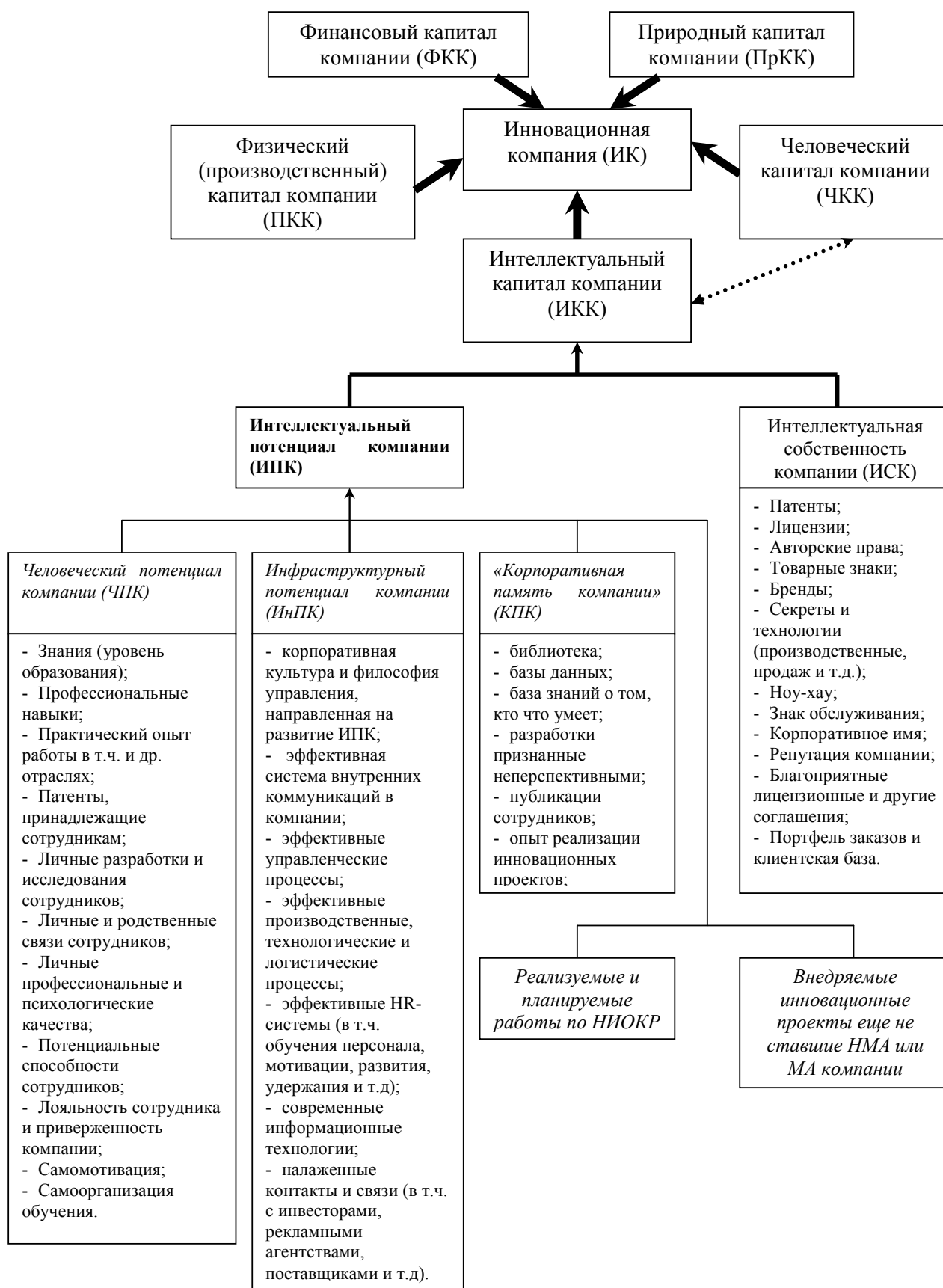


Рис.1. Формирование инновационной компании за счет развития интеллектуального потенциала

$$\text{ЧПК} = C_{\text{п}} + C_{\text{hr}} + C_{\text{пат}} + C_{\text{раз}},$$

где $C_{\text{п}}$ – стоимость подбора и адаптации персонала на рабочем месте, в том числе и оплата труда сотрудников службы управления персоналом, которые занимаются данной деятельностью; C_{hr} – стоимость организации и обслуживания всех прочих систем управления персоналом в компании (систем материальной и нематериальной мотивации, удержания, развития, лояльности, обучения и т.д.), в том числе затраты на оплату труда сотрудников службы управления персоналом; $C_{\text{пат}}$ – стоимость патентов, принадлежащих сотрудникам (при этом предлагается учитывать и те патенты, которые не имеют непосредственного отношения к деятельности компании в настоящем, однако могут быть очень полезны в будущем); $C_{\text{раз}}$ – стоимость разработок, принадлежащих сотрудникам. Так же, как и в предыдущем случае, предлагается учитывать все разработки сотрудников.

$$\text{ИнПК} = C_{\text{ти}} + C_{\text{су}} + C_{\text{ук}} + C_{\text{нс}},$$

где $C_{\text{ти}}$ – стоимость внедрения и поддержания современных информационных технологий, в том числе оплата труда сотрудников, осуществляющих данную деятельность; $C_{\text{су}}$ – стоимость внедрения, отладки и поддержания современных технологических, производственных и логистических процессов, в том числе оплата труда сотрудников, осуществляющих данную деятельность; $C_{\text{ук}}$ – стоимость внедрения и поддержания адекватных систем коммуникации, корпоративной культуры и философии управления, в том числе оплата труда сотрудников, осуществляющих данную деятельность; $C_{\text{нс}}$ – стоимость налаживания внешних контактов (с рекламными агентствами, поставщиками, инвесторами и т.д.), в том числе оплата труда работников, занимающихся данной деятельностью, за потраченное на эту деятельность рабочее время.

$$\text{КПК} = C_{\text{б}} + C_{\text{дз}} + C_{\text{нр}},$$

где $C_{\text{б}}$ – стоимость создания и содержания библиотеки, в том числе оплата труда сотрудников библиотеки; $C_{\text{дз}}$ – стоимость создания и содержания баз данных и знаний, в том числе затраты на обслуживающий персонал; $C_{\text{нр}}$ – стоимость разработок, признанных неперспективными (имеется в виду возможность возврата к данным разработкам в будущем при изменении каких-либо внешних условий).

Заключение

Предлагаемый подход предусматривает определенные упрощения (например, в итоге не все составляющие могут быть оценены в денежной форме), допущения, условности и соответственно не лишен недостатков. Однако он дает почву для размышления над путями формирования и развития инновационных компаний, обозначает развитие интеллектуального потенциала компании как основное направление, на которое необходимо обратить внимание научному миру и бизнес-сообществу, чтобы вывести национальный реальный сектор экономики из кризиса на путь устойчивого развития.

Литература

1. Перерва О.Л. Разработка теоретических основ и методологии управления эффективностью инновационной деятельности промышленного предприятия. Автореферат дис. ... докт. экон. Наук. – М., 2006.
2. Интеллектуальный капитал – стратегический потенциал организации: Учебное пособие / Под ред. д.э.н. проф. Гапоненко А.Л., д.э.н. Орловой Т.М. – М.: Социальные отношения, 2003.
3. Глухов В.В., Коробко С.Б., Маринина Т.В. Экономика знаний. – СПб: Питер, 2003.

4. Брукинг Э. Интеллектуальный капитал: ключ к успеху в новом тысячелетии – Пер. с англ. / Ред. Л.Н. Ковачин. – СПб: Питер, 2001.
5. Иванюк И.А. Воспроизводство интеллектуального капитала в современных маркетинг-системах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://publish.cis2000.ru>, своб.
6. Иноземцев В.Л. За пределами экономического общества. – М.: Academia–Наука, 1998.
7. Леонтьев Б.Б. Цена интеллекта. Интеллектуальный капитал в российском бизнесе. – М.: Акционер, 2002.
8. Эскиндаров М.А. Развитие корпоративных отношений в современной российской экономике. – М.: Республика, 1999.
9. Большой энциклопедический словарь: В 2-х т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – Сов. энциклопедия, 1991. Т. 2. – 1991.

Мансуров Руслан Евгеньевич – Институт экономики управления и права (ИЭУП) (г. Казань), канд. экон. наук, доцент, зам. директора, Russell_1@mail.ru

УДК 338.4

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА МЕГАПОЛИСА

О.А. Цуканова, А.В. Варзунов

Для эффективного управления и разработки стратегического плана развития продуцентов услуг необходимо использование специальных концепций. В статье предпринята попытка определить концептуальные положения управления процессом повышения экономической результативности деятельности предприятия, принципы управления продуцентами сферы услуг. Также в статье рассматривается концепция CRM, основные положения которой целесообразно учитывать при разработке стратегического плана развития современного рекламно-издательского комплекса мегаполиса.

Ключевые слова: концепция CRM, маркетинг взаимодействия, системный подход, услуги.

Введение

Несмотря на важность сферы услуг, их теоретическая концепция в России не получила развития и распространения. Такое положение можно объяснить тем, что в советский период предпочтение отдавалось прежде всего материальному производству, а услуги как таковые практически не рассматривались. На Западе ученые-экономисты стали обращать внимание на сферу услуг в середине 60-х годов. Сфера услуг характеризуется большой широтой и разнообразием, но при этом имеются общие закономерности, характерные для услуг в целом [1]. Таким образом, для эффективного управления и разработки стратегического плана развития продуцентов услуг на долгосрочную перспективу необходимо использование специальных концепций. При этом многие концептуальные положения, применимые к товарам, могут быть использованы и в сфере услуг. Таким образом, цель данной статьи – определить концептуальные положения управления процессом повышения экономической результативности деятельности рекламно-издательского комплекса мегаполиса.

Основные концепции и принципы управления продуцентами сферы услуг

Концептуальные положения управления процессом повышения экономической результативности деятельности предприятия представляют собой совокупность основ-

ных точек зрения, систему взглядов, руководящих идей, ведущих замыслов на руководство хозяйствующим субъектом.

Для управления хозяйствующими субъектами сферы услуг мегаполиса (в частности рекламно-издательскими хозяйствующими субъектами) необходимо применение определенной самостоятельной концепции. При этом законы, научные подходы, принципы и методы – это набор инструментов, необходимых для научного обеспечения работ по формированию системы стратегического управления социально-экономическим развитием в сфере деловых услуг.

В основе управления рекламно-издательскими хозяйствующими субъектами как частью сферы услуг лежит концепция маркетинга взаимодействия, основной идеей которой является то, что объектом управления должны стать коммуникации с покупателями и другими участниками процесса купли-продажи [2]. Таким образом, для повышения эффективности деятельности предприятия сферы услуг должны индивидуализировать отношения с потребителями на основе долгосрочного взаимодействия. В данной концепции долгосрочные отношения между производителем услуг и их потребителем с интегрированными интеллектуальными, информационными и инновационными ресурсами становятся результатом деятельности хозяйствующего субъекта. Маркетинг взаимодействия подразумевает такое предоставление комплекса услуг и сопутствующих им товаров, которое бы в наиболее полной мере соответствовало ожиданиям потребителя. Источниками удовлетворенности потребителей для производителя рекламно-издательских услуг, на наш взгляд, являются: ожидания перед приобретением услуг; воспринимаемое качество сопутствующего товара; воспринимаемое качество процесса оказания услуг; отдача от приобретенной услуги.

Таким образом, степень удовлетворенности от результата каждого неотъемлемого составляющего источника формирует в комплексе общую удовлетворенность клиента.

К основным принципам управления рекламно-издательскими хозяйствующими субъектами следует отнести: единство теории и практики управления; обеспечение организованности и рационализации управленческих процессов; ориентацию сферы услуг на инновационный путь развития, социальную ориентацию, правовую регламентацию деятельности, эффективную работу субъекта и объекта управления.

Принцип рационализации определяет, в конечном счете, результативность функционирования производителей услуг. В целом рационализация должна привести к обеспечению оптимального уровня специализации услуг, их универсализации, сокращению числа компонентов и связей в системе, ориентации рекламно-издательской структуры на определенные проблемы, обеспечению адаптивности предприятия к внешней среде путем построения гибких структур, созданию виртуальных систем, обеспечению количественной определенности структуры производителя услуг.

При проектировании принципов рационализации ряд авторов советует обращать внимание на закон эффекта масштаба, закон экономии времени, закон конкуренции, законы организации, а также анализ научных подходов [3].

Закон эффекта масштаба производства, который, по мнению авторов, в рекламно-издательской отрасли точнее можно назвать законом эффекта опыта, гласит, что с увеличением количества оказанных услуг и произведенной продукции условно-постоянные расходы на единицу оказанных услуг уменьшаются. При этом необходимо отметить, что в отрасли услуг постоянные расходы превалируют над переменными. И, таким образом, количество оказанных услуг будет в значительной мере сказываться на их стоимости.

В сфере услуг значительное влияние оказывает закон экономии времени, который свидетельствует о том, что происходит экономия прошлого и живого труда на единицу оказанных услуг и произведенной продукции, что приводит к снижению себестоимости услуги на единицу потребительской стоимости.

