

ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

4(53)/2011

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Учредитель
ОАО «Издательство «Политехника»»

Главный редактор
М. Б. Сергеев,
доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора
Г. Ф. Мощенко

Ответственный секретарь
О. В. Муравцова

Редакционный совет:
Председатель А. А. Оводенко,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Васильев,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Козлов,
доктор технических наук, профессор
Бертран Мейер,
доктор наук, профессор
Ю. Ф. Подоплекин,
доктор технических наук, профессор
В. В. Симаков,
доктор технических наук, профессор
А. Л. Фрадков,
доктор технических наук, профессор
Л. И. Чубраева,
доктор технических наук, профессор, чл.-корр. РАН
Р. М. Юсупов,
доктор технических наук, профессор, чл.-корр. РАН

Редакционная коллегия:
В. Г. Анисимов,
доктор технических наук, профессор
Натан Блаунштейн,
доктор технических наук, профессор
Е. А. Крук,
доктор технических наук, профессор
В. Ф. Мелехин,
доктор технических наук, профессор
А. В. Смирнов,
доктор технических наук, профессор
В. И. Хименко,
доктор технических наук, профессор
А. А. Шальто,
доктор технических наук, профессор
А. П. Шепета,
доктор технических наук, профессор
З. М. Юлдашев,
доктор технических наук, профессор

Редактор: А. Г. Ларионова
Корректор: Т. В. Звертановская
Дизайн: С. В. Барашкова, М. Л. Черненко
Компьютерная верстка: С. В. Барашкова

Адрес редакции: 190000, Санкт-Петербург,
Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ
Тел.: (812) 494-70-02
E-mail: 80x@mail.ru
Сайт: www.i-us.ru

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12412 от 19 апреля 2002 г.

Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук».

Журнал распространяется по подписке. Подписку можно оформить через редакцию, а также в любом отделении связи по каталогу «Роспечать»: № 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс.

© Коллектив авторов, 2011

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ

- Соловьев Н. В., Шифрис Г. В.** Применение предварительного масштабирования при сжатии видеопотока в реальном времени 2
Салангин А. А. Двухэтапная оценка показателя функционирования проектируемых систем с пересчетом результатов испытаний 9
Волков В. Ю., Турнецкий Л. С., Онешко А. В. Выделение прямолинейных кромок на зашумленных изображениях 13
Воробьев С. Н. Потенциальная эффективность обнаружения импульсных сигналов при неравномерной дискретизации во времени 18
Дятлова О. С. К вопросу информационного обеспечения экипажа воздушного судна 24

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- Осипов В. Ю.** Нейронная сеть с прошедшим, настоящим и будущим временем 30

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

- Кавалеров Б. В., Казанцев В. П., Шмидт И. А.** Компьютерные и полунатурные испытания средств управления энергетических газотурбинных установок 34
Кириллов А. Н. Моделирование динамики структур гибридных систем 42
Андреев Е. Н., Волков Д. А., Орлов А. Р., Тимофеев С. С., Турубанов М. А., Чубраева Л. И., Шишлаков В. Ф. Физическое моделирование процессов в ВТСП-проводах и изделиях 47

ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

- Кипяtkова И. С.** Комплекс программных средств обработки и распознавания разговорной русской речи 53

КОДИРОВАНИЕ И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ

- Мальцев Г. Н., Чернявский Е. В.** Кодирование сообщений в системах радиуправления без обратного информационного канала 60

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

- Лямин А. В., Скуидлевский А. А., Чежин М. С.** Система управления работой компьютерного класса общего доступа 66

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

- Бабенков А. Н., Соложенцев Е. Д.** К вопросу построения ЛВ-модели риска неуспеха комплексной структурно-сложной экономической системы 70
Гейда А. С., Лысенко И. В., Силла Е. П. Задачи исследования качества и потенциала систем реализации целевых программ 77
Орлов А. Р. Продюсерское управление — инновационное развитие проектного управления бизнесом 84

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Дужин С. В.** Алгоритмы вычисления полинома Конвея по двудольному графу 89

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

- XI Международная конференция «Проблемы информатизации» — ПИМ-2011 92

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- 93

АННОТАЦИИ

- 99

УДК 004.932.4

ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИ СЖАТИИ ВИДЕОПОТОКА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Н. В. Соловьев,

канд. техн. наук, доцент

Г. В. Шифрис,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Анализируется возможность применения предварительного масштабирования кадров видеопотока, сжимаемых по алгоритму JPEG, для улучшения качества восстановленного изображения. Определяется количественная зависимость качества изображения от соотношения степени сжатия алгоритмом JPEG и коэффициента масштабирования. Оценивается симметричность метода при работе в режиме реального времени.

Ключевые слова — видеопоток, сжатие в реальном времени, алгоритм JPEG.

Введение

Тенденция развития телекоммуникационных услуг показывает, что к 2013 г. суммарный поток видеоданных составит примерно 90 % пользовательского телекоммуникационного трафика, включая видеоконференции, мобильную телефонию и видеонаблюдение [1]. В результате актуальной становится проблема сжатия видеoinформации для передачи по телекоммуникационным сетям с сохранением высокого качества изображения на стороне пользователя. В системах видеонаблюдения, работающих в режиме реального времени, повышение степени сжатия видеоданных с сохранением уровня различимости объектов на отдельных изображениях позволит сократить интенсивность потока передаваемой информации и увеличить информационную емкость устройств хранения.

Из известных в настоящее время методов сжатия видеопотока [2, 3] для передачи изображения в режиме реального времени наиболее подходят симметричные по времени компрессии/декомпрессии методы, многие из которых основаны на поблочном дискретном косинусном преобразовании (ДКП) изображения. Однако при высокой степени сжатия такими методами на декомпрессированном изображении становятся заметны границы блоков, на которые разбивается изображение при сжатии, что значительно снижает визуальное качество на стороне пользователя.

В работе [4] описан предложенный авторами метод предварительного масштабирования изо-

бражения перед компрессией. Суть метода заключается в том, что перед компрессией изображение предварительно масштабируют «вниз» каким-либо алгоритмом сжатия, т. е. уменьшают размер сжимаемого по алгоритму JPEG изображения, затем сжимают, а после передачи по каналу и декомпрессии восстанавливают до исходного размера, т. е. масштабируют «вверх» с помощью алгоритмов интерполяции изображения. В результате заметность блочной структуры на декомпрессированном изображении уменьшается. Проведенные авторами эксперименты [4] показали, что в качестве алгоритма масштабирования по соотношению качество восстановления/время обработки наиболее подходит интерполяционный алгоритм Bilinear [5]. Анализ известных [6, 7] методик количественной оценки качества результирующего изображения по сравнению с исходным показал [4], что наиболее адекватно отображает разницу между изображениями мера SSIM [7] за счет многостороннего анализа сходства изображений по яркости, контрасту и структуре.

В настоящей работе для изображений различного типа (цветных, монохромных, контрастных, размытых, с мелкими деталями) найдено оптимальное соотношение коэффициентов масштабирования и компрессии с точки зрения качества результирующего изображения, а также проведена оценка симметричности метода. Для обеспечения возможности объективно сравнивать результаты при проведении экспериментов коэф-

коэффициенты масштабирования «вниз» и компрессии подбирались так, чтобы размер полученного изображения был равен размеру изображения после компрессии без предварительного масштабирования.

Оптимальное соотношение коэффициентов масштабирования и компрессии

Размер сжатого изображения K_S при использовании предварительного масштабирования пропорционален выбранным для его сжатия коэффициентам масштабирования K_Z и компрессии K_C .

Под коэффициентом масштабирования понимается некоторое число, большее единицы, пропорционально которому меняется размер изображения, а коэффициент компрессии — коэффициент сжатия изображения в диапазоне от 1 до 100. Чем выше коэффициент масштабирования, тем меньше размер изображения, и чем меньше коэффициент компрессии, тем выше качество изображения, т. е.

$$K_S \rightarrow K_Z / K_C. \quad (1)$$

В качестве алгоритма компрессии используется алгоритм JPEG как наиболее распространенный и универсальный, подходящий для разных типов изображений и не требующий значительных вычислительных ресурсов.

Для каждого значения K_S можно построить график зависимости качества изображения, восстановленного после сжатия, от отношения коэффициентов масштабирования и компрессии. Эта зависимость позволит определить наилучшие, с точки зрения качества по мере *SSIM*, значения K_Z и K_C при конкретном K_S .

Для получения наиболее полной картины зависимости качества восстановления от коэффициентов масштабирования и сжатия были проанализированы результаты обработки изображений разных типов. При проведении экспериментов использовались четыре изображения разных типов: контрастное (рис. 1), размытое, монохромное (градации серого) и текст. Формат всех изображений bmp, размер 800×600 пикселей.

Для нахождения наилучшего соотношения коэффициентов масштабирования и сжатия проводилось сравнение изображений одинакового размера из двух групп.

Первая группа изображений была получена сжатием исходного изображения по алгоритму JPEG без масштабирования с коэффициентом качества от 1 до 100. Коэффициент качества у используемой при проведении экспериментов программы сжатия изображения алгоритмом JPEG представляет собой некий условный коэффици-



■ Рис. 1. Тестовое изображение

ент сохранения качества при сжатии (чем выше коэффициент, тем лучше качество и соответственно меньше степень сжатия), т. е. в алгоритме JPEG значение коэффициента качества обратно пропорционально коэффициенту компрессии K_C из (1).

Вторая группа изображений получена сжатием с помощью алгоритма JPEG предварительно отмасштабированного изображения с различными значениями коэффициента K_Z . В табл. 1 приведено соответствие коэффициента масштабирования и получающегося размера изображений в пикселях. Для каждого размера изображения коэффициент компрессии подбирался так, чтобы размер полученного после компрессии файла был равным размеру файла из первой группы изображений, что позволило объективно сравнить качество восстановленных изображений.

Первое тестовое изображение — пейзаж (см. рис. 1). По результатам обработки была составлена таблица с размерами файлов всех полученных после сжатия изображений. Первый столбец в этой таблице содержит размеры изображений 1-й группы с коэффициентом K_Z , равным 1. Все остальные столбцы содержат размеры изображе-

■ Таблица 1

Размер	K_Z	Размер	K_Z
800 × 600	1	160 × 120	5
533 × 400	1,5	160 × 120	5,5
400 × 300	2	133 × 100	6
320 × 240	2,5	123 × 92	6,5
266 × 200	3	114 × 86	7
228 × 171	3,5	106 × 80	7,5
200 × 150	4	100 × 75	8
177 × 133	4,5		

ний 2-й группы с коэффициентом K_Z , большим 1, т. е. все эти изображения были перед сжатием масштабированы. Номера строк соответствуют коэффициенту качества JPEG. Всего было получено 1500 изображений. Фрагмент полученных данных приведен в табл. 2.

По полученным данным были выделены 27 групп файлов с приблизительно равными размерами, причем в каждую группу входит от 2 до 15 изображений. Например, отмеченные в табл. 2 файлы относятся к одной группе с размером сжатого файла около 10 КБ. Сформированные группы были также сведены в таблицу. Первый столбец таблицы — среднее арифметическое размера файла группы по строке, т. е. одна строка — группа файлов примерно одного размера. Фрагмент полученных данных приведен в табл. 3.

После замены данных была получена таблица, в которой вместо размеров файлов приведены соответствующие коэффициенты качества JPEG. Фрагмент полученной таблицы, соответствующий табл. 3, приведен в табл. 4. Из нее видно, что для получения изображения некоего фиксированного размера можно варьировать коэффициенты масштабирования и компрессии в достаточно широких пределах.

Далее была произведена оценка качества восстановленных изображений по всем 25 группам с помощью меры структурного подобия *SSIM*. Изображения всех групп сравнивались с эталоном, т. е. исходным изображением, а результаты измерений были сведены в таблицу, фрагмент которой приведен в табл. 5.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что качество предварительно отмасштабированных перед сжатием изображений превышает качество немасштабированных изображений, начиная с группы со средним размером 12,9270 КБ, которому соответствует коэффициент качества JPEG около 13. Например, помеченные в табл. 5 ячейки соответствуют предварительно отмасштабированным перед сжатием изображениям с более высоким качеством, чем немасштабированные изображения. При небольших коэффициентах компрессии эффект виден на самом меньшем коэффициенте сжатия 1,5, но с увеличением коэффициента компрессии (соответственно, уменьшением коэффициента качества JPEG) исходного изображения эффект становится заметен и на других изображениях с большим коэффициентом компрессии.

По результатам измерения качества восстановленных изображений был составлен график (рис. 2).

Для изображений других типов были проведены аналогичные эксперименты, составлены группы файлов, совпадающих по размерам, и произ-

■ Таблица 2

K_C	177 × 133	160 × 120	145 × 109	133 × 100	123 × 92	114 × 86
95	10,7100	8,5810	7,4650	6,5690	5,7040	5,1000
96	11,8670	9,5280	8,2920	7,3050	6,3450	5,6680
97	13,2430	10,6300	9,2320	8,1500	7,0640	6,3120
98	15,0170	12,0500	10,4730	9,2410	7,9730	7,1610
99	18,3380	14,6360	12,6960	11,1500	9,6130	8,5960
100	20,7040	16,5000	14,2230	12,4590	10,7090	9,6020

■ Таблица 3

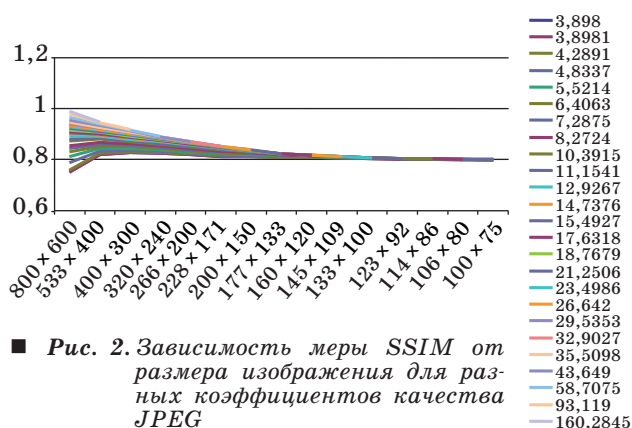
Файл, КБ	800 × 600	533 × 400	400 × 300	320 × 240	266 × 200	228 × 171	200 × 150
10,392	10,263	10,432	10,201	10,093	10,325	10,426	10,075
11,154	11,236	11,085	11,183	11,032	11,056	11,549	11,879
12,927	13,125	13,200	13,035	13,235	13,464	12,726	12,961
14,738	14,779	14,740	14,829	14,723	14,954	15,026	14,449
15,493	15,650	15,603	15,955	15,751	15,712	15,026	16,084

■ Таблица 4

Файл, КБ	800 × 600	533 × 400	400 × 300	320 × 240	266 × 200	228 × 171	200 × 150
10,392	10	25	44	69	81	88	92
11,154	11	27	51	73	83	90	94
12,927	13	34	60	80	88	92	95
14,738	15	39	67	83	90	94	96
15,493	16	42	70	85	91	94	97

■ Таблица 5

Файл, КБ	800 × 600	533 × 400	400 × 300	320 × 240	266 × 200
4,2891	0,7589	0,8255	0,8299	0,8271	0,8210
4,8337	0,7881	0,8334	0,8349	0,8324	0,8246
5,5214	0,8114	0,8435	0,8428	0,8381	0,8285
6,4063	0,8291	0,8518	0,8505	0,8439	0,8334
7,2875	0,8436	0,8588	0,8573	0,8490	0,8381
8,2724	0,8552	0,8669	0,8614	0,8529	0,8426
10,3915	0,8733	0,8794	0,8709	0,8599	0,8495
11,1541	0,8802	0,8827	0,8741	0,8628	0,8512
12,9267	0,8916	0,8911	0,8793	0,8689	0,8566
14,7376	0,9004	0,8959	0,8842	0,8719	0,8594



ведены измерения качества мерой SSIM. Всего было обработано 5600 изображений. Пороговые значения коэффициентов качества JPEG, при которых качество восстановленного изображения после сжатия с предварительным масштабированием превышает качество восстановленного изображения после сжатия без масштабирования, для разных типов изображений следующие:

- контрастное — 13;
- монохромное — 16;
- размытое — 11;
- текст — 46.

Пороговое значение коэффициента качества JPEG, ниже которого есть смысл использовать предварительное масштабирование, зависит от типа изображения. Если у контрастного, монохромного и размытого изображений эти коэффициенты близки, то для текстового изображения пороговый коэффициент значительно выше. Это можно объяснить тем, что текст представляет собой специфическое высококонтрастное изображение с большим количеством резких и мелких деталей (черные буквы на белом фоне). При сжатии изображений такого типа масштабирование с последующим растяжением приводит к заметному размытию очень большого количества значительных перепадов яркости, что существенно влияет на оценку качества восстановленного изображения. При коэффициенте качества JPEG, равном 46 и ниже, ухудшение качества из-за появления блочной структуры у восстановленного изображения, которое сжималось без масштабирования, начинает превышать ухудшение качества из-за размытия восстановленного изображения, которое сжималось с предварительным масштабированием.

Оценка симметричности метода

Одним из важных требований, предъявляемых при использовании предварительного мас-

штабирования для увеличения качества видеопотока при его передаче в on-line режиме, является его симметричность по времени, т. е. время, затраченное на декомпрессию изображения после передачи его по какому-либо каналу, должно быть меньше либо равно времени компрессии.

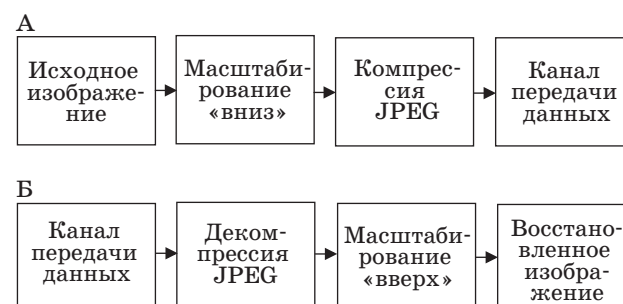
Использование предварительного масштабирования для повышения качества видеопотока предполагается выполнять по схеме, представленной на рис. 3. Исходное изображение предварительно масштабируется «вниз» с помощью алгоритма Bilinear, сжимается алгоритмом компрессии JPEG и передается по каналу передачи. После передачи изображение восстанавливается алгоритмом компрессии, после чего масштабируется «вверх» алгоритмом масштабирования.

Одной из главных характеристик видеопотока является количество кадров в секунду. Чем выше эта характеристика, тем более плавным и естественным будет казаться пользователю движение на экране. Минимальное значение этой характеристики, при котором движение будет восприниматься однородным, является частота 16 кадров в секунду (англ. fps). В традиционном кинематографе используется частота 24 fps, системы телевидения PAL и SECAM используют 25 fps, а система NTSC — 29,97 fps [8]. Максимально высокая частота смены кадров, которую способен воспринять человеческий мозг, лежит в диапазоне от 39 до 42 fps.

Большое значение имеет и такая характеристика видеопотока, как размеры кадра по высоте и ширине в пикселях. Для обычного аналогового телевидения в стандартах PAL и SECAM размер кадра составляет 720 × 576 пикселей, для стандарта NTSC — 720 × 480 пикселей.

В последнее время широкое распространение получило телевидение высокой четкости (HDTV). Существует три стандарта HDTV [9, 10]:

- 1) 720p: 1280 × 720 пикселей, прогрессивная развертка: 24, 25, 30, 50 и 60 fps;
- 2) 1080i: 1920 × 1080 пикселей, чересстрочная развертка: 50 и 60 fps;



■ **Рис. 3.** Схема использования предварительного масштабирования

3) 1080p: 1920 × 1080 пикселей, прогрессивная развертка: 24, 25 и 30 fps.

Пропускная способность канала передачи данных накладывает ограничение на размер передаваемого изображения, так как необходимо исключить временные задержки на стороне пользователя. В табл. 6 приведены допустимые размеры файлов [КБ] для видеопотоков с заданным количеством кадров в секунду, передаваемых по каналам с разной пропускной способностью.

Учитывая данные табл. 6 и пороговые значения коэффициентов качества JPEG, можно определить коэффициенты масштабирования и качества JPEG, позволяющие получить необходимый размер файла со сжатым кадром.

Если сжать изображение размером 720 × 480 пикселей алгоритмом JPEG с самым высоким коэффициентом компрессии, то размер файла составит примерно 2,9 КБ. Эта величина превышает максимально допустимый размер из табл. 6, т. е. канал с пропускной способностью 64 КБ /с из дальнейшего рассмотрения можно исключить.

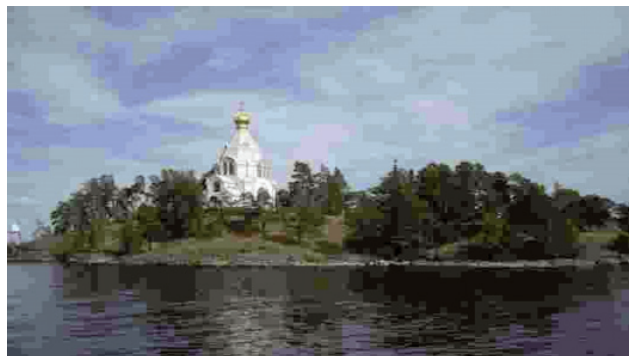
Для канала с пропускной способностью 128 КБ /с изображения для стандартов PAL и SECAM с исходным размером 720 × 576 пикселей необходимо сжимать алгоритмом JPEG с коэффициентом качества 7, что позволяет получить файл размером около 4,9 КБ. Исходя из оптимального соотношения коэффициентов масштабирования и компрессии изображение сначала необходимо масштабировать «вниз» с коэффициентом масштабирования 2, а потом сжать алгоритмом JPEG с коэффициентом качества 29. Размер полученного файла составит 4,9 КБ, что равно по размеру файлу сжатого изображения без предварительного масштабирования. Изображение, предварительно отмасштабированное, с точки зрения восприятия человеческим глазом по качеству существенно лучше. Оценка качества мерой *SSIM* дает следующие значения: изображение, сжатое только JPEG, — 0,8046 (рис. 4, а), полученное с использованием предварительного масштабирования, — 0,8420 (рис. 4, б). Для передачи других стандартов этот канал не подходит по пропускной способности.

Для передачи изображения в стандарте HDTV 720p с 24 и 25 fps подходит канал с пропускной

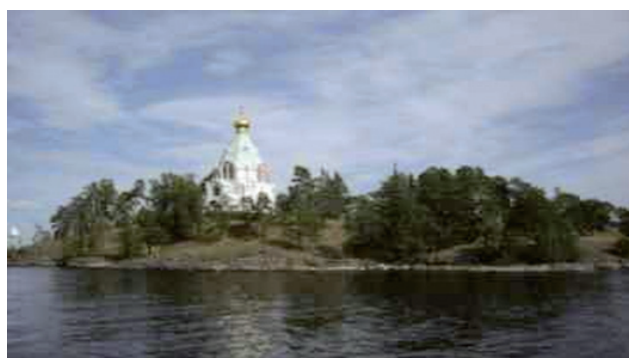
■ Таблица 6

Скорость, КБ /с	Количество кадров, fps				
	24	25	30	50	60
64	2,66	2,56	2,13	1,28	1,06
128	5,33	5,12	4,26	2,56	2,13
256	10,66	10,24	8,53	5,12	4,26
512	21,33	20,48	17,06	10,24	8,53
1024	42,66	40,96	34,13	20,48	17,06

а)



б)

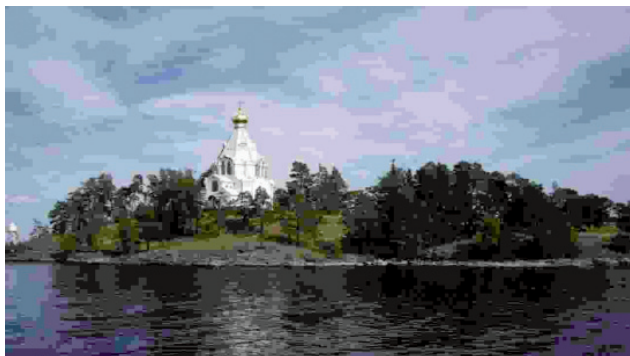


■ Рис. 4. Изображение в стандарте PAL/SECAM, сжатое без предварительного масштабирования (а) и с предварительным масштабированием (б)

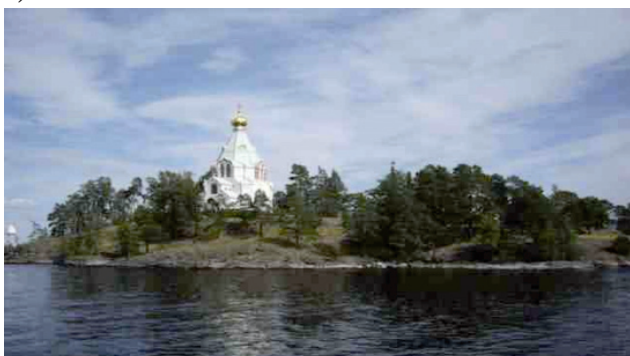
способностью 256 КБ /с. Для получения из исходного изображения (1280 × 720 пикселей) файла сжатого изображения размером, достаточным для передачи по этому каналу, коэффициент качества JPEG должен быть не более 5 (размер файла примерно 8,5 КБ). Такой же размер имеет файл, полученный в результате масштабирования изображения «вниз» с коэффициентом масштабирования 2 с последующей компрессией с коэффициентом качества JPEG 20. Оценка качества мерой *SSIM* дает следующие значения: изображение, сжатое только JPEG, — 0,7901 (рис. 5, а), полученное с использованием предварительного масштабирования, — 0,8683 (рис. 5, б).

Для передачи HDTV 1080i и 1080p с 24 fps подходит канал с пропускной способностью 512 КБ /с. Для получения из исходного изображения (1920 × 1080 пикселей) файла сжатого изображения размером, достаточным для передачи по этому каналу, коэффициент качества JPEG должен быть не более 4 (размер файла примерно 19 КБ). Такой же размер имеет файл, полученный в результате масштабирования изображения «вниз» с коэффициентом масштабирования 2 с последующей компрессией с коэффициентом качества JPEG 20.

а)

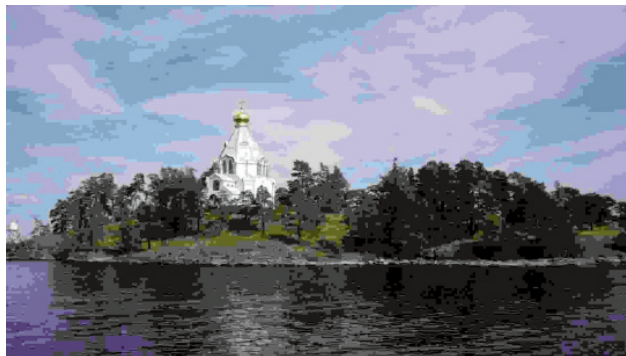


б)

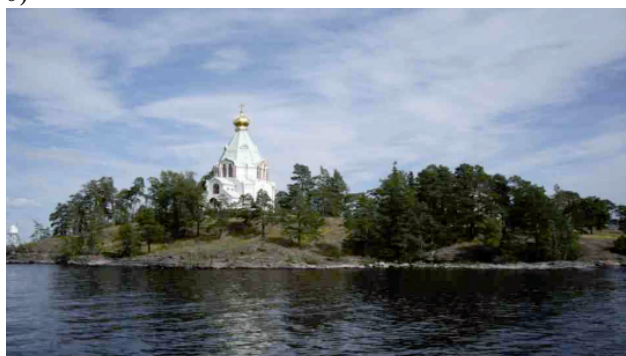


■ Рис. 5. Изображение в стандарте HDTV 720p, сжатое без предварительного масштабирования (а) и с предварительным масштабированием (б)

а)



б)



■ Рис. 6. Изображение в стандарте HDTV 1080i и 1080p, сжатое без предварительного масштабирования (а) и с предварительным масштабированием (б)

Оценка качества мерой *SSIM* дает следующие значения: изображение, сжатое только JPEG, — 0,7740 (рис. 6, а), прошедшее предварительное масштабирование, — 0,8763 (рис. 6, б).