В соответствии с законом конкуренции в мире постоянно происходит процесс повышения качества продукции и услуг, а также снижения их цены. Данный процесс приводит к исключению из оборота некачественной продукции и услуг.

Среди законов организации, оказывающих влияние на развитие рекламно-издательских хозяйствующих субъектов, можно выделить:

- закон композиции, сущность которого заключается в необходимости согласования всех целей на предприятии для достижения положительных результатов деятельности;
- закон пропорциональности, отражающий необходимость определенного соотношения между отдельными частями организационно-правовой структуры. При соблюдении закона пропорциональности повышается результативность деятельности конкретной системы;
- закон наименьших, который гласит, что структурная устойчивость целого определяется наименьшей его частичной устойчивостью по отношению к внешней среде;
- закон синергии проявляется в том, что общая сумма свойств организационно-правовой структуры не равна сумме свойств отдельных ее слагаемых. При эффективной организации процессов на предприятии сумма свойств системы должна быть больше суммы свойств отдельных ее компонентов, давая, таким образом, синергетический эффект;
- закон упорядоченности, провозглашающий то, что основным связующим звеном любой экономической системы является информация. Таким образом, качество информационного обеспечения системы управления является главным условием ее эффективного функционирования;
- закон единства анализа и синтеза, в основе которого лежит познание закономерностей функционирования хозяйствующего субъекта с точки зрения отдельных его частей в заданной структуре и установления функций каждой части в рамках общего целого объекта.

Для повышения эффективности управления деятельностью хозяйствующего субъекта целесообразно, по мнению авторов, использовать ряд научных подходов, таких как системный подход, стандартизированный подход, подход ценителя эксклюзивного сервиса. Системный подход представляет методологию исследования объектов как систем. Свойства, характерные для рекламно-издательских хозяйствующих систем, могут быть условно разделены на группы, характеризующие сущность и сложность системы, связь систем с внешней средой, методологию целеполагания системы, параметры функционирования и развития системы.

К свойствам, характеризующим сущность и сложность системы, относятся следующие:

- неаддитивность системы, показывающее, что целостная система не будет представлять собой сумму свойств отдельных ее компонентов;
- размерность и сложность системы, которая зависит от числа компонентов, входящих в нее, от организационной формы управления системой, от количества трудовых ресурсов, необходимых для поддержания системы в рабочем состоянии;
- стабильность системы, характеризующая ее зависимость от изменений во внешней и внутренней среде, а также степень свободы;
- иерархичность системы, которая представлена числом уровней иерархии, их взаимосвязью друг с другом, степенью влияния субъекта управления на объект.

Свойства, характеризующие связь системы с внешней средой, представлены следующими факторами:

- зависимостью системы от влияния внешней среды; в данном случае рекламно-издательские структуры являются открытыми системами, в значительной мере за-

висящими от процессов, протекающих во внешней среде предприятия. Зависимость также определяется числом связей системы со внешней средой;

- открытостью системы; для рекламно-издательских структур она достаточно высока и определяется интенсивностью обмена ресурсами с внешней средой, а также степенью влияния других систем на данную.

К свойствам, характеризующие методологию целеполагания системы, можно отнести такие, как:

- целенаправленность системы, определяющая совокупность социально-экономических целей развития хозяйствующего субъекта;
- приоритет качества, который должен оказать на процесс хозяйственной деятельности продуцента услуг значительное влияние;
- надежность системы, которая характеризуется возможностью дальнейшего функционирования системы при выходе из строя одного из компонентов, устойчивостью системы при изменении внешних факторов, сохраняемостью заданных параметров развития в течение долгосрочного периода времени;
- оптимальность системы, т.е. наилучшее использование ее потенциала;
- эмерджентность системы – требование того, чтобы цели компонентов системы совпадали с целями системы в целом.

Свойства, характеризующие параметры функционирования и развития системы – это:

- способность к саморазвитию при влиянии передовых тенденций отрасли, конкуренции;
- синергетичность системы, т.е. в целом положительный эффект от деятельности системы должен быть выше, чем от влияния отдельных ее компонентов;
- адаптивность системы к динамично меняющимся условиям внешней среды;
- стандартизация системы в связи с тем, что необходимо существование возможности поддержания качества товаров и услуг на заданном уровне;
- инновационный характер развития, направленный на использование труда и капитала для внедрения результатов научно-исследовательских работ, патентов, а также рациональное использование факторов производства [3].

Субъекту управления рекламно-издательским хозяйствующим предприятием целесообразно использовать подход ценителя эксклюзивного сервиса, при котором потребитель ожидает следующее: его потенциальные потребности хорошо изучены; продуценты создают товары и услуги, соответствующие новейшим отраслевым тенденциям; услуги и сопутствующие им товары изготовлены на определенном качественном уровне, отраженном в документации; пакет услуг корректируется в соответствии с индивидуальными требованиями потребителя.

Вместе с тем необходимо отметить, что одним из способов поддержания услуг на определенном уровне качества является их стандартизация, и, таким образом, при управлении рекламно-издательскими хозяйствующими субъектами необходимо использовать стандартизированный подход. При данном аспекте стандартизация, как деятельность по установлению норм, правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции, должна быть направлена на повышение качества услуг в соответствии с заданным отраслевым уровнем.

По мнению авторов, в сфере услуг необходимо выбрать оптимальное соотношение между стандартными и индивидуальными решениями при формировании соответствующей услуги и сопутствующих ей товаров.

Основой разработки концепции развития хозяйствующего субъекта в среднесрочной перспективе является прогноз. Инструментом комплексного прогноза может стать экстраполяция сложившихся в прошлом тенденций в развитии предприятий и перенос

их на будущее, а также эконометрические расчеты на базе данных различных динамических моделей.

Вместе с тем концептуальная база не должна превращаться в жесткие правила поведения на рынке. Необходимо предусмотреть ее корректировку и обновление в связи с динамично меняющейся ситуацией на рынке, диверсификацией деятельности предприятия, освоением новых рынков, расширением самого хозяйствующего субъекта и сменой руководства. Если изменения в корпоративной базе предприятия сдерживаются, то деятельность хозяйствующего субъекта на рынке может противоречить основным положениям корпоративных философии, культуры и общей политики.

Продуцент услуг на рынке должен стремиться к получению синергетического эффекта, зависящего от степени согласованности концептуальных и корпоративных элементов предприятия со внешней средой, а также концептуальной базы с маркетинговой политикой и философией руководства. Процесс согласования философии, культуры, маркетинговой политики и поведения продуцента услуг на рынке характеризуется как долгосрочный и стратегический [4].

Деловые услуги тесно взаимосвязаны с производством, реализацией и потреблением товаров производственного назначения. Данную особенность целесообразно отражать в концептуальной базе продуцента услуг, которая должна быть более динамичной и гибкой по сравнению с другими отраслями.

В сфере деловых услуг для эффективной хозяйственной деятельности необходима всесторонняя и полная ориентация на потребителя, максимально возможное удовлетворение его интересов и удержание постоянных заказчиков в сфере деловых услуг. В современных условиях жесткой конкуренции основной способ удержания потребителя – это индивидуализация отношений с ним. В настоящее время, используя новые технические и технологические возможности в понимании, оценке и управлении отношениями с каждым субъектом рынка, организационно-правовые структуры должны продумывать мероприятия по увеличению ценности своей клиентской базы.

В сфере деловых услуг стандартизированный сервис необходимо заменять на сервис, ориентированный на индивидуальные запросы потребителей. Организационно-правовым структурам целесообразно провести мероприятия по категоризации и классификации клиентов по таким параметрам, как демографические и поведенческие, по степени ценности клиента для продуцента деловых услуг. Специфика рынка деловых услуг состоит в его большей сегментации и тесной привязанности к определенной группе потребителей по сравнению с рынком товаров производственного назначения. Это связано с тем, что существует высокая зависимость технологии производства ряда деловых услуг от особенностей запросов каждого потребителя. При этом можно также отметить зависимость услуг от факторов территориального характера и ограниченности числа заказчиков.

Важную роль в характеристике рассматриваемого рынка играют и такие особенности ряда разновидностей деловых услуг, как большая капиталоемкость, высокие темпы расширения спроса, существование большого количества неосвоенных рыночных ниш.

Концепция CRM как основа эффективного управления взаимоотношениями с клиентами

Задача предприятий-продуцентов деловых услуг – не только привлечь новых клиентов, но и удержать существующих на основе построения эффективных взаимоотношений с ними. Вместе с тем большое значение приобрела идентификация характеристик, присущих особенно ценным для хозяйствующего субъекта клиентам, которых компания стремится удержать. Таким образом, в связи с развитием ряда тенденций западными учеными была разработана концепция CRM (customer relationship

management) – концепция управления взаимоотношениями с клиентами. По мнению различных авторов, CRM – это:

- концепция управления проактивными взаимоотношениями с клиентами с ориентировкой на его потребности;
- деловая стратегия привлечения и управления клиентами, нацеленная на оптимизацию их ценности в долгосрочной перспективе;
- современная бизнес-стратегия, направленная на рост и повышение доходности бизнеса компании, путем повышения лояльности клиента на протяжении всего цикла взаимодействия с ним.

По мнению авторов, CRM – это концепция, нацеленная на создание долгосрочных, эффективных взаимоотношений с потребителями посредством анализа их индивидуальных потребностей. Для внедрения CRM-концепции необходимо выполнение следующих условий:

- перефокусировка основного внимания хозяйствующего субъекта на индивидуальные потребности клиента, проведение политики дифференциации цен и персонализации услуг;
- выработка на всех уровнях организационно-правовой структуры соответствующего менталитета и принципов принятия решений;
- использование личных продаж для продвижения деловых услуг;
- понимание того, что приоритетными являются ценность потребителя и взаимоотношения с ним.

Таким образом, скоординированные усилия по привлечению, удержанию и приумножению ценности потребителей играют все более важную роль в построении эффективной стратегии развития продуцентов деловых услуг.

Основная цель управления отношениями с потребителями состоит в увеличении общей ценности клиентской базы, которое возможно посредством организации перекрестных продаж (предложение других разновидностей услуг существующим клиентам), восходящих продаж (предложение более дорогостоящих услуг), добавочных продаж (продаж дополнительных услуг в рамках единого решения), распространения положительных отзывов в СМИ о продуcente деловых услуг, что благоприятно сказывается на привлечении новых клиентов и удержании старых.

В общем, концепция CRM направлена на построение эффективных, долгосрочных взаимоотношений с клиентами посредством активного привлечения потенциальных, длительного удержания существующих клиентов, роста добавочных, перекрестных и восходящих продаж. При этом каждый потребитель продуцента деловых услуг рассматривается индивидуально, а не в составе определенной агрегированной группы.

Заключение

Таким образом, в статье определены основные концептуальные положения управления процессом повышения экономической результативности деятельности рекламно-издательского комплекса мегаполиса. В целом концептуальная база продуцента рекламно-издательских услуг является результатом взаимодействия внутренних социальных сил, который выражается в определенной по содержанию, но динамичной по состоянию форме взаимозависимой системы ценностей и норм поведения, преобладающих в конкретной сервисной структуре.

Литература

1. Цуканова О.А. Теоретические основы развития предприятия сферы услуг в условиях глобализации // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государст-

- венного университета информационных технологий, механики и оптики. – 2009. – № 3(61). – С. 81–86.
2. Багиев Г.Л., Тарасевич В.М., Анн Х. Маркетинг: уч. для вузов. 3-е изд. / под общ. ред. Г.Л. Багиева. – СПб: Питер, 2006. – 736 с.
 3. Фатхутдинов Р.А. Стратегический маркетинг: 4-е изд. – СПб: Питер, 2006. – 352 с.
 4. Котлер Ф. Маркетинг, менеджмент. Анализ, планирование, внедрение. Контроль. – СПб: Питер, 1998.

<i>Цуканова Ольга Анатольевна</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат экономических наук, доцент, zoa1999@mail.ru
<i>Варзунов Андрей Викторович</i>	– Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, аспирант, varzunov@inbox.ru

УДК 001.89(051.2)

ПРОДУКТИВНОСТЬ НАУЧНОЙ РАБОТЫ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА: СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ И МАТЕРИАЛЬНОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ**И.Д. Котляров***(публикуется в порядке дискуссии)*

Предложена классификация показателей результативности научной деятельности, составлен перечень критериев, которым должны удовлетворять такие показатели, выполнен анализ используемого в России показателя результативности научной деятельности (ПРНД), показана его непригодность для измерения результатов научной деятельности, разработаны новые показатели результативности научной деятельности и методика их расчета, предложен способ расчета заработной платы профессорско-преподавательского состава на основе этих показателей.

Ключевые слова: показатель результативности научной деятельности, индекс цитирования, импакт-фактор.

Введение

Стимулирование профессорско-преподавательского состава (ППС) к участию в научной работе имеет большое значение для обеспечения качества российского высшего образования, поскольку отрыв ППС от науки губительно сказывается на качестве образовательного процесса. Это влечет за собой низкое качество профессиональной подготовки выпускников вузов и их несоответствие требованиям работодателей.

Одним из методов такого стимулирования является использование количественных показателей для оценки результативности научной деятельности, с последующим учетом этих показателей при расчете величины заработной платы и при продвижении по карьерной лестнице. Ниже рассматриваются основные виды показателей результативности научной деятельности, исследуются принципы, которым они должны соответствовать, и способы их применения, а также предлагается новый показатель и методика его расчета.