Полученные соотношения коэффициентов масштабирования и компрессии позволяют оценить симметричность метода в зависимости от пропускной способности канала. Использование предварительного масштабирования предполагается по схеме, приведенной на рис. 3. Для передачи видеопотока PAL/SECAM по каналу с пропускной способностью 128 КБ/с каждый кадр сначала необходимо отмасштабировать «вниз» с коэффициентом 2, на что потребуется 7,56 мс. Далее отмасштабированный кадр необходимо сжать с коэффициентом качества JPEG 29, на что потребуется 5 мс. Просуммировав время, необходимое на масштабирование и компрессию, получаем, что на обработку одного кадра при сжатии должно потребоваться 12,56 мс. После передачи по каналу изображение декомпрессируется алгоритмом JPEG, причем, декомпрессия не превысит 5 мс, так как алгоритм JPEG симметричен по времени [3]. Масштабирование изображения до исходного размера займет 10,75 мс. Итого, декомпрессия займет

15,75 мс. Аналогичные вычисления были проведены для других пропускных способностей канала передачи. Результаты представлены в табл. 7.

Масштабирование изображения «вниз» занимает меньше времени, чем масштабирование «вверх», т. е. сам по себе метод не симметричен. На восстановление изображения требуется примерно в 1,2 раза больше времени, чем на его сжатие. При частоте кадров 25 fps обработка одного кадра не должна превышать 40 мс. Этому требованию соответствуют два канала передачи данных — 128 и 256 КБ/с.

■ Таблица 7

Пропускная способность, КБ/с	Масштабирование «вниз», мс	Компрессия JPEG, мс	Итого, мс	Масштабирование «вверх», мс	Декомпрессия JPEG, мс	Итого, мс
128	7,56	5	12,56	10,75	5	15,75
256	17,84	11	28,84	22,38	11	33,38
512	43,9	24	67,9	48,56	24	72,56

Очевидно, что время работы любого алгоритма напрямую зависит от характеристик компьютера. При проведении экспериментов для оценки времени использовался компьютер со следующими характеристиками:

— процессор AMD Athlon 64 X2 4600+ с частотой ядра 2400 МГц;

— оперативная память DDR2 1Gb PC2-6400 800MHz DIMM объемом 2 ГБ;

— материнская плата MSI K9N6PGM2-V2 с чипсетом GF6150.

Использование более мощного и современного компьютера позволит уменьшить время работы как алгоритмов интерполяции, так и компрессии и, соответственно, расширит перечень допустимых пропускных способностей канала передачи.

Заключение

Проведенные эксперименты подтверждают целесообразность использования предваритель-

ного масштабирования изображения перед компрессией для повышения качества восстановленного изображения при передаче видеопотока в реальном времени.

Анализ результатов экспериментов позволяет дать следующие рекомендации:

— если коэффициент качества JPEG не превышает 15, то для всех изображений, кроме текстовых, использование предварительного масштабирования повышает качество восстановленного изображения;

— качество изображения имеет максимальное значение при небольшом коэффициенте масштабирования «вниз», причем с увеличением коэффициента масштабирования «вниз» и увеличением компрессии качество падает, т. е. целесообразно использовать небольшие коэффициенты масштабирования «вниз» (1,5–2);

— несмотря на то, что алгоритм масштабирования не симметричен, эта несимметричность незначительно сказывается на времени работы рассмотренного метода.

Литература

1. Макаров В. В. Телекоммуникации России: состояние, тенденции и пути развития. — М.: Ириас, 2007. — 296 с.
2. Ричардсон Я. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 — стандарты нового поколения. — М.: Техносфера, 2005. — 386 с.
3. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. — М.: Диалог-МИФИ, 2002. — 384 с.
4. Соловьев Н. В., Шифрис Г. В. Улучшение качества сжатых изображений предварительным масштабированием // Информационно-управляющие системы. 2011. № 3. С. 15–23.
5. Гонсалес Р., Вуде Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
6. Ватолин Д. Программный продукт оценки качества восстановленного изображения MSU Quality Measure. http://compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool.html (дата обращения: 20.06.2009).
7. Wang Z., Simoncelli E. P. Translation insensitive image similarity complex wavelet domain // IEEE Inter. Conf. Acoustic, Speech and Signal Processing. Philadelphia, 2005. Vol. 2. P. 673–676.
8. Keith J. Video demystified: a handbook for the digital engineer. — Burlington: Newnew, 2007. P. 242–249.
9. Ive J. Image formats for HDTV. — Geneva.: EBU Technical Review, 2004. P. 2–9.
10. Hight Definition (HD) Image Formats for Television Production. — Geneva: EBU Technical Review, 2010. — 5 p.

УДК 681.51

ДВУХЭТАПНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ СИСТЕМ С ПЕРЕСЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

А. А. Салангин,

канд. техн. наук, доцент

Псковский государственный политехнический институт

Приводится один из подходов к оценке показателя функционирования проектируемых систем в условиях изменения их применения — метод значимой информативной выборки. Осуществлено обобщение метода для произвольной функции распределения и доказана эффективность его применения для понижения дисперсии оценки показателя функционирования.

Ключевые слова — метод значимой информативной выборки, оценка дисперсии, показатель функционирования.

Введение

При оценке показателей функционирования технического комплекса пользуются методами статистической обработки данных исходя из предположений о независимости испытаний и неизменности свойств объекта и среды. Реально же условия возможной эксплуатации технического комплекса могут изменяться, что должно быть учтено при интерпретации получаемых результатов. С этой целью Клейнен [1] предложил процедуру пересчета результатов испытаний системы на другую вероятностную меру, а Железнов [2] ввел комбинированную оценку результатов двухэтапных испытаний, когда информация, полученная на первом этапе испытаний, используется на втором этапе.

Пусть исследуемая сложная система описывается операторным уравнением $y = Ax$, где A — любой (дифференциальный, конечно-разностный и др.) оператор, преобразующий однозначно вектор x случайных входных воздействий X в исследуемый показатель функционирования системы y . Необходимо оценить математическое ожидание y

$$Q = \int_{x \in X} y(x)p(x)dx = \frac{E[y(x)]}{p(x)}, \quad (1)$$

где $p(x)$ — плотность вероятности вектора x . Распространенным методом вычисления многомерных интегралов является метод статистических испытаний.

Несмещенной оценкой для Q является среднее арифметическое из n испытаний. Этот подход оправдан при отсутствии априорной информации о функциональном представлении $y = Ax$. На практике, однако, такая информация обычно имеется, и ее целесообразно использовать. Функция отклика системы (показатель функционирования) $y(x)$ в задачах системного проектирования априорно неизвестна, однако ее вид можно спрогнозировать на основе функционирующих прототипов и требований заказчика.

Метод значимой информативной выборки

При использовании несмещенной оценки показателя функционирования ее качество может характеризовать дисперсия. Одним из методов понижения дисперсии, дающих лучший результат, чем оценка средним по независимым реализациям, является субоптимальный метод значимой информативной выборки [1–3]. Суть метода — провести две серии опытов по оценке математического ожидания и во второй серии опытов использовать информацию об объекте, полученную в первой серии. По итогам первой серии опытов найдем оценку математического ожидания

$$Q_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} y(x_i) \quad (2)$$

и оценку дисперсии

$$D_1 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (y(x_i) - Q_1)^2, \quad (3)$$

где x_1, \dots, x_{n_1} — выборка значений случайной величины (вектора) с плотностью $p_1(x)$. Выражение (1) в скалярном случае можно записать в виде

$$Q = \int_{x \in X} y(x) \frac{p_1(x)}{p_2(x)} p_2(x) dx$$

и интерпретировать Q как математическое ожидание случайной функции

$$y^*(x) = y(x) \frac{p_1(x)}{p_2(x)} \quad (4)$$

по распределению $p_2(x)$. Тогда несмещенной оценкой Q во второй серии опытов будет

$$Q_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} y^*(x_j) \quad (5)$$

с оценкой дисперсии

$$D_2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (y^*(x_j) - Q_2)^2, \quad (6)$$

где x_1, \dots, x_{n_2} — выборка случайной величины (вектора) с плотностью $p_2(x)$.

Формулы (4) и (5) могут быть использованы для взвешенной обработки предыдущих результатов при уточнении плотности распределения случайных воздействий $p_1(x) \rightarrow p_2(x)$ или для определения на втором этапе характера выборки, уменьшающего дисперсию оценки Q .

В качестве несмещенной оценки Q можно использовать также комбинированную оценку

$$Q^* = cQ_1 + (1 - c)Q_2, \quad (7)$$

Оценка дисперсии комбинированной оценки математического ожидания

$$D^* = c^2 D_1 + (1 - c)^2 D_2. \quad (8)$$

Коэффициент c определяют так, чтобы комбинированная оценка имела минимальную дисперсию. Тогда, используя необходимое условие минимума

$\frac{\partial D^*}{\partial c} = 0$, находим

$$c = \frac{1}{1 + \beta}, \quad D_{\text{opt}}^* = \frac{D_2 \beta}{1 + \beta} = \frac{D_1 D_2}{D_1 + D_2}, \quad (9)$$

где $\beta = \frac{D_1}{D_2}$. Из (9) следует, что D^* будет меньше

наименьшего из D_1, D_2 , поэтому комбинированная оценка (7) может служить следующим шагом в уточнении математического ожидания Q .

И. Г. Железнов [2] применил комбинированную оценку для линейного и квадратичного вида функции $y(x)$, используя при этом в качестве плотности $p_2(x)$ тот же закон распределения $p_1(x)$, но с другим выбором его параметров.

Распространим метод значимой выборки на произвольный вид функции $y(x)$.

Прежде всего, найдем условия, накладываемые на плотность распределения $p_2(x)$, при которой дисперсия оценки Q_2 будет минимальной. Для расчета математического ожидания Q можно использовать произвольную плотность распределения $p_2(x)$, так как $E_{p_2(x)}[y^*(x)] = Q$, но дисперсия $D(p_2)$ зависит от выбора $p_2(x)$. Чтобы найти минимум $D(p_2)$ для $y(x) \geq 0, x \in X$ в пространстве функций $p_2(x) \geq 0$, воспользуемся неравенством Буняковского

$$\left[\int u(x)v(x) dx \right]^2 \leq \int u^2(x) dx \int v^2(x) dx. \quad (10)$$

Положим $u(x) = \frac{y(x)p_1(x)}{\sqrt{p_2(x)}}$, $v(x) = \sqrt{p_2(x)}$, тогда

$$\begin{aligned} \left[\int y(x)p_1(x) dx \right]^2 &\leq \int \frac{y^2(x)p_1^2(x)}{p_2(x)} dx \int p_2(x) dx = \\ &= \int \frac{y^2(x)p_1^2(x)}{p_2(x)} dx = D(p_2) + Q^2. \end{aligned}$$

Равенство в (10) достигается, если $v(x) = \text{const}u(x)$, а дисперсия $D(p_2)$ будет минимальной (равной нулю) при выполнении условия

$$p_2(x) = \text{const}y(x)p_1(x). \quad (11)$$

Величина const в (11) играет роль нормировочного коэффициента и может быть выбрана по результатам первой серии испытаний в виде $\text{const} = 1/Q_1$. Формулы (2)–(11) можно распространить на векторный случай.

Рассмотрим применение вышеизложенного подхода к оценке точности наведения ракеты на цель. В качестве показателя точности можно выбрать значение величины промаха $y(x, \xi)$ (величины отклонения от центра при стрельбе по мишеням), зависящей от уровня случайных активных помех x , создаваемых противником, и уровня инструментальных ошибок ξ . Для систем самонаведения нормированная величина промаха монотонно растет с уровнем помех и выражается приближенной зависимостью [4]

$$y(x) = \sqrt{a + (1 - a)z} + b\xi, \quad (12)$$

где $z(x)$ — функция, отражающая влияние уровня активных помех и характеризующая различ-

ной скоростью его роста; $a = 0,09$ — величина минимальной дисперсии промаха в отсутствие активных помех; $\beta \geq 0$ — параметр, характеризующий уровень инструментальных ошибок.

Для проведения вычислительного эксперимента по проверке способа его планирования примем

$$z_1(x) = x(2 - x), z_2(x) = x^2(3 - 2x), z_3(x) = x^2,$$

где x — случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0, 1]$. Функции $z_1(x)$, $z_2(x)$, $z_3(x)$ выражают различную скорость влияния активных помех, а ξ — случайная величина, распределенная по нормальному закону $N(0; 1/6)$. Ниже представлен алгоритм, реализующий вариант метода значимой информационной выборки по оценке математического ожидания $y(x)$ при возможном изменении влияния среды (изменении плотности распределения случайных воздействий $p_1(x) \rightarrow p_2(x)$).

Этап 1. По исходным данным с помощью генератора случайных чисел получаем на интервале $[0, 1]$ n_1 величин x и ξ . Далее по формуле (12) вычисляем n_1 значений функции $y(x)$, а затем по формулам (2) и (3) находим оценки Q_1 и D_1 .

Этап 2. Аппроксимируем случайную функцию $y(x)$ полиномом второй степени $f(x) = r_0 + r_1x + r_2x^2$ и вычисляем коэффициенты r_0, r_1, r_2 методом наименьших квадратов.

Этап 3. Используя формулу (11) после замены $y(x) \rightarrow f(x)$ в виде $p_2(x) = \frac{f(x)p_1(x)}{Q_1}$, генерируем

методом обращения (Неймана) новую выборку x_j , $j = 1, \dots, n_2$, $n_2 \leq n_1$ и по формуле (4) (после замены $y(x) \rightarrow f(x_j) = r_0 + r_1x_j + r_2x_j^2$) вычисляем модифицированную функцию $y^*(x_j)$. Находим по формулам (5) и (6) оценки Q_2 и D_2 .

Этап 4. Вычисляем коэффициент эффективности $\beta = \frac{D_1}{D_2}$ и комбинированные оценки Q^*, D_{opt}^* по формулам (7) и (8).