Отметим, что проблема адекватного измерения качества научной деятельности не нова, и ей посвящен ряд публикаций (в частности, первые обсуждения этого вопроса происходили в нашей стране еще в эпоху СССР [1]), но она пока не получила окончательного решения в силу специфики объекта измерения. Автор данной статьи, разумеется, далек от мысли, что предлагаемая им методика является таким окончательным решением – он всего лишь стремится внести посильный вклад в разработку этой проблемы.

Виды показателей продуктивности научной деятельности

В мировой и российской практике итогом научной деятельности считается регулярное информирование исследователем своих коллег о полученных им результатах. Это информирование принимает форму публикаций научных статей и монографий, выступлений на конференциях, регистрации патентов и т.д. Соответственно, измерение продуктивности научной деятельности происходит путем оценки интенсивности и эффективности этого информирования.

По способу оценки значимости научных результатов, полученных отдельным исследователем, существующие показатели можно разбить на ряд основных групп.

1. Валовые показатели – при их расчете значимость научных результатов во внимание не принимается, оценивается лишь их количество. Эти показатели обычно рассчитываются как суммарное число научных работ, опубликованных исследователем за определенный период, как объем этих работ в авторских листах, как число выступлений на конференциях и т.д.;
2. Качественные показатели – характеризуют научный уровень полученных исследователем результатов. Как правило, качество этих результатов определяется на основе оценки качества изданий, в которых они были опубликованы (например, публикации в журналах, вошедших в перечень ВАК [2], считаются более качественными по сравнениям с публикациями в российских журналах, в этот перечень не включенных);
3. Показатели восприятия – описывают влияние научных результатов исследователя на общее развитие науки. В основе расчета этих показателей лежит оценка использования опубликованных исследователем результатов другими учеными. Характерным примером такого показателя является индекс цитирования (Science Citation Index, SCI), рассчитываемый Thomson Reuters и представляющий собой число ссылок на работы исследователя за определенный период. Среди научного сообщества эти показатели воспринимаются как наиболее престижные;
4. Смешанные показатели – при расчете этих показателей используются параметры разных групп. В качестве примера можно привести показатель вклада монографий $PBM_{ПРНД}$ в общий показатель результативности научной деятельности (ПРНД) ученого, который используется в научных учреждениях РАН [3] и рассчитывается по формуле

$$PBM_{ПРНД} = M \cdot V,$$

Здесь M – множитель, учитывающий качество монографии (принимает более высокие значения для монографий, изданных за рубежом, и для монографий, поддержанных грантами от определенных организаций); этот множитель относится к факторам второй группы; V – объем монографии в авторских листах (показатель первой группы).

По критерию однородности ПРНД делятся на

- однородные (для их расчета берутся однотипные научные результаты – например, только публикации в журналах или только число зарегистрированных патентов);
- неоднородные (при их расчете во внимание принимаются разные виды научных результатов).

Использование ПРНД как инструмента управления эффективностью научной деятельности

Сформулируем требования, которые должны соблюдаться при использовании показателя продуктивности научной деятельности.

1. При его расчете должны использоваться только те переменные, которые характеризуют собственно научную деятельность. Характеристики других видов деятельности (например, педагогической) не могут быть включены в показатель ПРНД;
2. Методика расчета показателя не должна допускать скрытой или явной дискриминации отдельных категорий научных работников;
3. Методика расчета показателя должна стимулировать научных работников на получение важных и востребованных обществом результатов научной деятельности. Из этого требования вытекают следующие выводы:
 - методика расчета не должна подгоняться под возможности отдельного ученого или научного учреждения;

- методика расчета показателя не должна делать возможной ситуацию, при которой малое число хороших научных работ и большое число работ низкого уровня будут описываться формально равными значениями показателя.

В учреждениях РАН для оценки результативности научной деятельности используется показатель результативности научной деятельности (ПРНД). К сожалению, его использование было отменено в январе 2010 г., и в настоящий момент унифицированная методика оценки научной продуктивности ученых, которая бы применялась в большей части научных учреждений нашей страны, отсутствует. Это делает задачу разработки нового показателя еще более актуальной. Ниже, тем не менее, мы рассмотрим структуру ПРНД РАН на примере варианта, использовавшегося в Институте физики Земли РАН [3], для того, чтобы выявить недочеты этой методики и предложить свободные от них новые показатели результативности научной деятельности. Предварительно сделаем две важные оговорки:

1. алгоритм расчета ПРНД одинаков для всех учреждений РАН, различия заключаются в числе учитываемых видов научной деятельности;
2. в тех вузах, в которых осуществляется оценка эффективности научной работы сотрудников, эта оценка производится по аналогичному алгоритму, и поэтому правомерно произвести анализ показателя, используемого в учреждениях РАН, в статье, посвященной ситуации в вузах.

Общая формула расчета этого показателя имеет следующий вид:

$$\text{ПРНД} = \text{ПК} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l \frac{Z_{ijk} V_{ijk}}{CA_{ijk}}. \quad (1)$$

Здесь ПК – повышающий коэффициент, присвоенный определенной категории ученых; n – число видов научной деятельности (к самостоятельным видам относятся, как правило, публикация статей, участие в конференциях, публикация монографий, руководство аспирантами, руководство дипломными работами и т.д.); m – число подвидов научной деятельности в рамках i -го вида (например, для вида деятельности «Публикация статей» подвидами будут публикация статей в российских журналах и публикация статей в зарубежных журналах); l – число научных результатов, полученных в рамках j -го подвида i -го вида научной деятельности (например, число статей, опубликованных в зарубежных научных журналах); Z_{ijk} – значимость k -го результата (например, для статей, опубликованных в журналах с высоким импакт-фактором, она выше); V_{ijk} – объем k -го результата в выбранных единицах измерения (например, для монографий – число авторских листов, для статей – одна статья); CA_{ijk} – коэффициент, позволяющий учесть наличие соавторов у k -го результата.

Легко убедиться в том, что ПРНД представляет собой неоднородный качественный показатель. Согласно методике ИФЗ, при расчете ПРНД учитываются, в том числе, следующие виды научной деятельности: публикация монографий, учебников и учебных пособий; разработка и доработка учебных курсов, читаемых в вузе; руководство соискателями научной степени и дипломниками. Из этого перечня очевидно, что ПРНД не является «чистым» показателем продуктивности научной деятельности, так как в него входят факторы, имеющие к науке весьма опосредованное отношение. Таким образом, ПРНД не соответствует первому требованию.

Формула (1) позволяет убедиться в том, что ПРНД допускает явную дискриминацию в силу наличия в нем повышающего коэффициента. В случае ИФЗ этот повышающий коэффициент применяется для молодых сотрудников. Для сотрудников до 40 лет значение этого коэффициента варьируется в ИФЗ от 1,5 до 3 в зависимости от срока, истекшего с момента окончания вуза – этот срок для получения повышающего коэффициента не должен превышать 10 лет – и от возраста, в котором была защищена кандидатская или докторская диссертация (не более 40 лет).

Приведенный выше перечень видов научной деятельности, включаемых в расчет ПРНД, кроме того, показывает, что методика определения ПРНД допускает неявную дискриминацию сотрудников, не имеющих ученой степени, поскольку они не имеют права руководить аспирантами, и у них в принципе отсутствует соответствующее слабое в расчете ПРНД.

В мировой практике наиболее важным показателем интенсивности научной деятельности является число публикаций в ведущих мировых журналах. Именно такие публикации служат основой для расчета наиболее престижного ПРНД – индекса цитирования SCI. Остальные виды публикаций (монографии, доклады в сборниках конференций и т. д.) носят вторичный характер. Следовательно, целью ПРНД должно стать преодоление изоляционизма российской науки и побуждение исследователей публиковать свои работы в признанных международных журналах, иными словами, наибольшей значимостью при расчете ПРНД должны обладать публикации в научных журналах, включенные в международные базы научного цитирования.

Рассмотрим вклады отдельных подвидов научной деятельности в расчет ПРНД (табл. 1¹).

Вид научной деятельности	Подвид научной деятельности	Показатель значимости полученного результата (3_{ijk})	Единица измерения полученного результата
1. Публикация научных статей	1.1. Публикация в журнале «Физика Земли»	30	Одна публикация
	1.2. Публикация в российских рецензируемых журналах по профилю ИФЗ	20	Одна публикация
	1.3. Публикация в российских журналах из списка ВАК	- 9, если $IF \leq 0,2$; - $45IF$, если $IF > 0,2$	Одна публикация
	1.4. Публикация в зарубежных научных журналах	- 6, если $IF \leq 0,2$; - $30IF$, если $IF > 0,2$	Одна публикация
	1.5. Публикация в сборниках конференций	4	Одна публикация
2. Публикация монографий	2.1. Публикация монографий, поддержанных грантом РФФИ, Президиумом РАН или Отделением РАН	3	Авторский лист
	2.2. Публикация монографий по рекомендации ученых или редакционно-издательских советов институтов РАН или ведомственных вузов, а также учебников с грифов Министерства образования и науки России или УМО	2	Авторский лист

Табл. 1. Оценка значимости отдельных подвидов научной деятельности по методике ИФЗ РАН

Из табл. 1 видно, что:

- методика расчета ПРНД подогнана под специфику российских научных учреждений вообще и ИФЗ, в частности, так как, во-первых, публикации в профильных для ИФЗ российских журналах (с низким импакт-фактором или без такового вообще,

¹ IF – импакт-фактор журнала. Рассчитывается как отношение числа ссылок на статьи в данном журнале за определенный период, к числу статей, опубликованных в этом журнале. Для удобства из табл. 1 исключен способ учета соавторов – предполагается, что результаты получены одним исследователем самостоятельно. В табл. 1 включены не все виды и подвиды научной деятельности, учитываемые в методике ИФЗ расчета ПРНД.

см. п. 1.2 табл. 1) имеют очень высокую значимость, во-вторых, публикации в российских журналах имеют более высокую значимость, чем в зарубежных (ср. пп. 1.3 и 1.4 табл. 1). Например, очень высока значимость публикаций в журнале «Физика Земли» (по прилагаемой таблице импакт-фактор этого журнала равен 0,092, и значимость публикаций в нем должна была бы, в соответствии с п. 1.3 табл. 1, быть равной 9, но никак не 30);

- публикация большого количества работ недостаточно высокого уровня позволит исследователю получить то же итоговое значение ПРНД, что и публикация малого числа работ высокого уровня. Например, публикация в зарубежном журнале с импакт-фактором 0,5 может быть легко заменена публикацией четырех статей в сборниках конференций (в том числе заочных).

Таким образом, третьему критерию ПРНД также не соответствует.

Из сказанного выше очевидно, что ПРНД, рассчитываемый по описанной выше методике, не может служить объективной мерой эффективности научной деятельности.

Разработка показателя продуктивности научной деятельности и методики его использования для расчета выплат профессорско-преподавательскому составу

Выше было сказано, что, на наш взгляд, приоритетной задачей российской науки является преодоление изоляционистских тенденций и активное включение в мировой научный процесс – в том числе и путем публикаций результатов своих исследований в ведущих международных журналах. Следовательно, ПРНД должен рассчитываться таким образом, чтобы поощрять такие публикации (иными словами, размещение статей в иностранных журналах как вид научной деятельности должно иметь максимальную значимость). При этом, однако, следует также поощрять отечественных исследователей публиковать свои статьи в ведущих российских журналах, чтобы содействовать формированию в нашей стране пула признанных на международном уровне высококласных научных изданий.

Проблема «компенсации» (когда исследователю не важно, публиковать одну хорошую статью или много плохих, и в ряде случаев он предпочитает идти по пути наименьшего сопротивления и размещать статьи низкого качества в непрестижных журналах или сборниках заштатных конференций) может быть решена двумя способами:

1. ПРНД определяется как однородный показатель, т.е. при его расчете учитывается только один вид (или даже подвид) научной деятельности;
2. ПРНД определяется как неоднородный показатель, т.е. при его расчете учитывается несколько видов научной деятельности. Однако, занимаясь «нецелевым» видом деятельности, ученый может набрать строго ограниченное число баллов (т.е. величина вклада этого вида деятельности, независимо от объема полученных результатов, имеет верхний предел), тогда как при «целевом» виде деятельности (в данном случае – при размещении статей в ведущих мировых журналах) такой верхний порог отсутствует. При этом методика расчета показателя этого типа должна быть рассчитана таким образом, чтобы достигнуть требуемого для получения выплат минимального значения ПРНД можно было, только опубликовав не менее одной статьи в ведущем мировом журнале.

На наш взгляд, наиболее удобен первый путь в силу своей простоты и однозначной направленности на целевой результат. ПРНД, как представляется автору, должен формироваться как качественный показатель: валовые показатели ничего не говорят об уровне научной деятельности, тогда как до получения индекса цитирования ученым может пройти слишком много времени с момента публикации. Кроме того, индекс цитирования во многом субъективен – наибольшая его величина характерна для обзорных и методических работ. Наконец, ученый, направления работы которого не соответ-

вуют текущей научной «моде», также будет характеризоваться низким уровнем индекса цитирования, хотя его работы могут быть высокого класса.