Результаты вычислительного эксперимента ($n_1 = n_2 = n$) представлены на рис. 1 и 2, а, б, где:

$p_1(x)$ — плотность равномерного распределения промаха $y(x)$;

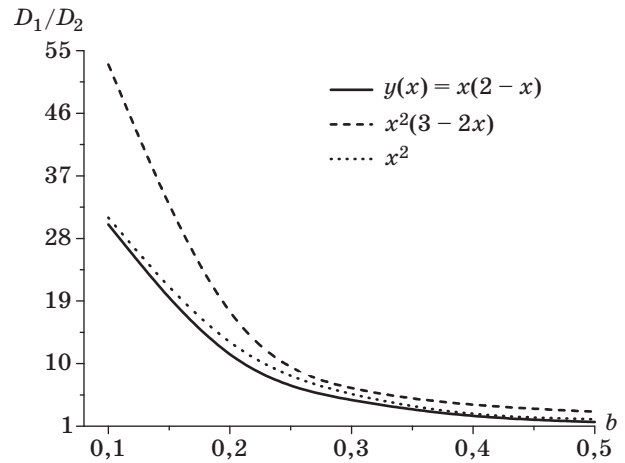
$p_2(x)$ — модифицированная плотность распределения промаха $y(x)$;

$f(x)$ — аппроксимирующий полином второй степени для функции $y(x)$;

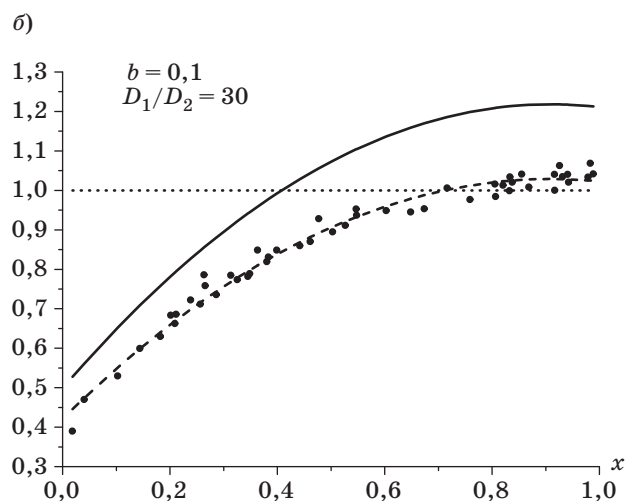
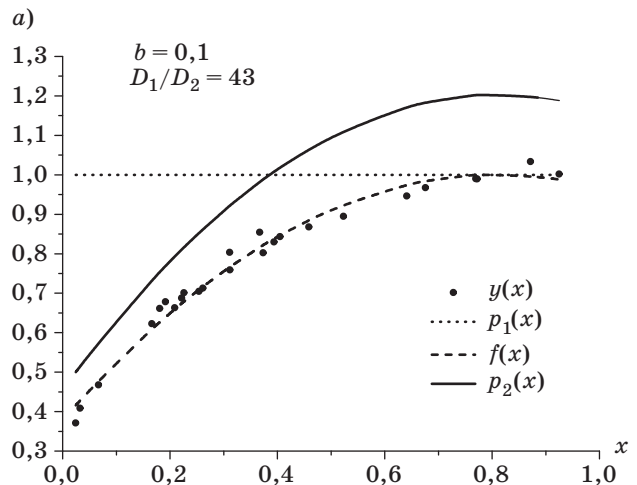
$\beta = \frac{D_1}{D_2}$ — коэффициент эффективности метода значимой выборки.

Результаты вычислительного эксперимента позволяют сделать следующие выводы.

1. Для реального диапазона изменения характеристик параметров функции $y(x)$ коэффициент



■ Рис. 1. Зависимость коэффициента эффективности $\beta = \frac{D_1}{D_2}$ от параметра b при различных $z(x)$ ($n = 50$)



■ Рис. 2. Результаты расчетов $y(x), f(x), p_1(x), p_2(x)$ с использованием функции $z(x) = x(2-x)$: а — $n = 25$; б — $n = 50$

$\beta > 1$ и уменьшается с ростом инструментальных ошибок (см. рис. 1). Увеличение β или понижение дисперсии показателя функционирования системы D_2 с учетом первой серии опытов наиболее значительно с уменьшением влияния инструментальных ошибок (уменьшением коэффициента b).

2. Расчеты показали (см. рис. 2), что β возрастает с уменьшением количества опытов.

Заключение

Подтверждена с помощью вычислительного эксперимента эффективность применения метода значимой информативной выборки для понижения дисперсии оценки показателя функционирования для широкого класса функций $y(x)$. Показано, что следует стремиться выбирать плотность распределения $p_2(x)$, пропорциональную $y(x)$ или аппроксимирующей формуле $f(x)$ (при отсутствии явной формулы $y(x)$). На практике метод позволяет пересчитывать результаты испытаний системы, полученные на первом этапе, на другую воз-

можную вероятностную меру $p_2(x)$ без проведения дополнительных испытаний, которые или невозможны, или дорогостоящи.

Литература

1. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. Ч. 1, 2. — М.: Статистика, 1978.
2. Железнов И. Г. Сложные технические системы (оценка характеристик): учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1984. — 117 с.
3. Салангин А. А. Методология системного анализа проектируемых технических комплексов: монография / ПШИ. — Псков, 2009. — 280 с.
4. Шестун А. Н., Мотылина М. С. Исследование систем управления и системный анализ: методы и прикладные аспекты / СПбГУЭФ. — СПб., 2002. — 116 с.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

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

УДК 621.397:621.396.96

ВЫДЕЛЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ КРОМОК НА ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

В. Ю. Волков,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича**Л. С. Турнецкий,**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент

ОАО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс»

А. В. Онешко,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Предложен новый метод обнаружения и выделения признаков для описания объектов на изображении с использованием кромок. Он полезен для сравнения различных изображений, описания и распознавания категорий объектов, автоматического выделения строений и нахождения общих областей при сравнении изображений. Метод включает ориентированную фильтрацию и поиск прямолинейных сегментов для каждого направления и масштаба кромок с учетом знака градиента. Прямолинейные сегменты упорядочиваются в соответствии с их ориентацией и средним значением градиента в рассматриваемой области. Они используются для построения иерархической системы дескрипторов объектов. Проведен сравнительный анализ эффективности для зашумленной модели и для реальных аэро- и спутниковых изображений.

Ключевые слова — фильтрация, сегментация, выделение объектов.

Введение

Выделение кромок и контуров представляет весьма важную задачу цифровой обработки изображений. Известны два основных подхода при выделении контуров: пространственно-частотная фильтрация и дифференцирование в локальных окнах [1, 2]. Метод локальных производных использует первые или вторые производные в локальном окне. Это позволяет выделить линии контуров вместо перепадов яркости.

В большинстве случаев используется модуль градиента или второй производной. Последующая пороговая обработка позволяет получить бинарное изображение [3, 4], и прямые линии могут быть выделены, например, с помощью преобразования Хафа. Известные общие алгоритмы выделения контуров произвольной формы не учитывают ориентацию линий и не позволяют проиндексировать их упорядочение по этому признаку, а также оценить координаты начала и конца каждой линии.

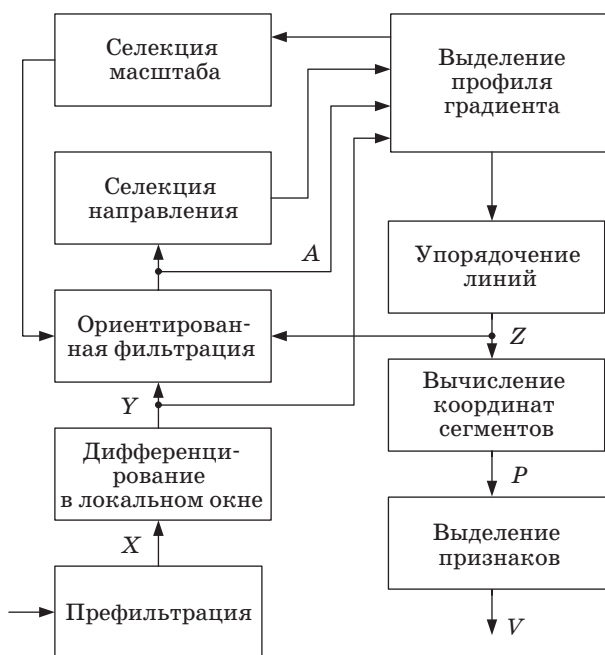
Многие реальные оптикоэлектронные и радиолокационные изображения содержат прямолинейные кромки перепадов яркости. В основном это характерно для изображений искусственных антропогенных объектов (здания, дороги), но прямолинейные кромки встречаются и на естественных сценах, например линия горизонта на морской сцене.

Постановка задачи и метод решения

В статье рассматривается проблема редукции изображений, содержащих прямолинейные кромки, к упорядоченной совокупности прямых линий с измеренными координатами начальных и конечных точек. Новыми элементами предложенного алгоритма обнаружения и выделения признаков для описания объектов на изображении на основе прямолинейных кромок являются: использование положительной и отрицательной частей градиента вместо модуля, что позволяет различать положительные и отри-

цательные перепады яркостей; фильтрация линий пространственно ориентированным фильтром для выделения наиболее значимых направлений; упорядочение оцененных направлений (выбранных) линий в соответствии с сигналами этих фильтров, согласованных с каждым из заложенных пространственных направлений. Для оценивания начальных и конечных точек прямолинейных кромок на координатной сетке используется формирование профилей градиента в выбранном направлении с последующей оценкой положения фронтов полученных импульсов начальных и конечных точек. Алгоритм позволяет определять оптимальные размеры маски для фильтра, обеспечивая таким образом инвариантность к размеру изображения. Предлагаемая структура алгоритма обработки изображения показана на рис. 1.

Оригинальное изображение X после регистрации и предварительного сглаживания подвергается дифференцированию в скользящем локальном окне. Оператор дифференцирования представляет маску фильтра, который вычисляет первую производную (градиент) и учитывает направление выделяемых линий. На этой стадии обработки организуются каналы анализа знака перепада яркости, согласованные с рядом заданных направлений. Число каналов анализа определяет необходимую точность формирования оценок компонент вектора градиента. В данном исследовании, для обзорности, формируются четыре



■ Рис. 1. Структура алгоритма цифровой обработки изображения при выделении прямолинейных кромок

канала анализа: горизонтальный, вертикальный и два диагональных. В каждом канале следует выделять положительную и отрицательную части градиента, определяемого степенью перепада яркости, что позволяет разделять кромки в зависимости от знака перепада яркости (положительный перепад соответствует возрастанию яркости).

Результат дифференцирования Y дает линии в местах кромок перепада яркости. Эти линии различаются по интенсивности, которая связана с величиной градиента. Для упорядочения выделения линий и определения наиболее важных направлений производится фильтрация с помощью пространственно ориентированных фильтров, настроенных в скользящем локальном окне на разные заданные пространственные направления анализа линий перепада яркости изображения.

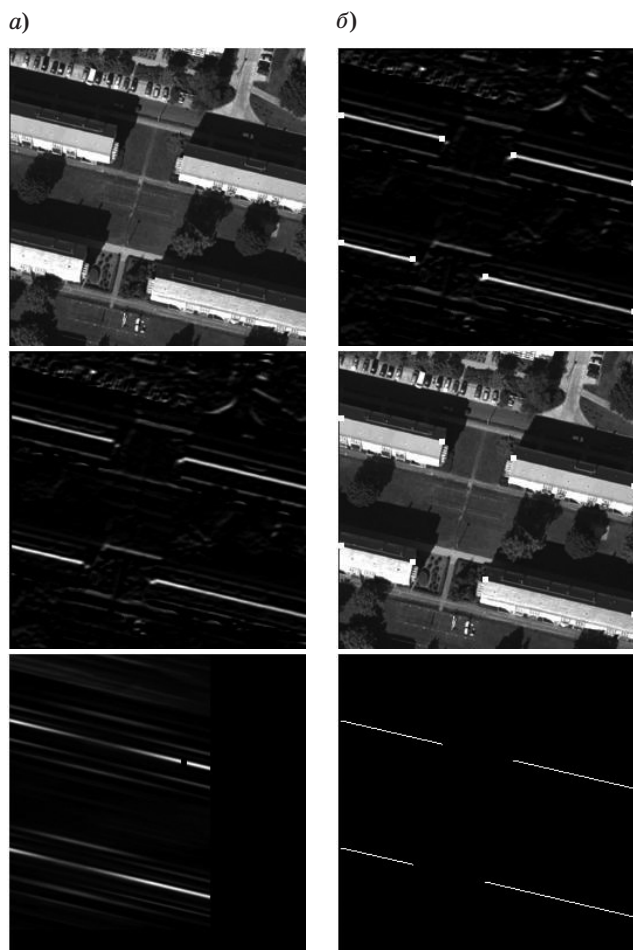
Поскольку в большинстве случаев представляют интерес наиболее интенсивные и длинные линии, то соответствующие направления определяются и обрабатываются в первую очередь. Линии для найденных наиболее значимых пространственно ориентированных направлений упорядочиваются по максимальным или по средним величинам интенсивности и длине (протяженности) выходного сигнала соответствующего пространственно ориентированного фильтра.

На рис. 2, а приведены оригинальное изображение, положительная часть оператора градиента для горизонтального направления и результат фильтрации градиентного изображения пространственно ориентированным фильтром, согласованным с наиболее существенным направлением. Для формирования градиента использовано скользящее локальное окно размером 5×5 .

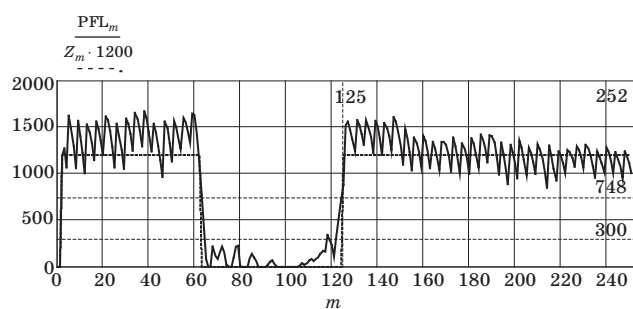
После определения наиболее значимых направлений для линий в каждом из них осуществляется выделение соответствующего профиля градиента Z . Этот профиль формируется как одномерный сигнал вдоль прямой линии в данном направлении (рис. 3).

Задача оценивания начальной и конечной точек линии сводится, таким образом, к задаче оценивания моментов появления и окончания импульса, имеющего неизвестную длительность. В этих целях используется пороговая обработка, которая может включать адаптацию к неизвестным параметрам импульса [3, 4].

Результаты оценивания координат начальной и конечной точек линии прямолинейных кромок представлены на рис. 2, б: начальные и конечные точки помечены белыми метками на градиентном и оригинальном изображениях. Нижнее изображение справа представляет набор линий в местах положительных кромок для выбранного наиболее значимого направления линий.



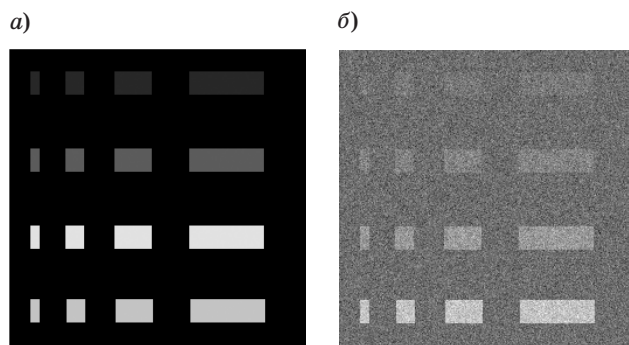
■ Рис. 2. Преобразования оригинального изображения (а) и редукция его к совокупности прямых линий (б)



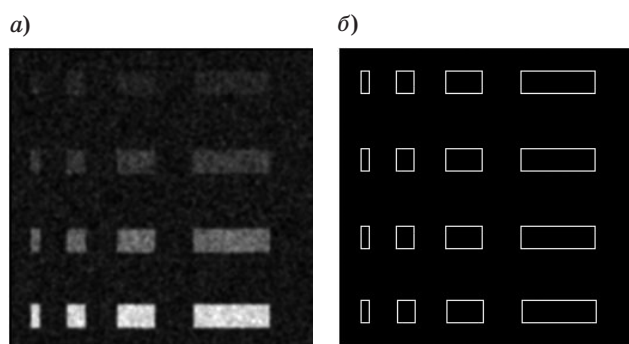
■ Рис. 3. Профиль градиента в выбранном направлении

Выделение прямолинейных кромок на модели изображения

Рассмотрим эффективность выделения прямолинейных кромок на модели изображения, содержащей объекты прямоугольной формы в смеси с аддитивным гауссовым шумом. Модель сигнала изображения (рис. 4, а) включает четы-



■ Рис. 4. Модель сигнала (а) и зашумленного (б) изображения

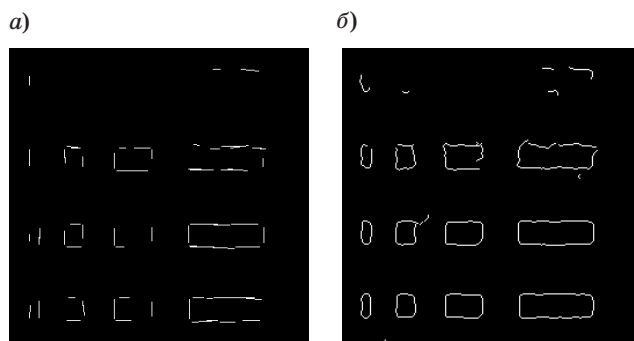


■ Рис. 5. Результат предварительной фильтрации (а) и идеальный результат выделения кромок (б)

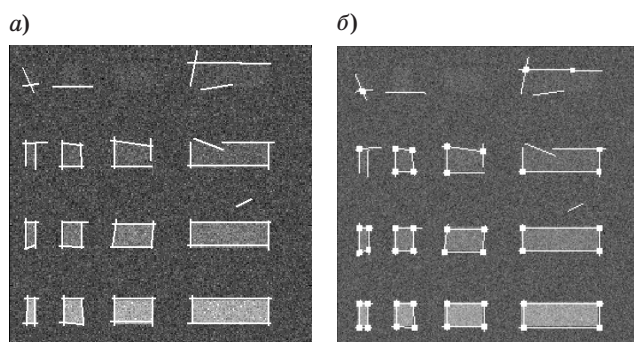
ре ряда объектов прямоугольной формы. Амплитуды прямоугольников одинаковы в каждом ряду, но увеличиваются от верхнего ряда к нижнему. После добавления аддитивного гауссова шума получается зашумленная модель (рис. 4, б), в которой обеспечиваются следующие отношения сигнал/шум в разных рядах: $d = 0,58; 1,16; 2,33; 4,65$. В целях сглаживания зашумленное изображение предварительно фильтруется гауссовым фильтром с параметром $\sigma = 1,5$. Результат предварительной фильтрации и идеальное выделение кромок представлены на рис. 5, а, б.

Стандартный метод выделения прямолинейных кромок включает использование детектора кромок с последующим преобразованием Хафа (рис. 6, а) для получения набора прямолинейных сегментов. Наиболее популярным детектором кромок является детектор Канни (рис. 6, б).

Как известно, детектор Канни дает дрожащую линию контура, что является следствием нелинейной операции неадекватного подавления. Кроме того, детектор Канни сглаживает и подавляет острые углы, поэтому возникают проблемы с выделением точек пересечения прямых. Обычно такие точки находятся уже другими алгоритмами (например, Харриса). Преобразование Хафа



■ Рис. 6. Выделенные прямолинейные сегменты после преобразования Хафа (а) и результат детектирования контуров алгоритмом Канни (б)



■ Рис. 7. Результат выделения прямолинейных сегментов (а) и точек пересечения (б) с помощью предложенного алгоритма

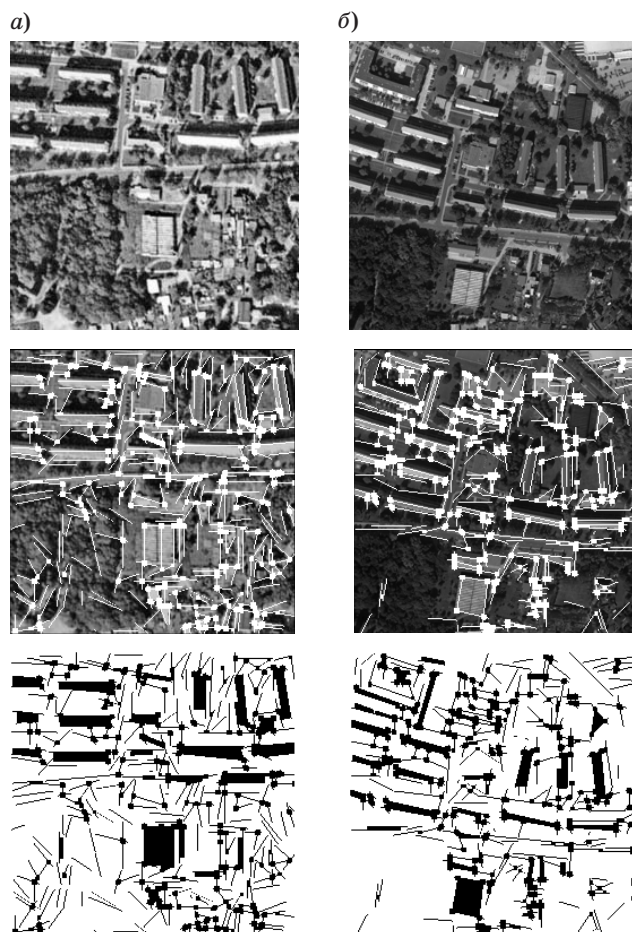
в этом случае дает фрагментированную линию, что требует дополнительной обработки для связывания фрагментов и получения прямолинейного сегмента. Этот дефект проявляется при всех значениях отношения сигнал/шум. Выделение прямолинейных сегментов таким способом нельзя считать удовлетворительным.

Предлагаемый метод ориентированной фильтрации позволяет выделить прямолинейные сегменты (рис. 7, а) и определить точки их пересечения (рис. 7, б).

Выделение прямолинейных кромок на реальных изображениях

Результаты выделения прямолинейных кромок, углов и пересечений, полученные с помощью предложенного алгоритма, представлены на рис. 8, а, б. Анализируется один и тот же участок местности. Снимки, полученные из двух источников, различаются по разрешению и сделаны в разное время.

Представляет практический интерес задача выделения на изображениях одних и тех же объектов в целях согласования и совмещения изо-



■ Рис. 8. Выделение прямолинейных сегментов, углов и пересечений на спутниковом (а) и самолетном (б) изображениях

бражений. Прямые методы корреляции по интенсивности требуют выравнивания масштабов сравниваемых изображений. Они оказываются неработоспособными.

После выделения геометрических примитивов (прямолинейных сегментов, углов и пересечений) задача сводится к поиску на изображениях подобных морфологических структур. Такими структурами могут быть замкнутые контуры из сегментов, содержащие антипараллельные пары сегментов, заданное число точек пересечения и т. п. Для идентификации подобных областей на изображениях можно использовать геометрические соотношения между найденными структурами. На рис. 8 подобные структуры выделены черной заливкой.

Заключение

Рассмотренная задача представляет редукцию оригинального изображения к совокупности параметров для геометрических форм, содержа-

щихся в нем. Прямая линия есть простейшая геометрическая форма, и ее параметрами являются координаты начала и конца линии. Многие изображения содержат прямолинейные кромки, которые являются важными признаками при распознавании и идентификации объектов на изображениях. В данном случае оригинальное изображение редуцируется к списку отрезков прямых линий, упорядоченных в соответствии с их наиболее значимыми направлениями.

Решение задачи выделения прямолинейных кромок и оценивания их начальных и конечных точек включает дифференцирование в скользящем локальном окне, позволяющее получить прямые линии вместо кромок. Новым элементом предложенного алгоритма является формирование положительной и отрицательной частей градиента вместо модуля для различения возрастающих и убывающих перепадов яркости. Кроме того, использование направленных свойств оператора градиента помогает селективировать и упорядочить линии в соответствии со знаком перепада яркости на кромке, а также в соответствии с наиболее значимыми направлениями прямых линий на изображении градиента. Для этого использована фильтрация изображения градиента пространственно ориентированными фильтрами, настроенными на различные направления линий. Оценивание начальных и конечных точек кромок прямых линий производится после формирования профиля градиента в выбранном направлении.

Предложен новый метод получения набора параметров для упорядоченных линий как результат редукции оригинального изображения, который может использоваться для кодирования и хранения изображений, а также как набор пер-

вичных признаков для сравнения изображений, полученных от разных источников для одной и той же сцены.

Предлагаемый метод позволяет также уверенно выделять пересечения и углы кромок прямых линий. Это открывает путь для поиска на изображениях более сложных морфологических структур, таких как замкнутые контуры, содержащие антипараллельные пары сегментов, и других более сложных объектов. Выделение подобных структур на сопоставляемых изображениях позволяет решать задачу их сравнения и согласования при существенных различиях в масштабах, а также имеющих разное разрешение и полученных в разное время.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
2. Image Processing / Н. Maitre Ed. — London, UK: ISTE Wiley, 2008. — 568 p.
3. Анцев Г. В., Волков В. Ю., Макаренко А. А., Турецкий Л. С. Выделение прямолинейных кромок на зашумленных изображениях методом ориентированной фильтрации // Цифровая обработка сигналов и ее применение: Тр. 13-й Междунар. конф. / ИПУ РАН. Вып. XIII. Т. 2. М., 2011. С. 93–96.
4. Volkov V., Germer R. Straight Edge Segments Localization on Noisy Images // Proc. of the 2010 Intern. Conf. on Image Processing, Computer Vision and Pattern Recognition IPCV'10. Las Vegas, Nevada, USA: CSREA Press, 2010. Vol. II. P. 512–518.

УДК 519.2

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ВО ВРЕМЕНИ

С. Н. Воробьев,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассматривается неравномерная дискретизация сигнала оптимальной формы смещением одного из отсчетов в окрестность точки, в которой минимальное собственное значение корреляционной матрицы шума равно нулю. Показано, что при проверке простых гипотез на выходе дискретного согласованного фильтра этим смещением достигается сколь угодно большое отношение сигнал/шум при конечных энергии сигнала и мощности шума. Обсуждаются некоторые аспекты плохой обусловленности задачи и априорной неопределенности.

Ключевые слова — обнаружение, собственное значение, отношение сигнал/шум.

Введение

Задача повышения эффективности обнаружения импульсных сигналов актуальна для множества приложений статистической радиотехники. Обнаружение детерминированного сигнала \mathbf{S} с известным временем прихода в аддитивном стационарном гауссовом шуме \mathbf{X} с корреляционной матрицей \mathbf{B} описывается уравнением дискретной согласованной фильтрации

$$\mathbf{B}\mathbf{G} = \mathbf{S}.$$

Статистика ($\mathbf{Z} = \mathbf{X} + \mathbf{A}\mathbf{S}$ — сигнал на входе при гипотезе H_1 , A — амплитуда)

$$\alpha = \mathbf{G}^T \mathbf{Z}$$

обеспечивает отношение сигнал/шум (ОСШ) на выходе дискретного согласованного фильтра [1]

$$d^2 = \mathbf{G}^T \mathbf{B} \mathbf{G} = \mathbf{S}^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{S}. \quad (1)$$

Его зависимость от формы сигнала позволяет оптимизировать эффективность обнаружения назначением оптимального сигнала

$$\mathbf{S}_{\text{opt}} = \mathbf{A} \mathbf{U}_{\min},$$

где \mathbf{U}_{\min} — собственный вектор матрицы \mathbf{B} , соответствующий минимальному собственному значению $\lambda_{\min} > 0$. При этом достигается ОСШ (1)

$$\begin{aligned} d^2 &= \mathbf{A}^2 \mathbf{U}_{\min}^T \mathbf{B}^{-1} \mathbf{U}_{\min} = \\ &= \mathbf{A}^2 \mathbf{U}_{\min}^T \mathbf{U} \mathbf{\Lambda}^{-1} \mathbf{U}^T \mathbf{U}_{\min} = E / \lambda_{\min}, \end{aligned} \quad (2)$$

где \mathbf{U} , $\mathbf{\Lambda}$ — матрицы собственных векторов и собственных значений; $E = \mathbf{A}^2$ — энергия сигнала [1, 2].

Обратная пропорциональность ОСШ (2) минимальному собственному значению показывает, что при $\lambda_{\min} \rightarrow 0$ эффективность обнаружения может быть сколь угодно велика. Формально это достигается уже в случае двух отсчетов сигнала, взятых с интервалом Δ : собственные векторы и собственные значения корреляционной матрицы стационарного шума $\mathbf{B} = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}$ равны

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{\Lambda} = \sigma^2 \begin{bmatrix} 1-\rho & 0 \\ 0 & 1+\rho \end{bmatrix};$$

уменьшение $\Delta \rightarrow 0$ влечет $\rho \rightarrow 1$ и $\lambda_{\min} \rightarrow 0$.