В качестве основы для расчета ПРНД, по мнению автора, следует взять импакт-фактор журнала, в котором опубликована статья, по той причине, что импакт-фактор журнала является мерилем его качества и значимости для научной аудитории, и принятие статьи к публикации в журнал с высоким импакт-фактором само по себе служит высокой оценкой данной работы. Об использовании импакт-фактора в роли измерителя качества журнала (и, следовательно, качества публикуемых в нем материалов) писал создатель этого показателя Ю. Гарфилд [4], а формализованную методику применения импакт-фактора для оценки научной продуктивности разработали А. Шуберт и Т. Браун [5]. В соответствии с этой методикой, эффективность научной деятельности автора рассчитывается как сумма импакт-факторов журналов, опубликовавших его работы. Предлагаемая автором методика расчета ПРНД представляет собой дальнейшее развитие методики Шуберта–Брауна с учетом российской специфики и имеет следующий вид.

1. ПРНД за истекший период равен сумме импакт-факторов журналов (взятых за последний доступный год; как правило, величина импакт-фактора рассчитывается за год, предшествующий истекшему), в которых исследователь опубликовал свои статьи за истекший год. Для российских журналов берется импакт-фактор, рассчитываемый Научной электронной библиотекой, для иностранных журналов – импакт-фактор Thomson Reuters. Для российских журналов, имеющих англоязычную версию, для которых рассчитываются оба индекса, берется максимальный из них (в зависимости от выбора импакт-фактора соответствующая публикация засчитывается либо как международная, либо как российская).
2. Если исследователь публиковался как в российских, так и в иностранных журналах, и при этом максимальный импакт-фактор российского или иностранного журнала равен или больше 1, то ПРНД удваивается.
3. Если исследователь публиковался как в российских, так и в иностранных журналах, и при этом максимальный импакт-фактор и российского, и иностранного журнала равен или больше 1, то ПРНД умножается на 3.
4. Если исследователь публиковался только в российских журналах, то ПРНД умножается на 0,75.

Предлагаемый показатель можно назвать индексом научной продуктивности (ИНП).

Новизна методики состоит, как легко видеть, во-первых, во включении в показатель научной деятельности импакт-факторов, рассчитанных по разным базам (что необходимо для учета результатов, опубликованных в российских журналах), во-вторых – во введении поправочных множителей, призванных мотивировать российских исследователей к публикации как в зарубежных, так и в российских журналах. В настоящее время, к сожалению, наблюдается распад российского научного сообщества на две части – ученые, публикующие свои работы в мировых научных журналах (но избегающие публикации в отечественных изданиях), и ученые, печатающиеся в российских журналах (очень часто – издаваемых своим вузом и практически неизвестных широкой аудитории), и при этом даже не пытающиеся попасть в иностранные журналы. Это ведет к изоляции российской научной прессы от мировой науки и к катастрофическому падению ее качества.

Предлагаемые в пп. 2–4 значения поправочных множителей носят предварительный характер и должны быть рассчитаны специально. Эти значения, как уже было сказано, устанавливались исходя из основной задачи – поощрить исследователей за публикацию работ как в ведущих международных, так и в ведущих российских научных журналах. Последнее особенно важно, так как наша страна нуждается в собственных научных журналах мирового уровня, создание которых можно обеспечить только одним образом – стимулировать исследователей, привыкших публиковать свои работы в международных журналах, также размещать свои статьи в российских изданиях. Имен-

но опасность исчезновения российских научных журналов является одним из основных аргументов противников использования международного индекса цитирования и импакт-фактора как инструмента измерения результативности научной деятельности. На наш взгляд, предложенная выше методика позволяет устранить это возражение.

Методика расчета выплат профессорско-преподавательскому составу на основе ИНП может иметь следующий вид:

1. Высшее учебное заведение формирует в рамках фонда оплаты труда специальный фонд выплат за научную деятельность;
2. Общий фонд выплат за научную деятельность разбивается на три части – стимулирующий фонд СФ, ден. ед. (80% общего фонда), фонд единовременных выплат ФЕВ, ден. ед. (10%), и фонд компенсации текущей научной деятельности (10%);
3. Рассчитывается суммарное значение $ИНП_{\text{сум}}$ всех научных сотрудников учреждения за истекший год:

$$ИНП_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n ИНП_i$$

где n – число научных сотрудников;

4. Размер стимулирующих выплат для i -го сотрудника $ВС_i$, ден. ед., рассчитывается как

$$ВС_i = \frac{ИНП_i}{ИНП_{\text{сум}}} СФ; \quad (2)$$

5. Стимулирующие выплаты могут выплачиваться сотруднику единовременно или равномерно частями в течение года;
6. Фонд единовременных выплат служит для разовых поощрений научных сотрудников за публикацию монографий в ведущих российских и международных издательствах, получение научных премий, регистрацию патентов и т.д. Порядок расчета этих выплат регламентируется самим учреждением;
7. Фонд компенсации текущей научной деятельности распределяется в порядке, установленном ученым советом научного или образовательного учреждения, для стимулирования участников очных конференций.

Разумеется, предложенное выше распределение носит (80-10-10) носит условный характер, однако, по нашему мнению, стимулирующий фонд должен составлять большую часть общего фонда выплат за научную деятельность. Кроме того, пока крайне малое число российских журналов обладает высоким значением импакт-фактора по версии Национальной электронной библиотеки – иными словами, импакт-факторы Национальной электронной библиотеки и Thomson Reuters несоизмеримы по величине, что может привести к дополнительной дискриминации российских ученых, публикующих только в отечественных изданиях. Эту проблему, вероятно, можно было бы устранить путем введения поправочных коэффициентов.

Заключение

Разработанная в данной статье методика не свободна от недостатков. В частности, может вызвать неприятие отказ от учета всех видов научной деятельности, кроме публикаций в журналах с импакт-фактором. Однако, на взгляд автора, эта методика прозрачна и задает четкие целевые ориентиры для российских ученых, тогда как другие виды научной деятельности могут оплачиваться за счет единовременных выплат из специально для этого предусмотренных фондов.

Литература

1. Кара-Мурза С. Г. Цитирование в науке и подходы к оценке научного вклада // Вестник АН СССР. – 1981. – № 5. – С. 68–75.

2. Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук (редакция апрель 2008 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/vak/enumeration/2010/per-26-03-2010.doc> (проверено 31.03.2010).
3. Методика расчета индивидуального ПРНД в ИФЗ им. О. Ю. Шмидта РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ifz.ru/doc/2009/prnd_2009/PRND_methodics_2009.pdf (проверено 06.01.2010).
4. Garfield E. Journal impact factor: a brief review // Canadian Medical Association Journal. – 1999. – № 8 (161). – С. 979–980.
5. Schubert A., Braun T. Relative indicators and relational charts for comparative assessment of publication output and citation impact // Scientometrics. – 1986. – № 9. – С. 281–291.

Котляров Иван Дмитриевич – Северо-Западный институт печати Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна, кандидат экономических наук, доцент, ivan.kotliarov@mail.ru

УДК 004.942

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ НАУЧНЫХ СОРЕВНОВАНИЙ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ РЕШЕНИЙ

С.Е. Рукшин

Представлен анализ существующих научных соревнований школьников. На основе проведенного анализа построена классификация, которая разработана как основа конструирования систем проведения дистанционных научных соревнований с автоматической обработкой решений.

Ключевые слова: дистанционных научные соревнования, классификация типов математических задач, автоматическая обработка решений.

Введение

Одной из тенденций развития системы образования в современных условиях является увеличение роли электронного (и, в частности, дистанционного) обучения в предметном образовании. Использование компьютерных технологий позволяет автоматизировать часть организационных процессов, присущих образовательной деятельности, избавить преподавателей от части рутинной работы, направив освободившийся ресурс времени на поддержку продуктивных процессов в обучении [1, 2]. Компьютерные технологии становятся важным ресурсом в стимулировании интереса к точным, естественным наукам и информатике при условии сохранения и переноса в современные условия лучших отечественных традиций, обеспечивавших выявление научно одаренных учащихся и студентов и высокое качество их обучения. Для этого необходимо, в частности, наиболее полное использование ресурса задач, накопленных за прошедшие годы в учебной, олимпиадной и кружковой деятельности (рассматривая кружок как этап подготовки к олимпиадам).

В последние годы ведущие вузы страны проводят предметные Интернет-олимпиады, постепенно вытесняющие традиционные [3]. Эта тенденция заметно усилилась после введения обязательного единого государственного экзамена (ЕГЭ), который, по сути, является одним из типов дистанционных научных соревнований с частично автоматизированной проверкой решений [4]. Основными достоинствами дистанционных олимпиад являются: массовый охват учащихся; психологический комфорт участников олимпиады, находящихся в привычной для себя обстановке; равноправие

участников, которые одновременно решают одни и те же задачи (вопрос о наличии вариантов, имеющих априорно одинаковую трудность, следует рассматривать отдельно); относительная дешевизна и простота проверки и подведения итогов; независимость итогов при автоматизированной проверке от индивидуальной квалификации проверяющих; невозможность предвзятости при условии анонимности участников на стадии проверки работ и обработки результатов; затрудненность применения коррупционных методов распределения мест и выявления победителей и призеров соревнований.

В качестве возражений против полной замены традиционных типов научных соревнований дистанционными чаще всего выступают:

- невозможность следить за ходом мысли участников, вызванная применением тестов *multiple choice* (с выбором ответа из числа предложенных);
- невозможность проведения апелляции или собеседования в сомнительных случаях;
- невозможность исправления уже сданного ответа;
- жесткость фиксации последовательности выдаваемых задач;
- вероятность ошибок участников, связанных не с их научной компетентностью, а с технической стороной дела – от недостаточного знакомства с компьютерными технологиями до случайных сбоев в работе техники;
- невозможность верификации личного участия и вероятная фальсификация результатов;
- трудность выбора времени одновременного проведения для всех регионов России и альтернатива появления неравноценных вариантов заданий.

Для полноценного сохранения достоинств и максимально возможного устранения недостатков требуется создание адекватных информационных сред, обеспечивающих участие в соревнованиях, диапазон которых очень велик – от ЕГЭ и олимпиад вузов [3, 5] до исследовательских конкурсов [6] и чемпионатов мира ACM по программированию [7, 8]. А для корректной постановки задач по созданию такого рода информационной среды, в свою очередь, необходима четкая классификация типов научных соревнований с автоматизированной обработкой решений.

Классификационные признаки основных типов научных соревнований

В этой работе мы попытаемся указать важнейшие классификационные признаки основных типов научных соревнований, существенным образом влияющие на архитектуру информационных сред.

1) *Демократизм доступа* определяется наличием или отсутствием предварительного отбора или ценза для участников соревнований. Отметим, что участие всех желающих может поставить организаторов перед проблемами проведения соревнований с непредсказуемым количеством участников и вызвать технические сбои из-за перегруженности сервера.

2) *Синхронизация ключевых моментов времени*, таких как начало соревнований, доступ к полному варианту заданий, окончание туров и окончание соревнований, доступ к своим текущим и итоговым результатам и результатам других участников, оглашение итогов соревнования. В качестве одной из проблем, возникающих при отсутствии такой синхронизации (например, в условиях различных часовых поясов участников или нескольких потоков участников одного и того же тура соревнований), возникает альтернатива утечки условий или появления неравноценных по сложности вариантов заданий.

3) *Наличие равнозначимых вариантов* с априорной декларацией унификации их трудности и количества получаемых за них баллов. В случае, когда такие варианты присутствуют, возникает дополнительный аспект, связанный с предоставлением участ-

нику права выбора варианта. Сам по себе факт такого выбора никого не удивляет: в течение многих лет на выпускных экзаменах в средней школе можно было выбрать тему сочинения по литературе из числа предложенных, хотя вариант по математике нужно было решать именно тот, который ученику выдавали без права выбора. Для избежания конфликтных ситуаций (таких, как, например, неравноценность одинаковых ошибок в итоговых баллах разных вариантов части С в ЕГЭ по математике 2009 года) нужна особая тщательная предварительная экспертиза заданий.

4) *Возможность повторного прохождения* отдельного тура (или соревнования полностью). Наиболее часто возникающий при наличии многократных попыток вопрос – это возможное снижение баллов в зависимости от числа «подходов».

5) *Возможность исправления* ответов и решений в рамках одной и той же соревновательной попытки. Помимо уже упомянутого вопроса о снижении баллов, возникает вопрос об оценке участника в ситуации, когда правильное решение или ответ заменены на неверный, а также вопрос об ограничении количества исправлений в одном и том же задании.

6) *Последовательность выдачи заданий* может быть трех видов: жесткой, цензовой (в зависимости от результатов предыдущих заданий), или же участник имеет возможность выбирать порядок выполнения заданий по своему усмотрению. Возможны и сочетания этих видов: так, например, на Санкт-Петербургской городской олимпиаде школьников по математике система выдачи задач 4+3 (в довыводной и выводной аудиториях) цензовая, но в рамках одной аудитории последовательность решения задач остается на усмотрение участника.