Необходимость расширения полосы частот $\Delta F \rightarrow \infty$, следующая из $\Delta \rightarrow 0$, делает этот пример малоинтересным. Иная ситуация складывается при большем числе отсчетов. Можно показать, что при сдвиге одного отсчета, реализующем неравномерную дискретизацию сигнала во времени, достижимо существенное уменьшение значения λ_{\min} по сравнению со случаем равномерной дискретизации в конечной полосе частот.

Простые гипотезы

Пусть вектор $\mathbf{X}^T = [x_1, \dots, x_n]$ — отсчеты стационарного гауссова процесса $x(t)$. Сингулярное разложение [3] корреляционной матрицы

$$\mathbf{B}_X = \mathbf{U}\mathbf{A}\mathbf{U}^T$$

геометрически задает собственными векторами \mathbf{U} направления осей эллипсоида рассеивания, собственными значениями \mathbf{A} — длины его полуосей. Алгебраически собственные значения — корни $\lambda_k > 0$ характеристического уравнения

$$\det(\mathbf{B}_X - \lambda\mathbf{I}) = \lambda^n - a_1\lambda^{n-1} + a_2\lambda^{n-2} - \dots + (-1)^n a_n = 0,$$

в котором свободный член

$$a_n = \det \mathbf{B}_X = \prod_{i=1}^n \lambda_i.$$

Пусть существует некоторое преобразование вектора \mathbf{X} , в результате которого одно из собственных значений $\lambda_k \rightarrow 0$. Тогда $a_n \rightarrow 0$, эллипсоид рассеивания вырождается за счет приближения одного из диаметров к нулю. В то же время формально условию $\lambda_k \rightarrow 0$ при задании сигнала $\mathbf{S}_{opt} = \mathbf{U}_k$ в соответствии с (2) равносильно ОСШ $d^2 = 1/\lambda_k \rightarrow \infty$.

Такое преобразование может реализоваться неравномерной дискретизацией во времени. Например, пусть взяты шесть отсчетов $\mathbf{X}^T = [x_0, \dots, x_5]$ процесса с функцией корреляции

$$R(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|) \left(\cos \beta\tau + \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta|\tau| \right),$$

$$\alpha = \frac{1}{2}, \quad \beta = \pi, \quad (3)$$

интервал дискретизации $\Delta = 1$, характеристическое уравнение

$$\lambda^6 - 6\lambda^5 + 12,4266\lambda^4 - 11,6602\lambda^3 + 5,3878\lambda^2 - 1,1930\lambda + 0,1009 = 0$$

имеет минимальный корень $\lambda_1 = 0,2600$, при соответствующем сигнале

$$\mathbf{S}_{opt}^T = \mathbf{U}_1^T = [0,1747; 0,4120; 0,5475; 0,5475; 0,4120; 0,1747]$$

обеспечивающий ОСШ $d^2 = 3,85$. Это значение определяет потенциальную эффективность обнаружения с равномерной дискретизацией. Если же время $t_3 = 3$ отсчета x_3 сместить в точку $t_3 = 3,745$, характеристическое уравнение за счет уменьшения минимального собственного значе-

ния до $\lambda_1 = 0,0013$ запишется с меньшим значением a_6 :

$$\lambda^6 - 6\lambda^5 + 12,5520\lambda^4 - 11,0818\lambda^3 + 3,8685\lambda^2 - 0,3407\lambda + 4,3634 \times 10^{-4} = 0;$$

ОСШ увеличивается до $d_1^2 = 777,4$ для сигнала

$$\mathbf{S}_{opt}^T = [0,3132; 0,5646; 0,2884; -0,2884; -0,5646; -0,3132]. \quad (4)$$

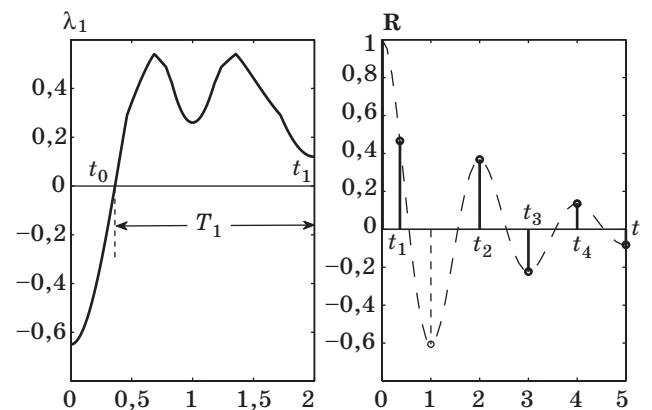
Действительно, неравномерной дискретизации в узлах $\{t_0, \dots, t_5\} = \{0; 1; 2; 3,745; 5\}$ соответствует матрица собственных векторов

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} 0,3132 & 0,3670 & -0,3969 & -0,5617 & 0,4558 & -0,2939 \\ 0,5646 & 0,0300 & -0,5206 & 0,0980 & -0,4775 & 0,4143 \\ 0,2884 & -0,6036 & -0,2672 & 0,4182 & 0,2534 & -0,4919 \\ -0,2884 & -0,6036 & -0,2672 & -0,4182 & 0,2534 & 0,4919 \\ -0,5646 & 0,0300 & -0,5206 & -0,0980 & -0,4775 & -0,4143 \\ -0,3132 & 0,3670 & -0,3969 & 0,5617 & 0,4558 & 0,2939 \end{bmatrix}$$

так что для сигнала (4) ОСШ (1) равно d_1^2 .

К подобным результатам приводит смещение и других отсчетов. Matlab-моделированием была исследована зависимость минимального собственного значения λ_1 от положения отдельных узлов дискретизации для некоторых типовых функций корреляции стационарного гауссова шума [4]. На рис. 1 показана зависимость $\lambda_1 = \varphi(t_1)$, полученная на интервале $0 < t_1 < 2$ для функции корреляции (3). Собственное значение в точке t_0 меняет знак, следовательно, $\lambda_1(t_0) = 0$, а функция $d^2 = 1/\lambda_1(t)$ в точке t_0 претерпевает разрыв второго рода.

Точность определения значения t_0 зависит от интервала дискретизации: при $\Delta t = 0,001$ минимальное значение, соответствующее $\lambda_1 \geq 0$, равно $t_{11} = 0,3640$, при этом ОСШ $d^2 = 385,4$. Если же задать $t_{11} = 0,3631155$, то достигается $d^2 = 8,5 \times 10^6$. На рис. 1 показан интервал T_1 неотрицательных значений λ_1 , а также узлы неравномерной диск-



■ Рис. 1. Минимальное собственное значение, узлы дискретизации

ретизации при сдвиге первого узла t_1 в окрестность значения t_0 .

Отношение сигнал/шум d^2 в окрестности точки t_0 изменяется скачкообразно (рис. 2), значение функции $d^2(t_0)$ не определено. Резкое нарастание ОСШ при $t_0 \leftarrow t_1$ определяет потенциальную эффективность обнаружения сигнала оптимальной формы при неравномерной дискретизации: она может быть сколь угодно высокой при единичных значениях энергии сигнала и дисперсии шума.

Потенциальное свойство $d^2 \rightarrow \infty$ при конечной энергии сигнала позволяет назвать метод неравномерной дискретизации «сверхобнаружением».

Большая крутизна функции $d^2(t)$ задает требование высокой точности назначения узла дискретизации $t_1 < T_1 > t_0$, так как при $t_1 < t_0$ «корреляционная матрица» отсчетов становится отрицательно определенной. Существование интервалов, запрещенных для размещения в них узлов дискретизации (например, $t_1 < t_0$, см. рис. 1), приводит к невозможности генерирования соответствующих последовательностей. Так, методом преобразования векторов с корреляционной матрицей \mathbf{B}_X линейной системой с оператором $\mathbf{A} = \mathbf{B}_X^{1/2} \mathbf{B}_X^{-1/2}$ [1] вследствие отрицательной определенности заданной матрицы \mathbf{B} генерируются последовательности комплексных чисел. При генерировании «полубесконечной» последовательности с заданным корреляционным вектором \mathbf{R} окрашиванием дискретного белого шума линейной системой с весовым вектором \mathbf{H} , являющимся дискретным аналогом решения интегрального уравнения [1, 5]

$$\int_0^\infty h(t)h(t+\tau)dt = R(\tau), \quad (5)$$

в случае отрицательной определенности функции корреляции формируется последовательность с другими корреляционными свойствами.

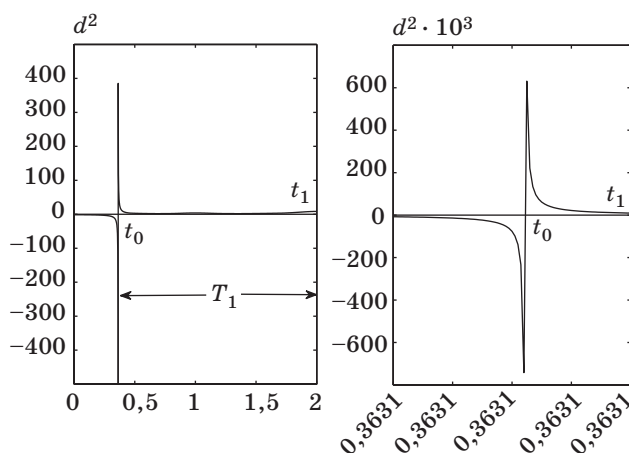


Рис. 2. Отношение сигнал/шум

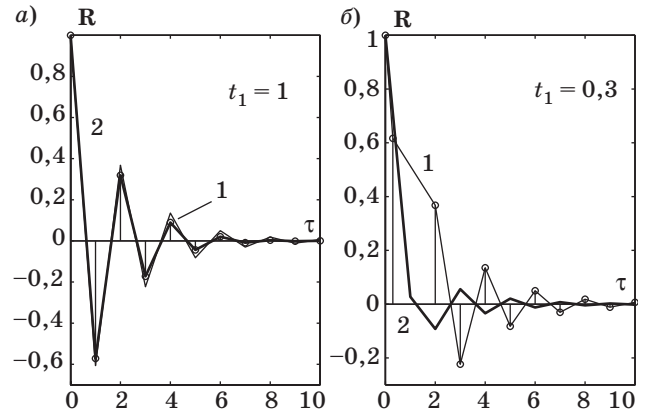


Рис. 3. Функции корреляции: а — отсчеты функции (3); б — отсчеты сдвинутой функции (3)

На рис. 3, а показаны отсчеты 1 заданной положительно определенной функции (3) и ее воспроизведение 2 подстановкой приближенных значений $\hat{h}(t)$ в уравнение (5) при равномерной дискретизации с интервалом $\Delta = 1$. На рис. 3, б — отсчеты 1 функции (3) при сдвиге первого узла дискретизации в точку $t_1 = 0,3$. Заданная функция становится отрицательно определенной, и генерируется последовательность 2 с корреляционными свойствами, резко отличающимися от заданных.

Разрыв функции $d^2(t)$ означает плохую обусловленность метода неравномерной дискретизации. Например, сигналам

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_1^T &= [0,3234; -0,5596; \\ &0,2867; 0,2867; -0,5596; 0,3234], \\ \mathbf{S}_2^T &= [0,3224; -0,5600; \\ &0,2873; 0,2873; -0,5600; 0,3224] \end{aligned}$$

соответствует ОСШ $d_1^2 = -265,4$ и $d_2^2 = 265,4$.

«Сверхобнаружение» может быть достигнуто в окрестностях точек $t_{21}, t_{22}; t_{31}, t_{32}; t_{41}$ при $t_{21} \leftarrow t_2$ или $t_2 \rightarrow t_{22}; t_{31} \leftarrow t_3$ или $t_3 \rightarrow t_{32}$ и т. д.

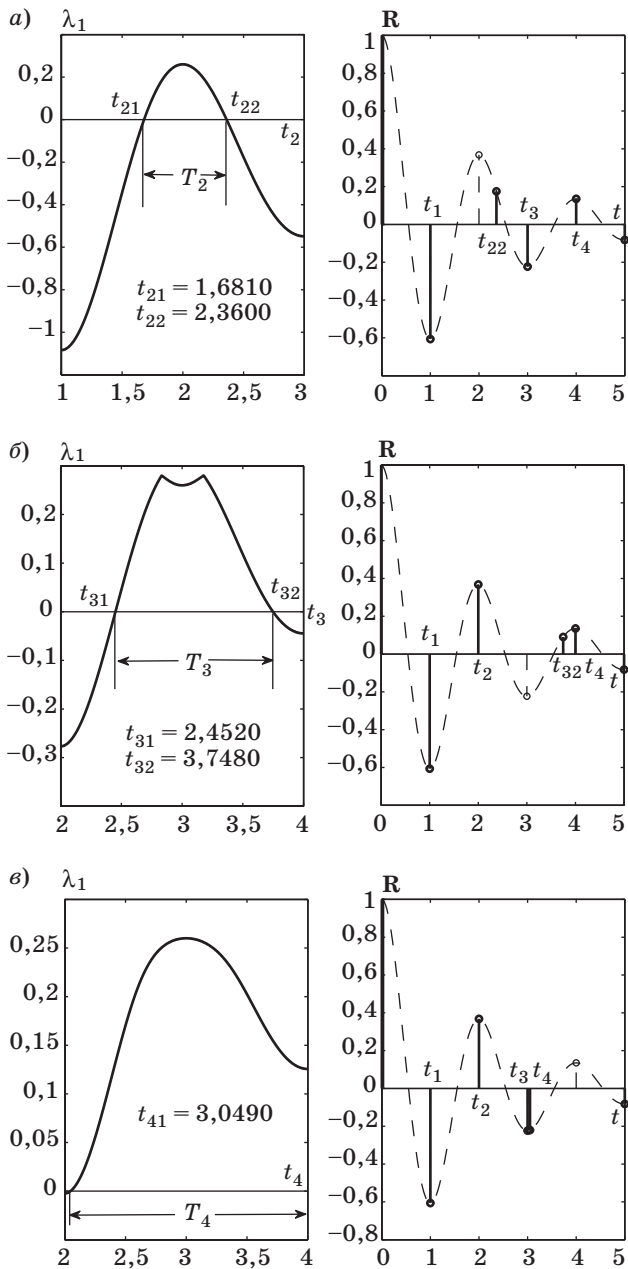
На рис. 4, а–в показаны минимальные собственные значения и примеры оптимальной неравномерной дискретизации для отсчетов, полученные с интервалом дискретизации $\Delta t = 0,001$. Узлы $t_2 \in T_2, t_3 \in T_3, t_4 \in T_4$.