7) *Форма ввода* ответов и решений может варьироваться в широких пределах – от выбора ответа из числа предложенных (тесты multiple choice), ввода числа, выражения или рисунка до эссе в свободной форме или сочетания этих возможностей. ЕГЭ 2009 года как раз сочетал выбор ответа, ввод числового ответа и решение в форме эссе, исключаящее автоматизированную проверку. Этот пункт заслуживает более пристального рассмотрения, так как автоматическая проверка ограничивает тип возможных ответов. В простейшем случае компьютер сравнивает ответ участника с правильным, и именно этот способ используется в большинстве удаленных тестирований как наиболее простой для реализации в проверяющей системе. В связи с этим, многие математические задачи приходится переформулировать так, что для проверки ответа будет достаточно сравнить его с правильным. Например, чтобы не объяснять ученику, как вводить ответ в виде многочлена, можно попросить ввести значение этого многочлена в некоторой точке. Вероятность того, что участник посчитал многочлен неправильно, но значение в заданной точке совпало, можно считать достаточно малой. При таком использовании проверяющих систем мы не пользуемся возможностями компьютера, а искусственно изменяем привычный язык описания математических объектов. Было бы лучше, если бы для ввода многочлена использовалась среда для ввода формул, в которой легко разобраться без сторонней помощи и в которой можно ввести формулу нажатием нескольких кнопок. А для сравнения ответа с правильным ответом использовалась бы система компьютерной алгебры (Mathematica, Maxima), которая способна сравнить два выражения на эквивалентность.

Другим примером использования компьютера в олимпиадах могла бы быть система, которая поддерживала бы решение геометрических задач на построение с помощью систем динамической геометрии (GeoGebra, Geometer's Sketchpad, 1С Матконструктор). Однако такой подход может давать отдельным участникам преимущество, не связанное непосредственно с предметом соревнований. Из-за этого в информационную среду приходится вносить следующий классификационный признак.

8) *Обученность* участников специальным формам описания ответов и решений. В свою очередь, применение таких специальных форм описания ответов заставляет рассматривать в проверяющей системе различные автоматизированные способы проверки.

9) *Способы проверки* правильности решения. Это может быть сверка с правильным ответом, сравнение по признакам, тестирование на достаточном наборе тестов или проверка по формальному описанию. Но в любом случае пока решения задач на доказательство или решения в форме эссе не могут быть проверены автоматизированными средствами. Проверка «вручную» (часть С в ЕГЭ) не только вводит в действие человеческий фактор, но и накладывает ограничение на формат проведения соревнований: в этом случае проверка, подведение итогов и оглашение результатов откладываются на значительный срок.

Три классификационных признака, связанные с вводом и проверкой решений, приводят нас к следующему выводу: для полноценного проведения соревнований и тестирований разных типов требуется создание системы, которая способна поддерживать максимально разнообразное количество способов ввода решений и последующих методов проверки, а также способна расширяться с помощью добавления новых модулей ввода и проверки.

10) *Интеллектуальная обработка решений*, в первую очередь, предполагает реакцию не только на безукоризненно правильные, но и на неверные и неполные решения. Помимо возможности ненулевых оценок за правильные идеи и частичные решения, в этом случае можно предусмотреть такой ресурс для получения дополнительной информации о степени одаренности и уровне мышления участника соревнований, как организация диалога с участником соревнований с целью имитации устного собеседования.

11) *Организация диалога* и имитация устного собеседования с участником. При этом становится необходима не просто проверка решений и ответов, а их on-line диагностика, которая может рассматриваться и в качестве самостоятельного классификационного признака, независимого от организации диалога.

12) *On-line диагностика* ответов и решений. В случае ограниченности технических ресурсов предоставление такой диагностики участникам соревнований может носить цензовый характер, т.е. касаться более узкого круга участников соревнований, прошедших, выражаясь спортивным языком, квалификацию.

В качестве стимулирующих активность участников средств могут применяться:

- наличие оперативной информации о своих результатах;
- наличие оперативной информации об индивидуальных результатах других участников;
- наличие результатов по отдельным задачам (т.е. количество решивших это задание участников или команд);
- различные способы подсчета баллов – от априорной оценки трудности заданий до связи «цены задачи» с количеством не решивших ее участников. В некоторых системах оценки необходимо предусмотреть штрафы за количество попыток решения отдельной задачи и количество прохождений тура;
- оглашение аналитических итогов текущей деятельности участника и диагностики его результатов по отдельным заданиям или модулям. Степень подробности может варьироваться от простого сообщения, решена задача или нет, до развернутого анализа навыков, сильных и слабых мест, выдачи рекомендаций и т.д.

Использование тех или иных опций, формирующих тип соревнования и соответствующей ему информационной среды, необходимо тщательно увязывать с целью проведения конкретных научных соревнований (от учебных и тренировочных до рейтинговых соревнований спортивного характера) и ожидаемым результатом.

Заключение

В результате проведенного анализа выделены классификационные признаки, относящиеся к различным аспектам проведения научных соревнований, среди которых можно выделить социально-педагогический, предметный, технический и организационный аспект.

Отметим, что вовсе не любое сочетание классификационных признаков порождает реализуемый тип соревнования, так как выбор опций не является независимым. Так, например, наличие ответов в форме эссе делает невозможным немедленную проверку решений и, соответственно, текущую информацию о результатах участников, а отсутствие синхронизации ключевых моментов времени делает бесполезной информацию о статистической трудности отдельных задач.

Важным выводом проведенного анализа является следующее требование к системе поддержки научных соревнований: система должна поддерживать максимально разнообразное количество способов ввода решений и диалог с учеником, что предполагает моделирование предметной среды задачи и интеллектуальную обработку решений.

Литература

1. Башмаков М.И., Поздняков С.Н., Резник Н.А. Информационная среда обучения. – СПб: Свет, 1997.
2. Рукшин С.Е. Технологическая поддержка стимулирующих занятий математикой // Компьютерные инструменты в школе. – 2009. – № 6. – С. 3–12.
3. Олимпиады в области точных наук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://olymp.ifmo.ru/>, своб.
4. Сайт информационной поддержки Единого государственного экзамена в компьютерной форме [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ege.ru/>, своб.
5. Парфенов В.Г. Всероссийские командные олимпиады школьников по программированию // Компьютерные инструменты в образовании. – 2000. – № 6. – С. 67–69.
6. Конкурс «Конструируй, исследуй, оптимизируй» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kio.spb.ru/kio>, своб.
7. Северо-Восточный Европейский регион Чемпионата мира по программированию среди студентов ACM ICPC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neerc.ifmo.ru/information/index.html>, своб.
8. Парфенов В.Г. Финал командного чемпионата мира по программированию ACM 2008/2009 гг., г. Стокгольм // Компьютерные инструменты в образовании. – 2009. – № 5. – С. 60–68.

Рукшин Сергей Евгеньевич – Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, кандидат физ.-мат. наук, доцент, vliuser@gmail.com

УДК 004.021

ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ В СОСТАВЕ КОМПОЗИТНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ

С.В. Марьин, С.В. Ковальчук, Г.М. Рыбаков, А.В. Бухановский

Рассматриваются особенности построения подсистем управления вычислительными ресурсами в составе высокопроизводительных программных комплексов.

Ключевые слова: распределенные вычисления, композитное приложение, производительность параллельных программ.

Сервисно-ориентированный подход [1], хорошо зарекомендовавший себя в среде разработчиков бизнес-приложения, находит все большее применение в области наукоемких высокопроизводительных вычислений. Одним из главных преимуществ становится возможность использования существующей алгоритмической базы за счет интеграции стороннего ПО. Тем не менее, при построении высокопроизводительных программных комплексов на базе этого подхода возникает ряд задач, связанных с необходимостью обеспечения эффективной (с точки зрения производительности) совместной работы отдельных вычислительных компонентов. Одним из вариантов указанного подхода является организация посредством вычислительных сервисов унифицированного доступа к набору вычислительных ресурсов (кластеров), предоставляющих возможность запуска установленных программных модулей. В программных комплексах с высокой изоляцией компонентов важную роль исполняет управляющая подсистема, координирующая работу вычислительных модулей в процессе решения поставленной задачи. В процессе управления эта подсистема должна принимать решения об оптимальном способе запуска совокупности вычислительных модулей на основании знаний о специфике работы конкретных программных реализаций, доступных посредством вычислительных сервисов, с учетом статических и динамических характеристик программно-аппаратной распределенной вычислительной среды, а также параметров входных данных, соответствующих решаемой задаче. Решение должно приниматься на основании знаний предметной области, позволяющих составить суждение о процессе решения задачи, представленном совокупностью альтернативных решений, определяемых логическими, алгоритмическими и технологическими особенностями доступных компонентов системы.

Примером реализации данного подхода может служить подсистема управления параллельными вычислениями в составе высокопроизводительного программного комплекса для квантово-механических расчетов и моделирования наноразмерных атомно-молекулярных систем и комплексов [2]. Разработанная система обеспечивает процесс решения задач предметной области с использованием знаний об особенностях режима использования доступных вычислительных модулей (способах их запуска, организации потоков ввода-вывода, используемых форматах данных). Кроме того, в построении схемы запуска вычислительных модулей используются знания о производительности вычислительных модулей, что позволяет обеспечить минимизацию времени поиска решения с использованием данной схемы.

Подсистема управления реализована на базе платформы .NET Framework в виде отдельного web-сервиса в составе ядра высокопроизводительного программного комплекса, что обеспечивает ее интеграцию и переносимость. Для описания специфики режимов доступа к отдельным вычислительным сервисам в составе подсистемы реализована иерархия адаптеров, обеспечивающая легкую расширяемость системы за счет добавления новых программных модулей. Знания о производительности вычислительных сервисов реализованы в форме совокупности параметрических моделей, описывающих различные аспекты работы программных модулей. Параметризация моделей и выявление их структуры производится с использованием экспертных знаний и результатов профилировки вычислительных модулей.

Важным дополнительным аспектом работы управляющей подсистемы является мониторинг процесса вычислений в ходе решения поставленной задачи. Процедура мониторинга обеспечивает возможность корректировки знаний, доступных вычислительной системе за счет оценки эффективности решения, принятого интеллектуальными механизмами в процессе выбора схемы оптимального выполнения программных модулей. Таким образом, реализуется обратная связь между совокупностью распределенных вычислительных ресурсов, представленных предметно-ориентированными сервисами, и подсистемой управления высокопроизводительным программным комплексом.

1. Lublinsky B. Defining SOA as an architectural style. 9 January 2007. – Режим доступа: <http://www.ibm.com/developerworks/architecture/library/ar-soastyle/>, свободный.
2. Высокопроизводительный программный комплекс моделирования наноразмерных атомно-молекулярных систем / В.Н. Васильев [и др.] // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2008. – № 54. – С. 3–12.

Марьин Сергей Владимирович – НИИ НКТ СПбГУ ИТМО, аспирант, sergey.maryin@gmail.com; *Ковальчук Сергей Валерьевич* – НИИ НКТ СПбГУ ИТМО, к.т.н., ст.н.с., kovalchuk@mail.ifmo.ru; *Рыбаков Глеб Михайлович* – СПбГУ ИТМО, студент, gleb.rybakov@gmail.com; *Бухановский Александр Валерьевич* – СПбГУ ИТМО, д.т.н., профессор, avb_mail@mail.ru

НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В КАЛИЕВО-АЛЮМОБОРАТНОМ СТЕКЛЕ С НАНОЧАСТИЦАМИ ХЛОРИДА МЕДИ

А.А. Ким, П.С. Ширшнев

Представлены экспериментальные результаты исследования нелинейно-оптических свойств калиево-алюмоборатного стекла с нанокристаллами CuCl на длине волны 0,53 и 1,064 мкм.

Ключевые слова: хлорид меди, нелинейная оптика.

Развитие технологий создания композитных сред на основе стекла позволяет изменять их оптические свойства за счет управляемого роста наночастиц и изменения их концентрации [1]. Стекла с наночастицами CuCl обнаруживают нелинейно-оптический отклик при малых плотностях энергии в диапазоне от 10^{-6} до 10^{-3} Дж/см² [2]. Целью данной работы является исследование нелинейно-оптических свойств стекол с нанокристаллами CuCl в наносекундном диапазоне на длинах волн 0,53 и 1,064 мкм.

В экспериментах использовались образцы калиево-алюмоборатного стекла с первоначальным составом $B_2O_3-Al_2O_3-K_2O$ с добавлением Cu_2O , $NaCl$, Sn_2O_3 , Sb_2O_3 , Na_3AlF_6 , NH_4PO_4 . Образцы подвергались термообработке при температуре 412°C в течение 10 часов. Термообработка приводит к формированию в стекле нанокристаллов CuCl. По нашим оценкам, в результате термообработки при данных условиях средний размер наночастиц составляет 7–10 нм.

На рисунке представлена зависимость коэффициента пропускания от плотности энергии падающего излучения в сфокусированном пучке. На зависимости для $\lambda = 0,53$ мкм можно выделить две области с различным наклоном кривой относительно оси абсцисс. Первая часть, более пологая, соответствует диапазону плотностей энергии от 10^{-8} до 10^{-3} Дж/см². Вторая часть зависимости проявляет более крутой наклон в диапазоне плотностей энергии от 10^{-3} до 10^{-2} Дж/см². Аналогичную зависимость коэффициента пропускания от плотности энергии падающего излучения наблюдается для $\lambda = 1,064$ мкм в диапазонах плотностей энергий от 10^{-7} до 10^{-3} Дж/см² и от 10^{-3} до 10^{-1} Дж/см² соответственно. Отметим, что относительное уменьшение пропускания больше для $\lambda = 0,53$ мкм.

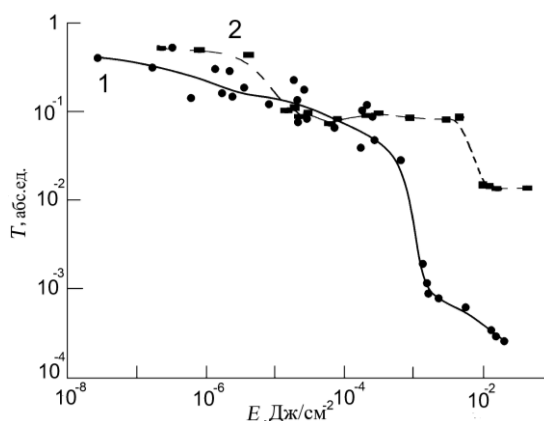


Рисунок. Зависимость коэффициента пропускания образцов от плотности энергии падающего излучения на длине волны 0,53 и 1,064 мкм. Длительность лазерного импульса 5 нс: 1 – $\lambda = 0,53$ мкм; 2 – $\lambda = 1,064$ мкм

Нелинейно-оптический отклик в низкопороговой области, предположительно, формируется в результате самодефокусировки излучения при однофотонной генерации электронов. Фотогенерация электронов в нанокристаллах CuCl происходит с глубоких примесных уровней в запрещенной зоне. Поэтому свободные электроны могут возникать в результате однофотонного примесного поглощения, а также в результате каскадных переходов. Высокопороговая область ограничения вызвана несколькими механизмами: двухфотонным поглощением в среде [3], самодефокусировкой на динамической линзе, возникающей при нагревании стекла и формированием центров окраски [2]. Для $\lambda = 1,064$ мкм существенными являются два последних механизма.

1. Dotsenko A.V., Glebov L.B., Tsekhomsky V.A. Physics and Chemistry of Photochromic Glasses // CRC Press LLC, 1998. – P. 190.
2. Низкопороговый нелинейно-оптический отклик фотохромных стекол с нанокристаллами хлорида меди / Н.В. Никоноров, А.И. Сидоров, В.А. Цехомский // Оптический журнал. – 2008. – Т 75. – № 12. – С. 61–65.
3. Nonlinear absorption and refraction in CuCl at 532 nm / A.A. Said, T. Xia, D.J. E.W. Hagan and Van Stryland // J. Opt. Soc. Am. B. – April 1997. – V. 14. – № 4.

Ким Александр Александрович – СПбГУ ИТМО, аспирант, kimalexandr@yandex.ru; Ширшнев Павел Сергеевич – СПбГУ ИТМО, студент, redshuhart@inbox.ru

ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА НА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ИОНОВ ЭРБИЯ В СТЕКЛЕ

А.Н. Абдршин, В.А. Асеев, Р.К. Нурыев

Исследованы зависимости интенсивности люминесценции ионов эрбия в стеклах разного состава и концентрации активатора при различных температурах.

Ключевые слова: люминесцентные датчики, ионы эрбия, лазерные стекла.

На сегодняшний день актуальной задачей является разработка и создание оптических датчиков для измерения температуры. Большинство традиционных датчиков температуры, таких как термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические преобразователи, обладают рядом серьезных недостатков. Например, непосредственное воздействие среды на такой датчик ухудшает стабильность его характеристик, особенно при высоких температурах и при использовании его в сильных электромагнитных полях. От этих недостатков свободны оптические датчики температур. Оптические датчики, основанные на измерении люминесценции, являются перспективными температурными сенсорами, поскольку обеспечивают высокую точность измерения и высокое быстродействие при малых габаритах и весе сенсора. В качестве активной среды люминесцентного датчика чаще всего используется стекло или кристалл, активированные ионами редкоземельных металлов (эрбий, диспрозий и т.д.) [1]. Подбор матрицы стекла, выбор активатора и оптимизация его концентрации обеспечивают увеличение точности, расширение динамического диапазона измерения температур, а также возможность управления длиной волны накачки и выбора спектрального диапазона регистрации люминесцентного сигнала. Наши предварительные расчеты показали, что добавление ионов иттербия в качестве сенситизатора в эрбиевое стекло должно значительно увеличить эффективность люминесцентных датчиков. В связи с этим целью настоящей работы являлось исследование ап-конверсионной люминесценции в различных стеклообразных матрицах (теллуридной и силикатной), активированных ионами эрбия и иттербия.

В работе исследованы иттербий-эрбиевые стекла, в которых при постоянной концентрации иттербия ($\sim 17 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$) изменялась концентрация эрбия от $0,12 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ до $2,26 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$.

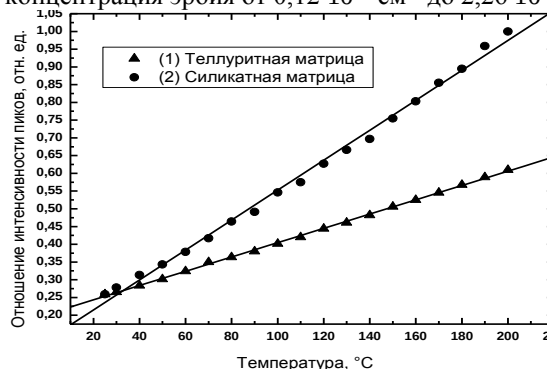


Рисунок. Зависимость отношения пиков люминесценции от температуры для теллуридного (1) и силикатного (2) стекла концентрация эрбия $0,56 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$

В эксперименте регистрировалась люминесценция эрбия, который возбуждался через поглощение иттербия. Образец иттербий-эрбиевого стекла помещался в термоячейку, где происходила накачка. Сигнал люминесценции, проходя через монохроматор, регистрировался ФЭУ и поступал на компьютер. Спектр люминесценции эрбия записывался в области 500–550 нм при температурах от 25°C до 200°C с шагом в 10°C. В данной спектральной области у эрбия находятся 2 полосы люминесценции, связанные с переходами между уровнями $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ и $^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$. Энергетический зазор между этими метастабильными уровнями соизмерим с энергией тепловых колебаний, и нагрев образца приводит к перераспределению населенности между этими уровнями. Измеряя изменение интенсивности полос люминесценции, можно достаточно точно определить температуру образца (рисунок).

Из рисунка видно, что отношение пиков люминесценции возрастает при увеличении температуры как для силикатного, так и для теллуридного стекла. Это означает, что интенсивность люминесценции с уровня $^4S_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ падает, а с $^2H_{11/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ возрастает, т.е. возбуждение за счет теплового процесса перемещается на более высокий уровень. Показано, что зависимость отношения пиков люминесценции от температуры имеет линейный характер в широком диапазоне температур. Это позволило нам сделать вывод, что данная зависимость может быть использована для калибровки датчиков температуры. Наклон прямой для силикатного стекла выше, чем для теллуридного. Таким образом, выбор матрицы стекла позволяет изменять чувствительность датчика температуры.

1. A.H. Khalid, K. Kontis, Thermographic Phosphors for High Temperature Measurements: Principles, Current State of the Art and Recent Applications // Sensors. – 2008. – V. 8. – P. 5673–5744.

Абдршин Альберт Наильевич – СПбГУ ИТМО, студент, myltitabs@mail.ru; Асеев Владимир Анатольевич – СПбГУ ИТМО, аспирант, aseev@oi.ifmo.ru; Нурыев Рустам Какабаевич – СПбГУ ИТМО, студент, nuryev@oi.ifmo.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ СОБЛЮДЕНИЯ ИНВАРИАНТНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА СКРУЧИВАНИЯ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ АВТОКОЛЛИМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

И.А. Коняхин, Т.В. Копылова, А.И. Коняхин, А.Д. Мерсон

Рассмотрены соотношения между параметрами контрольного элемента оптико-электронной автоколлимационной системы, уменьшающие негативное влияние коллимационных углов на точность измерения угла скручивания.

Ключевые слова: инвариант, автоколлиматор, контрольный элемент, угол скручивания.

Одним из направлений совершенствования оптико-электронных систем определения углового положения объектов является обеспечение частной инвариантности измерения отдельных угловых координат [1]. Рассмотрим условия реализации инвариантности измерения угла поворота объекта относительно линии его визирования (угла скручивания) для контрольного элемента (КЭ) как первичного измерительного преобразователя автоколлимационной системы.

Оптико-электронная система включает оптико-электронный автоколлиматор, установленный на некотором базовом объекте, а также отражающую оптическую систему – КЭ, связанную с объектом, угловое положение которого контролируется. Для увеличения точности измерения угла скручивания необходимо реализовать инвариантность углового положения ортов рабочих пучков, отраженных от КЭ, по отношению к коллимационным углам поворота объекта относительно осей, ортогональных линии визирования.

В соответствии с алгоритмом автоколлимационных измерений найдем выражение для орта отраженного пучка как последовательное (справа налево) произведение ортогональных матриц: одностолбцовой – орта падающего на КЭ пучка и трех квадратных матриц формата 3×3 – транспонированной матрицы поворота КЭ, матрицы действия КЭ как отражающей системы и исходной матрицы поворота [1, 2]. Анализ полученного выражения позволяет определить условия реализации требуемой инвариантности. В частности, одна из составляющих орта отраженного пучка инвариантна к величинам коллимационных углов при следующих соотношениях параметров матриц.

1. Для матрицы действия КЭ основное неизменное направление (ОНН) отражателя, на базе которого реализован КЭ, должно совпадать с одной из коллимационных осей, при этом угол поворота пучка относительно ОНН при отражении должен быть равен $\omega = 180^\circ \pm \Delta$, где Δ – малый угол, а количество k отражений пучка от граней КЭ нечетно и при этом больше трех: $k = 2 \cdot n + 1$, где $n = 1, 2, \dots$

2. Матрица поворота КЭ должна определяться последовательностью поворотов на углы Эйлера–Крылова, для которой в элементе матрицы с адресом (1, 2) отсутствует произведение синусов двух коллимационных углов (параметр $w = 1$, см. [1]).

3. Орт падающего пучка и оптическая ось приемного объектива автоколлиматора должны располагаться в плоскости, перпендикулярной ОНН по разные стороны от оси скручивания, и составлять с ней угол, равный $\Delta/2$.

Наиболее простым КЭ, соответствующим указанным условиям, является отражатель в виде стеклянного тетраэдра или зеркального триэдра ($k = 3$), двугранные углы между отражающими гранями которого имеют заданные отклонения от прямого при симметричном относительно оси скручивания расположении ортов падающего и отраженного пучков [2].

Найденные условия позволяют синтезировать новые многофункциональные КЭ для автоколлиматоров на основе отражателей с большим количеством отражений, реализующие инвариантность измерения угла скручивания.

Исследования выполняются при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям РФ в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)» и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

1. Анализ частных инвариантных преобразований в оптико-электронных системах контроля пространственного положения / И.А. Коняхин, А.Н. Тимофеев, Э.Д. Панков, Син Сянмин // Изв. вузов. Приборостроение. – 2007. – Т. 50. – № 7. – С. 5–9.
2. Джабиев А.Н., Коняхин И.А., Панков Э.Д. Автоколлимационные углоизмерительные средства мониторинга деформаций. – СПб: СПб ГИТМО(ТУ), 2000. – 197 с.

Коняхин Игорь Алексеевич – СПбГУ ИТМО, д.т.н., профессор, igor@grv.ifmo.ru; Копылова Татьяна Валерьевна – СПбГУ ИТМО, студент, fleur3310@rambler.ru; Коняхин Алексей Игоревич – СПбГУ ИТМО, студент, aligkon@yandex.ru; Мерсон Алексей Дмитриевич – СПбГУ ИТМО, аспирант, mad777@grv.ifmo.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ОСЛАБЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ КАТАСТРОФ

Е.М. Богатинский, В.В. Коротаев, А.А. Мараев, А.Н. Тимофеев

Рассматриваются пути ослабления влияния воздушного тракта на работу распределенных оптико-электронных систем предупреждения техногенных катастроф.

Ключевые слова: система распределенная оптико-электронная, градиент температуры, турбулентность воздушного тракта.

Существующие процедуры обследования технического состояния и экспертизы промышленной безопасности подавляющего большинства зданий и сооружений носят нерегулярный характер, поэтому актуально применение распределенных оптико-электронных систем (РОЭС) долговременного и оперативного контроля. РОЭС позволяют осуществлять непрерывный мониторинг технического состояния зданий и сооружений в режиме реального времени по пространственному положению элементов конструкции. Наиболее перспективными являются легко адаптируемые к структуре объекта контроля РОЭС, которые имеют возможность обеспечивать параллельные и независимые измерения с погрешностью до 0,1 мм, с высокой частотой (до 10 кГц) обновления информации для множества контрольных точек [1].

Исследование схем РОЭС показало, что система может быть реализована путем многоточечного контроля пространственного положения активных реперных знаков, связанных непосредственно с элементами конструкции [2]. С целью получения максимальной точности контроля положения реперных знаков предложено построить базовый блок РОЭС с одним объективом и полем анализа в виде многоматричной фоточувствительной структуры. При этом многоматричная фоточувствительная структура должна реализовывать адаптивное многооконное матричное поле с целью повышения быстродействия РОЭС.