Подобное моделирование ($\Delta t = 0,001, n = 6$) проведено также для шума с функциями корреляции

$$R(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|) \left(\cos\beta\tau - \frac{\alpha}{\beta} \sin\beta|\tau| \right); \quad (6)$$

$$R(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|) \cos\beta\tau, \quad \alpha = 0,5, \beta = \pi. \quad (7)$$

Получены аналогичные результаты (таблица).



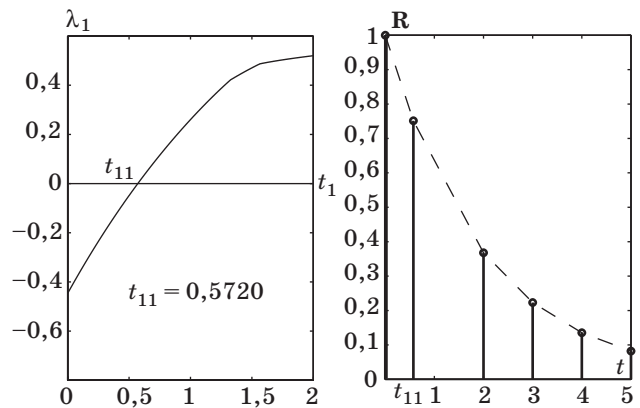
■ Рис. 4. Минимальное собственное значение, второй (а), третий (б) и четвертый (в) узел

№ функции	t_{11}	t_{21}	t_{22}	t_{31}	t_{32}	t_{41}
(3)	0,364	1,681	2,360	2,452	3,748	3,049
(6)	0,272	1,574	2,269	2,356	3,635	3,011
(7)	0,316	1,629	2,313	2,403	3,695	3,020

Моделирование шума с функцией корреляции

$$R(\tau) = \exp(-\alpha|\tau|), \quad \alpha = 0,5 \quad (8)$$

приводит к иным результатам. Минимальное собственное значение изменяет знак только при сме-



■ Рис. 5. Минимальное собственное значение, узлы дискретизации при экспоненциальной функции корреляции

щении первого узла дискретизации в окрестности точки $t_{11} = 0,5720$ (рис. 5).

Смещение других узлов оставляет $\lambda_1 > 0$, при этом $d^2 \leq 21$. Увеличение коэффициента α приближает значение t_{11} к нулю, а модель (8) — к модели белого шума с единичной дисперсией, в которой все собственные значения равны единице, собственные векторы — нули с единственным единичным значением, ОСП $d^2 = 1$.

Следует отметить, что метод неравномерной дискретизации требует расширенной, но конечной полосы частот обнаружителя. Так, в последнем примере $t_{11} = 0,5720$ (см. рис. 5), что возможно при увеличении полосы частот в 2 раза, в примере с узлом t_4 (см. рис. 4, в) требуется увеличение полосы более чем на порядок.

Сложные гипотезы

Практическая реализация «сверхобнаружения» требует специальной проработки, связанной с плохой обусловленностью задачи. В радиотехнике, как правило, шум стационарен на ограниченных интервалах времени, поэтому применяются адаптивные системы с каналом измерения характеристик шума. Погрешности измерения функции корреляции или корреляционной матрицы приведут к погрешностям задания формы сигнала (собственного вектора корреляционной матрицы). Необходимо исследовать эффективность обнаружения сигнала с искажениями формы в целях определения требований к измерительному каналу. Известные результаты статистического анализа собственных векторов и собственных значений связаны с методом главных компонент [6], в котором выделяются максимальные значения. Статистические исследования минимального собственного значения и соответствующего собственного вектора в задаче об-

наружения представляют самостоятельный интерес. Следующий пример отчасти характеризует круг вопросов, которые при подобных исследованиях следует разрешить.

Пусть функция корреляции имеет вид (3), оценки коэффициентов

$$\hat{\alpha} \in N(0,5; 0,01), \hat{\beta} \in N(\pi; 0,06), \quad (9)$$

время прихода сигнала и положение узлов дискретизации известны. Пусть интервал дискретизации $\Delta = 1$, второй отсчет смещается в окрестность точки t_{21} (см. рис. 4, а) и назначается равным $t_2 = 1,71$. Если бы коэффициенты были известны, было бы получено ОСШ $d^2 = 22,3$. Результаты моделирования сигналов S и значения λ_1 при случайных параметрах (9) показаны на рис. 6. Сигналы мало различаются по форме, часть из них соответствует значениям $\lambda_1 < 0$. Полярность сигналов не имеет значения, например, сигнал $S^T = [-0,2412; -0,4316; -0,5056; -0,5056; -0,4316; -0,2412]$ обеспечивает ОСШ $d^2 = 19,5$, сигналу $S^T = [0,2482; 0,4301; 0,5034; 0,5034; 0,5034; 0,4301; -0,2482]$ соответствует значение $d^2 = -366,1$. Гистограмма минимальных собственных значений показывает, что при параметрах (9) невозможно обнаружить $\approx 14\%$ сигналов (с $\lambda_1 < 0$). Среднее значение положительных значений ОСШ, равное $\bar{d}^2 \approx 50$, здесь не является признаком повышения эффективности обнаружения, так как среди полученных 860 значений $d^2 \geq 4,5$ встречаются отдельные, доходящие до $d^2 \geq 5000$.

Таким образом, этот упрощенный пример показывает, что попытка приблизиться к «сверхобнаружению», например в синхронной системе связи, может сопровождаться комплексом теоретических и инженерных задач от оценивания корреляционных свойств шума до организации системы.

В асинхронных системах может существовать другое ограничение, накладываемое разрывом функции $d^2 = 1/\lambda_1(t)$, — необходимость синхрони-

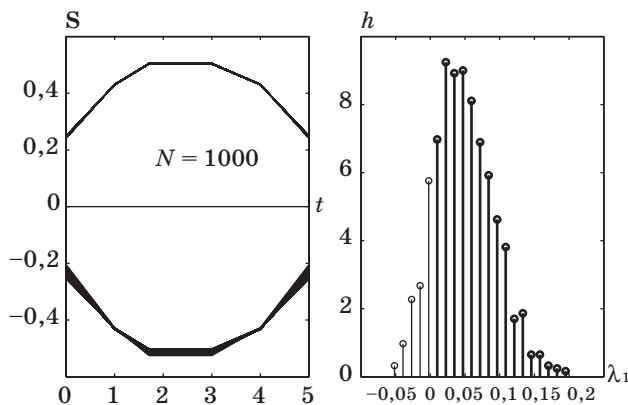


Рис. 6. Сигналы, гистограмма минимального собственного значения

зации обнаружителя для максимизации ОСШ приближением узла дискретизации к точке разрыва. Погрешности синхрогенераторов приводят к необходимости некоторого сдвига узла. За счет большой крутизны d^2 в окрестности t_0 реальное ОСШ окажется значительно меньше потенциального.

Например, пусть оптимизируется третий узел дискретизации функции корреляции (3) смещением в окрестность точки $t_0 \approx t_{32} = 3,748$ (см. рис. 4, б). Пусть назначается $t_3 = 3,7$ (рис. 7, 1 — функция d^2). Сигнал

$$S_{opt}^T = A[0,3137; 0,5645; 0,2880; -0,2880; -0,5645; -0,3137],$$

соответствующий заданному значению t_3 , обеспечивает ОСШ $d^2 = 54,04$. Если синхронизатор имеет погрешность $\delta \in N(0, \sigma)$, $\sigma = 0,012$ (нормальная плотность 2 на рис. 7 увеличена в 50 раз), будет достигнуто среднее значение ОСШ $\bar{d}^2 = 58,8$. При равномерной дискретизации $d_r^2 = 3,85$, так что в этом случае неравномерная дискретизация оказывается на 11,8 дБ эффективнее. Моделирование обнаружителя в этом примере проведено для $N = 3000$ случайных значений t_3 : вычислены значения статистики при гипотезах H_0 и H_1 ; ОСШ и рабочие характеристики $D = \varphi(F)$ усреднены (рис. 8, 1). Значение $\bar{d}^2 = 6$ соответствует ам-

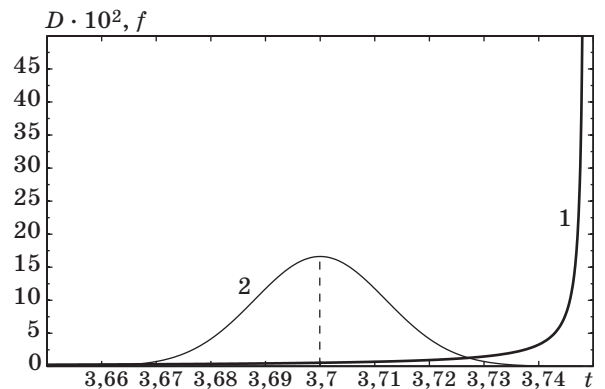


Рис. 7. Усреднение ОСШ

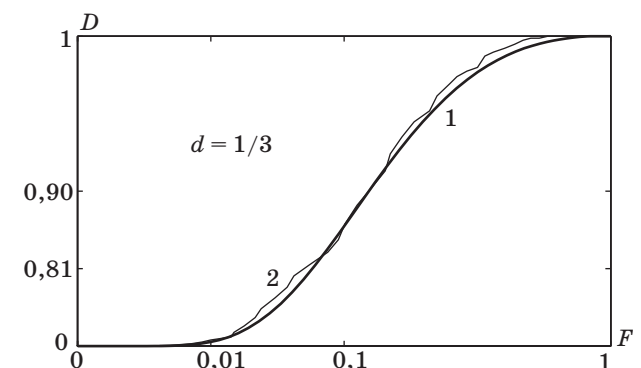


Рис. 8. Рабочие характеристики

плитуде сигнала $A = 1/3$ (ОСШ на входе $d = 1/3$) и близко к расчетным значениям. Рабочие характеристики построены в нелинейном масштабе: $F_1 = 2^{lg F}$, $D_1 = 2^{-\log_{0,9} D}$. На рис. 8 линия 2 — рабочая характеристика, полученная для сигнала с $t_3 = 3,7$: приемлемая нестабильность синхронизатора не оказывает существенного влияния на эффективность обнаружения.

Таким образом, при априорной неопределенности эффективность метода неравномерной дискретизации может значительно уменьшиться по сравнению с потенциально достижимой, тем не менее, следует ожидать ее превосходства по сравнению с эффективностью метода равномерной дискретизации.

Заключение

В условиях аддитивного стационарного гауссова шума оптимальный сигнал имеет форму соб-

ственного вектора, соответствующего минимальному собственному значению. При проверке простых гипотез и исходной равномерной дискретизации сигнала один из отсчетов может быть смещен к точке t_0 , в которой минимальное собственное значение корреляционной матрицы шума равно нулю. При этом достигается потенциальная эффективность обнаружения — на выходе дискретного согласованного фильтра может быть получено сколь угодно высокое ОСШ для сигнала с единичной энергией и шума с единичной дисперсией.

В точке t_0 ОСШ претерпевает разрыв второго рода, что определяет плохую обусловленность задачи обнаружения с неравномерной дискретизацией. Плохая обусловленность усложняет проверку сложных гипотез.

Автор выражает глубокую признательность профессору Г. И. Худякову за конструктивное обсуждение работы.

Литература

1. Воробьев С. Н. Эффективное обнаружение детерминированных сигналов / ГУАП. — СПб., 2002. — 139 с.
2. Нестерук В. Ф. О влиянии формы сигнала на его обнаружение при нормальных коррелированных помехах // Радиотехника и электроника. 1963. № 8. С. 1319 — 1325.
3. Хорн Р., Джонсон Ч. Матричный анализ. — М.: Мир, 1989. — 656 с.
4. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М.: Сов. радио, 1966. — 678 с.
5. Воробьев С. Н. Интегральное уравнение генератора стационарного нормального процесса с заданной функцией корреляции EQGEN. — М.: ФАП ВШ. Рег. № 50200000065, 2000.
6. Кендалл М., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. — М.: Наука, 1976. — 736 с.

УДК 629.7.066.3

К ВОПРОСУ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКИПАЖА ВОЗДУШНОГО СУДНА

О. С. Дятлова,¹

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Приводится описание разрабатываемых систем информационного обеспечения экипажа, в частности наиболее перспективные системы технического видения с расширенными возможностями визуализации. Формулируются первоочередные задачи, возникающие при их разработке, а именно задача контроля работы алгоритма наведения воздушного судна в целевую точку и задача повышения достоверности изображения, формируемого на коллиматорном индикаторе, путем комплексной обработки видеоизображения и цифровой модели рельефа. Предлагаются методы их решения.

Ключевые слова — система технического видения, директорная информация, подстилающая поверхность, видеоизображение, цифровая модель рельефа.

Введение

С развитием авиационной техники в гражданской авиации и авиации специального назначения происходит постоянное усложнение решаемых экипажем задач. Для снижения нагрузки на экипаж воздушного судна (ВС) и повышения безопасности полетов решается комплекс задач по предоставлению пилоту необходимой пилотажно-навигационной информации, а также информации о подстилающей поверхности в максимально удобной для восприятия и быстрого реагирования форме.

Наиболее востребованной и динамично развивающейся областью внедрения новых технических возможностей представляется информационное обеспечение экипажа поисково-спасательных судов, а также ВС гражданской авиации, совершающих полеты в темное время суток и при сложных погодных условиях, т. е. в условиях ограниченной видимости. Предлагаемые решения позволяют значительно расширить эксплуатационные ограничения ВС, повысить регулярность полетов за счет снижения метеоминимума ВС.

¹ Научный руководитель — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой открытых информационных технологий и информатики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения А. В. Гордеев.