Анализ влияния внешних факторов на работу предлагаемых РОЭС показал, что совершенствование РОЭС необходимо осуществлять путем ослабления влияния воздушного тракта (градиент температуры, флуктуации температуры и турбулентность), особенно при значительных дистанциях и перепадах температур [3]. Исследование влияния регулярного градиента температур воздушного тракта показало, что погрешность определения координат реперных знаков обратно пропорциональна квадрату дистанции до репера и на дистанции 100 м даже при небольших горизонтальных градиентах температуры, равных 0,005 °С/м, достигает 1,2 мм. Использование дисперсионных методов в оптико-электронных системах позиционирования дает положительные результаты [3], поэтому возникает необходимость дальнейшего анализа эффективности применения этого метода и в структурах РОЭС предупреждения техногенных катастроф.

Экспериментальные исследования влияния турбулентных потоков в воздушном тракте на результаты измерений одного канала РОЭС, реализованного на принципах цифровой обработки изображений, снятого с матричного поля, показали, что возможна оценка влияния турбулентных потоков на результаты измерений деформаций с целью адаптации РОЭС.

На компьютерных моделях планируется продолжить исследования по адаптации структуры РОЭС и ее параметров с целью ослабления влияния явлений регулярной и нерегулярной рефракции в атмосфере при наличии турбулентных потоков в воздушном тракте техногенной среды.

Работа проводится в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по государственному контракту № П1112 от 26.08.2009.

1. Анисимов А.Г., Коротаев В.В., Краснящих А.В. Методы построения адаптивной распределенной оптико-электронной системы неразрушающего контроля деформации крупногабаритных сооружений // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2006. – № 34. – С. 219–224.
2. Пантюшин А.В., Серикова М.Г., Тимофеев А.Н. Оптико-электронная система для контроля смещений на основе реперных меток излучающих диодов // Оптический журнал. – 2009. – Т. 76. – № 8. – С. 74–78.
3. Latyev S.M., Pankov E.D., Prokofjev A.V., Tymofeev A.N. Refraction's slacking in optoelectronic systems for positioning of elements of ecological dangerous objects // Proc. SPIE. – 2004. – Vol. 5381. – P.157–163.

Богатинский Егор Маркович – СПбГУ ИТМО, аспирант, egorbogat@mail.ru; Коротаев Валерий Викторович – СПбГУ ИТМО, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, korotaev@grv.ifmo.ru; Мараев Антон Андреевич – СПбГУ ИТМО, студент, antoshka87@gmail.com; Тимофеев Александр Николаевич – СПбГУ ИТМО, к.т.н., ст.н.с., зав. лабораторией, timofoev@grv.ifmo.ru

OPTICAL AND OPTICAL ELECTRONIC SYSTEMS. OPTICAL TECHNOLOGIES**REDUCTION METHODS OF OPTICAL LOSSES IN A PHOTONIC-CRYSTAL OPTICAL FIBRE****K. Dukel'skiy, A. Korobeynikov, E. Ter-Nersesyantz**

Methods of light losses in the microstructured optical paths on the basis of macro- and micro-impurity minimization on internal and external surfaces of capillaries collected in a package are considered. Research results of chemical processing and blowing off influence on workpieces quality are presented.

Keywords: photonic-crystal optical fibre, microstructured optical fibre.

Konstantin Dukel'skiy – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate Professor, PhD, KDukel@GOI.ru

Anatoliy Korobeynikov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, Korobeynikov_A_G@mail.ru

Egiche Ter-Nersesyantz – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, volokno@goi.ru

CALCULATION METHOD OF POLARIZATION-INDEPENDENT OPTICAL CIRCULATOR CHARACTERISTICS FOR FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS**S. Mironov**

The paper contributes to the analysis of the polarization-independent optical circulator in micro optic technology based on the spatial separation of the polarized rays. The calculation results of the insertion loss, isolation, crosstalk and return loss have been presented for the Y-type optical circulator intended for fiber-optic transmission systems and sensors.

Keywords: fiber-optic transmission systems, optical circulators, unidirectional transmission mode, insertion loss, isolation, crosstalk, return loss.

Sergey Mironov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associated Professor, PhD, senior scientific fellow, s.a.mironov@inbox.ru

“WAVE” ALGORITHM FOR PROCESSING WITH CCD LINE**A. Dyomin, I. Perl**

A new algorithm which allows productivity increasing of remote sensing of the Earth for systems, based on CCD line, is proposed in this article. The algorithm efficiency is illustrated on modified Kodak CCD line example.

Keywords: remote sensing of the Earth (RSE), charge-coupled device (CCD), algorithm.

Anatoliy Dyomin – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D. Sc., dav60@mail.ru

Ivan Perl – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Student, j-pearl@mail.ru

PHOTONICS AND OPTICAL INFORMATICS**GENERATION MONITORING OF THE SECOND HARMONIC BY USE OF DAST MOLECULAR CRYSTALS****L. Kaporsky, A. Knysh**

Two-channel laser unit with photoelectric recording is described in this article, which allows for measurement of the basic characteristics of the second harmonic radiation acquisition with DAST molecular crystals differing in terms of their synthesis. To evaluate the nonlinear susceptibility of DAST crystals, we used the method of relative measurements, in which lithium niobate was used as a reference sample in the form of single crystal as well as many small crystals.

Keywords: the second harmonic generation, molecular crystals, DAST, nonlinear susceptibility.

Lev Kaporsky – GOI named after S.I.Vavilov, Optical magazine editor, PhD, Senior Researcher, any-knysh@yandex.ru

Anna Knysh – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Student, any-knysh@yandex.ru

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF COMPLEX SYSTEMS**OBSERVER DESIGN OF AN UNKNOWN SINUSOIDAL OUTPUT DISTURBANCE FOR NONLINEAR PLANT****S. Aranovskiy, A. Bobtsov, V. Nikiforov**

A new algorithm is proposed to the design of an observer for nonlinear plant in case when an unknown sinusoidal disturbance affects the output.

Keywords: nonlinear systems, sinusoidal signals, output disturbances.

Stanislav Aranovskiy – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Assistant lecturer, PhD, rhnd@mail.ru

Alexey Bobtsov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Dean, D.Sc., Professor, bobtsov@mail.ru

Vladimir Nikiforov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Vice rector, D.Sc., Professor, nikiforov@mail.ifmo.ru

COMPUTER SYSTEMS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

SOLVING MEMORY ACCESS LIMITATIONS WITH 64-BIT MICROSOFT TECHNOLOGY

M. Becker

The paper analyzes the problems of 32-bit technology, which causes the transition to 64-bit technology, describes the basic specifications of hardware platforms, based on 64-bit memory addressing and supported by Microsoft software, provides an overview of specific aspects of the porting of information systems and business processes to 64-bit technology, contains a list of key recommendations for the business information process organizers and for software development, maintenance and administration specialists.

Keywords: Microsoft, memory address, CPU architecture, x86, x64, IA64, 64-bit technology, software development, software support, software administration, server, workstations.

Mike Becker – Microsoft Germany GmbH, Principal Consultant, mbecker@microsoft.com

FAST INFERENCE TECHNIQUE IN VISUAL PROLOG

I. Bessmertny

The paper concerns to the problem of inference implementation in artificial intelligence systems based on the product knowledge model. An approach that uses relational algebra operations in Visual Prolog programs instead of classical reasoning is proposed. A set of Prolog predicates implementing necessary relational operations is presented together with results of the performance measurement on a large scale knowledge base that confirm the high speed of the rules processing.

Keywords: artificial intelligence, relational algebra, Prolog.

Igor Bessmertny – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate Professor, PhD, Associate Professor, igor_bessmertny@hotmail.com

DESIGN AND SIMULATION IN AVIONICS

SIMILARITY CRITERION OF DESIGN DECISIONS TO REQUIREMENTS OF THE TECHNICAL PROJECT IN AVIONICS

Yu. Sabo, I. Zharinov

Methodological bases of the directed aviation equipment design for practical similarity maintenance of objects to requirements of the technical project on an example of the onboard equipment complexes development, executed according to substantive provisions of the integrated modular avionics concept are considered in the work.

Keywords: avionic equipment, criterion of similarity, measure of affinity.

Yury Sabo – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, Chief constructor, D.Sc., Professor, postmaster@elavt.spb.ru

Igor Zharinov – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, Chief specialist, PhD, Associate professor, igor_rabota@pisem.net

DEFINITION METHOD OF PARETO-OPTIMUM DESIGN DECISIONS IN AVIONICS

Y. Gatchin, P. Paramonov

Methodological bases of a subset formation effective according to Pareto decisions on a set of design decisions in avionics and a choice of the most effective design decision in vector space of private quality criteria are considered in the paper.

Keywords: onboard equipment, polyvalent optimization, Pareto set.

Yuri Gatchin – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department Head, D.Sc., Professor, gatchin@mail.ifmo.ru

Pavel Paramonov – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, Director, D.Sc., Professor, postmaster@elavt.spb.ru

DESIGN GENERATION OF THE AVIONIC EQUIPMENT BY GENETIC ALGORITHMS

R. Shek-iovsepjantz, I. Zharinov

The approach to the automated synthesis of the onboard equipment mathematical models on the basis of genetic algorithms is considered in the article. The algorithm and examples of practical realization of selection and mutation operators on models of the integrated modular avionics are given.

Keywords: integrated modular avionics, genetic algorithms.

Ruben Shek-Iovsepjantz – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, Chief constructor, D.Sc., Professor, postmaster@elavt.spb.ru

Igor Zharinov – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, Chief specialist, PhD, Associate professor, igor_rabota@pisem.net

FLIGHT TRAJECTORY MODELING IN NAVIGATING COMPLEXES OF AIRCRAFTS IN A HORIZONTAL PLANE

V. Suslov, D. Kozis

The approach to the organization of flight trajectory modeling of the aircrafts in a horizontal plane is considered in article. Mathematical models of the aircrafts movement are introduced and the results of modeling in MathLab environment are presented.

Keywords: modeling, movement in a horizontal plane.

Vladimir Suslov – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, Assistant director, postmaster@elavt.spb.ru

Dmitry Kozis – ZAO «Russian Joint-stock Association “Spetztechnika”», Director, PhD, kozisd@mail.ru

FEATURES OF THE AIRCRAFT MOVEMENT IN A VERTICAL PLANE WITH THE LIMITED DRAFT OF THE ENGINE

B. Vidin, O. Uljanova

The nonlinear system of differential equations describing movement of the weights center of the aircraft in a vertical plane at a rectilinear trajectory is researched. Estimations on speed and range values depending on restrictions on an engine draft control resource are received.

Keywords: aircraft dynamics, control resource, restrictions.

Boris Vidin – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, Deputy Chief constructor, PhD, Professor, postmaster@elavt.spb.ru

Olga Uljanova – Federal State Unitary Enterprise «Saint Petersburg Scientific Design Bureau “Electroavtomatika”» after P. A. Efimov, engineer, postmaster@elavt.spb.ru

COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS

METHOD OF GEOMETRIC SIMPLIFICATION OF 3D POLYGONAL OBJECTS

V. Tozik, A. Mezhenin

The article deals with the method of geometric simplification of 3D polygonal object models for reducing the amount of data that leads to an increase in the rates of both transmission and visualization. The proposed simplification method of the three-dimensional polygonal objects uses edge collapse operations. Additional checks are aimed for eliminating the effect of a degenerate polygonal mesh. To assess the quality of polygonal network simplification the Hausdorff dimension is proposed to use.

Keywords: multi-scale representation, mesh simplification.

Vyacheslav Tozik – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department Head, PhD, Associate Professor, tozik@mail.ifmo.ru

Alexander Mezhenin – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate Professor, PhD, Associate Professor, mejenin@mail.ru

COMPUTER-AIDED THERMAL ANALYSIS OF RADIO-ELECTRONIC ITEMS OF TRANSCEIVER MODULES

D. Bogolyubov, N. Karmanovskiy

Algorithm realizing finite difference method for computer-aided thermal analysis of printed circuit boards of transceiver modules with heat-generating thermostabilization items is considered. Comparative description of this method with well-known typical software is given.

Keywords: transceiver modules, finite difference method, radio-electronic apparatus, design automation system.

Danila Bogolyubov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, astenias@mail.ru

Nikolay Karmanovskiy – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate Professor, PhD, Associate Professor, karmanov50@mail.ru

INFORMATION SECURITY METHODS AND SYSTEMS

SOFTWARE COMPETITION MODEL

A. Razumovskiy

Software security depends not only on its security mechanisms, but also on its competitive grade with other copies of software. Software has to survive in struggle for existence. We need a model of specific program progress under competition conditions with another kind of software.

Keywords: model, security, software, assessment, information.

Andrey Razumovskiy – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, xrew@yandex.ru

ECONOMICS AND FINANCES. MANAGEMENT

FORMAL SPECIFICATIONS OF PRO-ACTIVE SOFTWARE COMPONENTS IN THE MULTI-AGENT VIRTUAL BUSINESS ENVIRONMENT OF INNOVATIONS DEVELOPMENT

A. Masloboev

For implementation of multi-agent system for information support of innovations the actor-based models which describe agent functioning in the virtual business environment have been developed. The models represent a formal specification of the system agents. The unified description of agent models and functioning algorithms for different innovation subjects' types using multi-agent virtual business environment conceptual model has been proposed. Different modeling paradigms combining for agent actor-based models development have provided the unified description of agent interaction processes that simplifies the implementation of conceptual model processing procedures and gives the possibility to flexible agent configuration under constraints of the specific task.

Keywords: conceptual modeling, multi-agent system, information support, innovation business, virtual business environment.

Andrey Masloboev – Establishment of the Russian Academy of Sciences Institute for Informatics and Mathematical Modeling of Technological Processes of the Kola Science Center RAS, PhD, Associate professor, masloboev@iimm.kolasc.net.ru

CONCEPTS OF THE COMPANY INTELLECTUAL POTENTIAL AND CAPITAL, THEIR COMPONENTS AND ESTIMATION TECHNIQUE

R. Mansurov

Research results of economic nature of such concepts as «an intellectual potential» and «an intellectual capital» are submitted in the article. These categories are esteemed as the basis for formation innovative companies, with the purpose of increasing the economic efficiency and competitiveness of domestic firms.

Keywords: an intellectual potential, intellectual capital, competitiveness of the company.

Ruslan Mansurov – Kazan Institute of Administration Economics and Law, Associate professor, PhD, Associate professor, Russell_1@mail.ru

THE CONCEPTUAL POSITIONS OF MANAGEMENT FOR INCREASING THE ECONOMIC EFFECTIVENESS OF MEGAPOLIS PUBLICITY-PUBLISHING ENTERPRISES

O. Tsukanova, A. Varzunov

Theoretical conceptions in the sphere of services are not developed in spite of their importance. But every enterprise should use the special conceptions to make its management more effective and to create the strategic plan of development. An attempt was undertaken to define such conceptual positions.

Keywords: conception of CRM, co-operation marketing, system approach, services.

Olga Tsukanova – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Associate Professor, PhD, Associate Professor, zoa1999@mail.ru

Andrey Varzunov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, varzunov@inbox.ru

NEW TECHNOLOGIES IN EDUCATION

FACULTY SCIENTIFIC OUTPUT: METHODS OF MEASUREMENT AND COMPENSATION*

I. Kotlyarov

The article contains a classification of indexes of scientific output and analysis of the effectiveness index of scientific activity used in Russia to evaluate productivity of scholars. A list of criteria an effective index of scientific output should meet is proposed. It is demonstrated that this index has major flaw and should not be used for measurement of scientific output. New indexes are proposed. It is explained how these indexes can be used to calculate a professor's salary.

Keywords: index of scientific output, citation index, impact factor.

* Published for discussion

Ivan Kotlyarov – North-Western Institute of Printing of Saint Petersburg State Technology and Design University, Associate professor, PhD, ivan.kotliarov@mail.ru

TYPES CLASSIFICATION OF SCIENTIFIC COMPETITIONS WITH AUTOMATIC VERIFICATION OF SOLUTIONS

S. Rukshin

Analysis of existing scientific competitions of school level is presented in the article. A model aimed to help designers to construct distance learning systems with automatic verification of problems solutions is presented.

Keywords: distance scientific competitions, types classification of mathematical problems, automatic verification of problems solutions.

Sergey Rukshin – the Herzen State Pedagogical University of Russia, Associate professor, PhD, Associate professor, vliuser@gmail.com

BRIEF REPORTS

DISTRIBUTED COMPUTING RESOURCES DYNAMIC MANAGEMENT WITHIN COMPOSITE APPLICATION

S. Maryin, S. Kovalchuk, G. Rybakov, A. Bukhanovsky

Peculiarities of distributed computing resources management subsystem developing are considered as a part of high-performance software system building.

Keywords: distributed computation, composite application, parallel software performance.

Sergey Maryin – Science-Intensive Research Institute of Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, sergey.maryin@gmail.com

Sergey Kovalchuk – Science-Intensive Research Institute of Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, senior staff scientist, PhD, kovalchuk@mail.ifmo.ru

Gleb Rybakov – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics, Student, gleb.rybakov@gmail.com

Alexander Bukhanovsky – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics, Professor, D.Sc., Professor, avb_mail@mail.ru

NONLINEAR OPTICAL EFFECTS IN POTASSIUM-ALUMINA-BORIA GLASS WITH COPPER CHLORIDE NANOPARTICLES

A. Kim, P. Shirshnev

Experimental results of nonlinear optical properties of potassium-alumina-boria glass doped with CuCl nanoparticles at the wavelength 0,53 and 1,064 μm are presented.

Keywords: copper chloride, nonlinear optics.

Alexander Kim – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, kimalexandr@yandex.ru

Pavel Shirshnev – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, student, redshuhart@inbox.ru

HEATING INFLUENCE ON THE LUMINESCENCE PROPERTIES OF ERBIUM IONS IN GLASS

A. Abdrshin, V. Aseev, R. Nuryev

The dependence of erbium ions luminescence intensity for different glass composition and dopant concentration has been investigated at different temperatures.

Keywords: luminescence sensors, erbium ions, laser glass.

Albert Abdrshin – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, student, myltitabs@mail.ru

Vladimir Aseev – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, aseev@oi.ifmo.ru

Rustam Nuryev – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, student, nuryev@oi.ifmo.ru

SYNTHESIS OF THE PARTICULAR INVARIANT TRANSFORMATIONS FOR THE ROLL ANGLE OPTICAL-ELECTRONIC MEASURING SYSTEMS

I. Konyakhin, T. Kopylova, A. Konyakhin, A. Merson

The synthesis of invariants permitting to reduce the negative effect of the collimation angles on a measurement accuracy of a roll angle is done; the relations between the parameters of a reference element for the optical-electronic auto collimation system are optimized.

Keywords: invariant, reference element, roll angle.

Igor Konyakhin – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Professor, D.Sc., Professor, igor@grv.ifmo.ru

Tatiana Kopylova – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, student, fleur3310@rambler.ru

Alexey Konyakhin – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Student, aligkon@yandex.ru

Alexey Merson – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, mad777@grv.ifmo.ru

**RESEARCH OF WAYS OF OPTICAL PATH INFLUENCE DECREASE IN DISTRIBUTED
OPTICAL-ELECTRONIC SYSTEMS FOR PREVENTION OF ANTHROPOGENIC DISASTERS**

E. Bogatinsky, V. Korotaev, A. Maraev, A. Timofeev

The ways of decrease of optical path influence on the functioning of distributed optical-electronic systems for prevention of anthropogenic disasters are considered.

Keywords: distributed optical-electronic system, temperature gradient, turbulence of air channel.

Egor Bogatinsky – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Postgraduate, egorbogat@mail.ru

Valeriy Korotaev – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Department Head, D.Sc., korotaev@grv.ifmo.ru

Anton Maraev – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Student, antoshka87@gmail.com

Alexander Timofeev – Saint Petersburg State University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Head of laboratory, PhD, senior staff scientist, timofeev@grv.ifmo.ru

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

Общие положения

Редакция принимает к рассмотрению оригинальные (нигде ранее не опубликованные, за исключением материалов научных конференций) работы по тематике журнала, представляющие новые научные результаты, полученные лично авторами статьи. Публикуются также обзоры, характеризующие современное состояние актуальных направлений развития науки и техники, сообщения о научных конференциях, материалы научных дискуссий и рецензии на новые книги.

Тематика журнала включает разделы, отражающие достижения науки, техники и технологии в области современного приборостроения по направлениям: оптика, оптические системы и технологии, оптическое материаловедение и нанотехнологии, информационные и компьютерные системы и технологии, методы и системы защиты информации, системный анализ, системы автоматического управления, мехатроника, системы автоматизированного проектирования, микроэлектроника, биомедицинские технологии. В качестве дополнительных разделов журнал также публикует работы по экономике и финансам.

Материал статьи должен быть изложен в соответствии со следующей структурой.

В *аннотации*, рассчитанной на самый широкий круг читателей, необходимо кратко (объемом до 100 слов) изложить научное содержание статьи.

Во *введении* необходимо представить содержательную постановку рассматриваемого вопроса, краткий анализ известных из научной литературы решений, критику их недостатков и преимущество (особенности) предлагаемого подхода.

В *основном тексте* статьи должна быть представлена строгая постановка решаемой задачи, изложены и обстоятельно разъяснены (доказаны) полученные утверждения и выводы, приведены результаты экспериментальных исследований или математического моделирования, иллюстрирующие сделанные утверждения. Основной текст статьи может быть разбит на отдельные разделы: «Постановка задачи», «Основной результат», «Результаты моделирования» и т.п.

В *заключении* необходимо кратко сформулировать основные результаты, прокомментировать их и, если возможно, указать направления дальнейших исследований.

Все статьи проходят процедуру рецензирования. После ее завершения автору направляется экземпляр рукописи с замечаниями рецензента и научного редактора для доработки. При опубликовании статьи указываются даты ее поступления и последующих переработок.

Предоставляемые материалы

Авторы статьи представляют в редакцию журнала следующие материалы.

1. Оригинал-макет статьи (в 2 экземплярах), содержащий:

- индекс УДК;
- название статьи на русском языке;
- И.О., фамилию авторов (предпочтительно в алфавитном порядке);
- полное название места работы или учебы авторов (для авторов из разных организаций – сведения по каждому автору);
- аннотация статьи на русском языке (до 100 слов);
- ключевые слова;
- текст публикации (с рисунками, таблицами и т.д.);
- список литературы.

2. Экспертное заключение о возможности опубликования.

3. Сведения об авторах (на отдельном листе):

Ф.И.О. – полностью, место работы или учебы (для иногородних – город), должность, ученая степень, звание, e-mail; Для контактного лица дополнительно указываются адрес для переписки, телефон для связи и e-mail.

4. Сведения о публикации, содержащие (на отдельном листе):

- название статьи (на русском языке);
- авторы (на русском языке);

- индекс УДК;
- ключевые слова (на русском языке);
- аннотация (на русском языке);
- литература (на русском языке);
- название статьи (на английском языке);
- авторы (на английском языке);
- ключевые слова (на английском языке);
- аннотация (на английском языке).

5. Диск (CD-R, DVD-R, допускается дискета 3,5 дюйма) с перечисленными выше материалами в электронном виде. Материалы в электронном виде представляются в виде отдельного каталога (название каталога – фамилия и инициалы контактного лица латинскими буквами, образец: IVANOV_A_A) отдельными файлами. Кроме перечисленных материалов, в электронном виде отдельными файлами представляются:

- рисунки (в т.ч. графики), выполненные в приложениях Microsoft Office, Microsoft Visio, Corel Draw, Adobe Photoshop, Adobe Illustrator;
- таблицы (в сгруппированном виде).

Текст статьи и сведения об авторах должны быть подписаны каждым автором.

Основные требования к оформлению статей

Объем статьи, включая иллюстрации, таблицы и список литературы, не должен превышать 6 страниц.

Оригинал-макет статьи выполняется в редакторе Word for Windows. Шрифт – Times New Roman, размер шрифта 12 pt, межстрочный интервал 1, поля сверху – 20 мм, остальные поля – 25 мм. Абзацный отступ – 10 мм.

Аннотация печатается шрифтом Times New Roman 10 обычный, межстрочный интервал одинарный, выравнивается по ширине страницы. В аннотации не допускаются ссылки на цитированную литературу и громоздкие формулы.

Название раздела печатается шрифтом Times New Roman 12 полужирный, межстрочный интервал одинарный, отделяется от предыдущего раздела полуторной пустой строкой, а от последующего текста – одной пустой строкой.

Название подраздела печатается шрифтом Times New Roman 12 полужирный, межстрочный интервал одинарный, пустыми строками не отделяется.

Формулы набираются в редакторе Microsoft Equation Ed. 3.0. Параметры стиля: текста – Times New Roman, прямой; функции – Times New Roman, прямой; переменной – Times New Roman, наклонный; греческих букв – Symbol, прямой; символов – Symbol, прямой; матрицы-вектора – Times New Roman, прямой, полужирный; чисел – Times New Roman, прямой. Размеры: обычный – 12 pt, крупный индекс – 10 pt, мелкий индекс – 8 pt, крупный символ – 16 pt, мелкий символ – 12 pt. Отдельные переменные в тексте допускается набирать в текстовом режиме с соблюдением требований, указанных для формул.

Список использованной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003. Нумерация позиций – согласно очередности ссылок в тексте.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ КРАТКИХ СООБЩЕНИЙ

Материал *краткого сообщения* должен быть изложен в соответствии со следующей структурой.

Аннотация – (объемом до 2 строк)

Ключевые слова – не более 4.

Содержательная постановка задачи и основные результаты

Литература (не более 3 позиций)

Основные результаты при необходимости могут включать иллюстрации, формулы.

Общий объем краткого сообщения – не более 1 стр.

Материал краткого сообщения (за исключением заглавия) оформляется шрифтом 10.

Для краткого сообщения сведения об авторах и о статье представляются так же, как и для полнотекстовой статьи.

Подписано к печати 15.04.2010 Тираж 350 экз. Заказ № 15(67)

Отпечатано в учреждении «Университетские телекоммуникации»
Адрес: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи
и массовых коммуникаций, свидетельство ПИ № ФС77-33466 от 10.10.2008 г.

Подписной индекс 47 197 по каталогу агентства Роспечать
(Газеты. Журналы)

© Санкт-Петербургский государственный университет
информационных технологий, механики и оптики, 2010