Описание разрабатываемых систем технического видения

Для повышения безопасности в аэропортах, где недоступны или отсутствуют системы точного захода на посадку, а также для предупреждения столкновения в полете по сложным траекториям и в среде с многочисленными препятствиями и/или сложным рельефом земной поверхности предлагается, в частности, использовать следующие системы [1]:

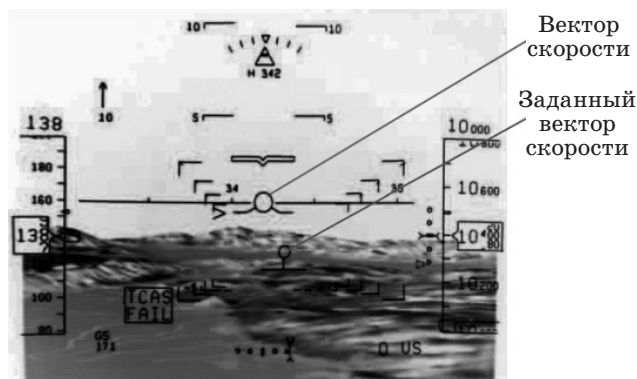
— технического видения (*Enhanced Vision System — EVS*), где на коллиматорный индикатор выводится изображение от радиолокационных, телевизионных и инфракрасных обзорных бортовых систем;

— синтезированного видения (*Synthetic Vision System — SVS*), где изображение на дисплее формируется путем графического представления цифровой модели рельефа (ЦМР), на которую накладывается пилотажно-навигационная информация;

— комбинированного видения (*Combined Vision System — CVS*);

— технического видения с расширенными возможностями визуализации (*Enhanced Flight Vision System — EFVS*).

В последнем случае помимо изображения от обзорных систем формируется директорная информация. Эта директорная информация представляет собой спроецированный на коллиматорный экран вектор скорости ВС и заданный вектор



■ Рис. 1. Вид индикатора с директорной информацией

скорости ВС, обеспечивающий полет по заданной траектории и/или наведение ВС на какую-либо целевую точку, например взлетно-посадочную полосу (ВПП) (рис. 1).

С точки зрения эксплуатационных преимуществ указанных систем наибольший интерес представляют системы технического зрения с расширенными возможностями визуализации, так как только они в соответствии с зарубежным стандартом, посвященным системам технического зрения DO-315, и Руководством по всепогодным полетам ИКАО 9365-AN/910 позволяют понизить метеоминимумы и уменьшить высоту принятия решения вплоть до 100 футов (30,5 м) [2, 3].

При разработке систем технического зрения с расширенными возможностями визуализации возник вопрос, как предупредить вероятность ошибки системы EVFS и ошибочного наведения ВС на целевую точку. Очевидно, что такая ошибка, например при посадке по Cat II в сложных метеоусловиях, когда световые ориентиры ВПП могут быть различимы только на высоте менее 60 м, может иметь катастрофические последствия.

С учетом необходимости представлять пилоту информацию о подстилающей поверхности в максимально удобной для восприятия и быстрого реагирования форме при разработке систем технического зрения с расширенными возможностями визуализации наибольший интерес представляют:

- 1) задача контроля работы алгоритма наведения ВС в целевую точку;
- 2) задача комплексной обработки данных о подстилающей поверхности, полученных от ИК-камеры, тепловизора, других источников видеоизображения, и ЦМР, хранящейся на борту ВС.

Метод контроля системы наведения ВС в целевую точку

Для решения первой задачи предлагается рассчитывать целевую точку полета ВС по экранным координатам вектора скорости, т. е. проекцию

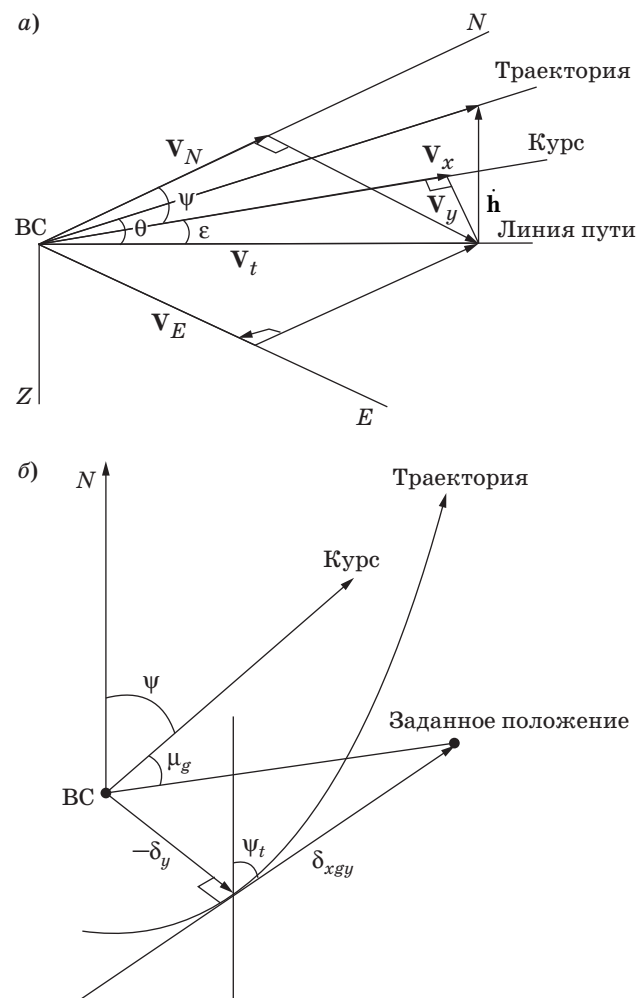
вектора скорости на подстилающую поверхность (ПП) с использованием ЦМР [4]. Последняя для этих целей может быть выполнена в виде базы данных (БД), хранящейся на борту. Рассчитав на конечном прямолинейном этапе захода на посадку географические координаты проекции вектора скорости и сравнив их с заданными координатами целевой точки, можно сделать вывод об исправности системы наведения ВС.

Упрощенный алгоритм расчета экранных координат символов директорной информации представлен на рис. 2, а.

В соответствии с рисунком экранные координаты символа вектора скорости должны рассчитываться по формулам

$$X_f = \varepsilon \cos \gamma - (\theta - \nu) \sin \gamma; \quad Y_f = \varepsilon \sin \gamma + (\theta - \nu) \cos \gamma,$$

где ε , γ , ν — угол сноса, крена, тангажа ВС соответственно; θ — угол наклона траектории полета ВС:



■ Рис. 2. Иллюстрация к алгоритму расчета вектора скорости (а) и заданного вектора скорости (б)

$$\theta = \frac{180}{\pi} \arctg \left(\frac{\dot{h}}{V_t} \right),$$

где \dot{h} — вертикальная скорость ВС; V_t — путевая скорость ВС.

В соответствии с рис. 2, б экранные координаты заданного вектора скорости должны рассчитываться по формулам

$$X_g = \mu_g \cos \gamma - (\eta_g - v) \sin \gamma;$$

$$Y_g = \mu_g \sin \gamma + (\eta_g - v) \cos \gamma,$$

где μ_g — отклонение от заданного положения по курсу; η_g — отклонение от заданного положения по тангажу;

$$\mu_g = \psi_t - \psi - \arctg \left(\frac{\delta_y}{\delta_{xgy}} \right),$$

ψ_t — угол касательной к заданной траектории полета; δ_y — расстояние от ВС до заданной траектории полета в горизонтальной плоскости;

$$\delta_{xgy} = V_t T_{gy},$$

где T_{gy} — заданное время маневра в вертикальной плоскости;

$$\eta_g = \frac{180}{\pi} \arctg \left(\frac{h_g - h}{\delta_{xgh}} \right),$$

$$h_g = (d - \delta_{xgh}) \operatorname{tg} \Gamma,$$

здесь d — расстояние до ВПП; Γ — заданный угол наклона траектории полета;

$$\delta_{xgh} = V_t T_{gh},$$

где T_{gh} — заданное время маневра в горизонтальной плоскости.

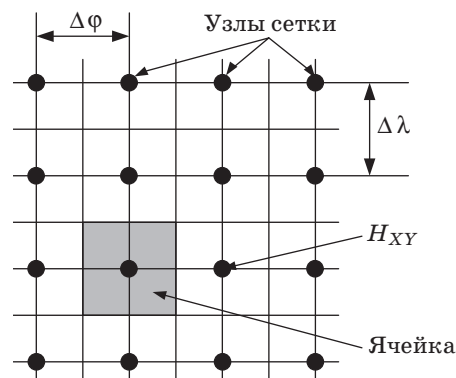
Цифровая модель рельефа представляет собой совокупность значений отметок превышений рельефа, привязанных к узлам регулярной сетки (рис. 3), и является цифровым выражением высотных характеристик рельефа на топографической карте. Цифровую модель рельефа характеризуют следующие параметры:

- зона покрытия; шаг между узлами сетки по широте и долготе ($\Delta\lambda$, $\Delta\varphi$); используемый опорный эллипсоид для определения горизонтальных координат (например, WGS-84);

- точность представления горизонтальных координат (характеризуется количеством используемых десятичных знаков);

- среднеквадратическая ошибка (СКО) и смещение оценки горизонтальных координат; используемая горизонтальная проекция (например, UTM*);

* UTM — универсальная поперечная проекция Меркатора, называемая также проекцией Гаусса — Боага.



■ Рис. 3. Хранение значений высоты в БД ЦМР: H_{xy} — высота в узле сетки

- используемый уровень отсчета высоты (например, средний уровень моря, WGS-84);
- точность представления высоты (характеризуется количеством используемых десятичных знаков);
- СКО и смещение оценки высоты; способ расчета высоты в узле (например, максимальное значение в ячейке, среднее значение в ячейке);
- целостность;
- единицы измерения.

В дальнейшем будем считать, что для контроля работы алгоритма наведения используются ЦМР с параметрами [5], перечисленными в таблице. Существуют различные методы расчета высоты в узле сетки, например максимальное

■ Основные параметры ЦМР

Параметр	Значение
Шаг между узлами сетки по долготе и широте	В зависимости от режима полета и точности навигационных данных: $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 30''$; $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 15''$; $\Delta\lambda = \Delta\varphi = 6''$
Опорный эллипсоид для определения горизонтальных координат	WGS-84
СКО и смещение оценки горизонтальных координат	$\sigma_\lambda = 25, \Delta = 0$
Уровень отсчета высоты	Уровень моря
СКО и смещение оценки максимальной высоты внутри ячейки, м	$\sigma_h = 15, \Delta = 0$
Способ расчета высоты в узле	Максимальное превышение рельефа в пределах ячейки — квадрат со стороной $a = \Delta\lambda = \Delta\varphi$, построенный так, чтобы его узел находился в центре ячейки (см. рис. 3)

или среднее значение превышения рельефа в пределах ячейки [6]. При разработке системы синтетического видения в целях повышения надежности необходимо производить построение изображения рельефа местности в любой точке с заданными координатами, выбирая максимальное превышение в пределах соответствующей ячейки.

Очевидно, что шаг сетки отображаемой поверхности должен быть различным для различных этапов полета ВС. Также возможен переход на использование БД с большим или меньшим шагом сетки при соответственном ухудшении или улучшении точности определения навигационных параметров.

Определение координат целевой точки полета по экранным координатам вектора скорости можно осуществить в соответствии со следующим алгоритмом (рис. 4).

1. Входные данные: X_f — горизонтальная экранная координата вектора скорости; Y_f — вертикальная экранная координата вектора скорости; H_a — высота ячейки ЦМР; H_t , φ_1 , λ_1 — соответственно высота, широта, долгота ВС; R — радиус Земли.

2. Проекция расстояния S_f до целевой точки определяется итерационным способом от 0 до значения, для которого будет верным соотношение

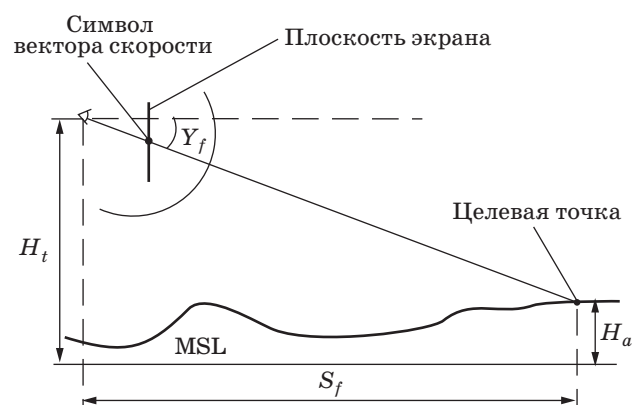
$$H_t - S_f \cdot \text{tg}(Y_f) \geq H_a.$$

3. Определение координат целевой точки полета осуществляется по формулам

$$\lambda_f = \lambda_1 + \arctg \left[\frac{\sin(X_f) \cdot \sin\left(\frac{S_f}{R}\right)}{\cos(\varphi_1) \cdot \cos\left(\frac{S_f}{R}\right) - \sin(\varphi) \cdot \sin\left(\frac{S_f}{R}\right) \cdot \cos(X_f)} \right];$$

$$\varphi_f = \arcsin \times$$

$$\times \left(\sin(\varphi_1) \cdot \cos\left(\frac{S_f}{R}\right) + \cos(\varphi_1) \cdot \sin\left(\frac{S_f}{R}\right) \cdot \cos(X_f) \right).$$



■ Рис. 4. Схема для расчета координат целевой точки: MSL — средний уровень моря (Mean Sea Level)

На следующем этапе полученные координаты целевой точки сравниваются с хранящимися в БД соответствующими значениями. В рассматриваемом случае прямолинейного участка захода на посадку речь идет о координатах порога ВПП. В случае недопустимого отклонения, превышающего порог Thr , расчетных значений от имеющихся в БД принимается решение об отказе алгоритма и снятии директорных символов с индикации. В качестве порога Thr предлагается использовать значение погрешности косвенных измерений, возникающих в процессе расчета координат целевой точки по информации об угловом положении ВС. В работе [4] была приведена оценка этих погрешностей в зависимости от погрешностей измерения входных параметров.

Метод комплексной обработки видеоизображения подстилающей поверхности и ЦМР

Получение максимально достоверной картинки на коллиматорном индикаторе возможно в случае комплексной обработки данных о подстилающей поверхности, полученных от ИК-камеры, тепловизора, других источников видеоизображения, и ЦМР. При этом одновременно выводить видеoinформацию от обоих источников нецелесообразно, поскольку картинка в этом случае будет чрезмерно перегружена.

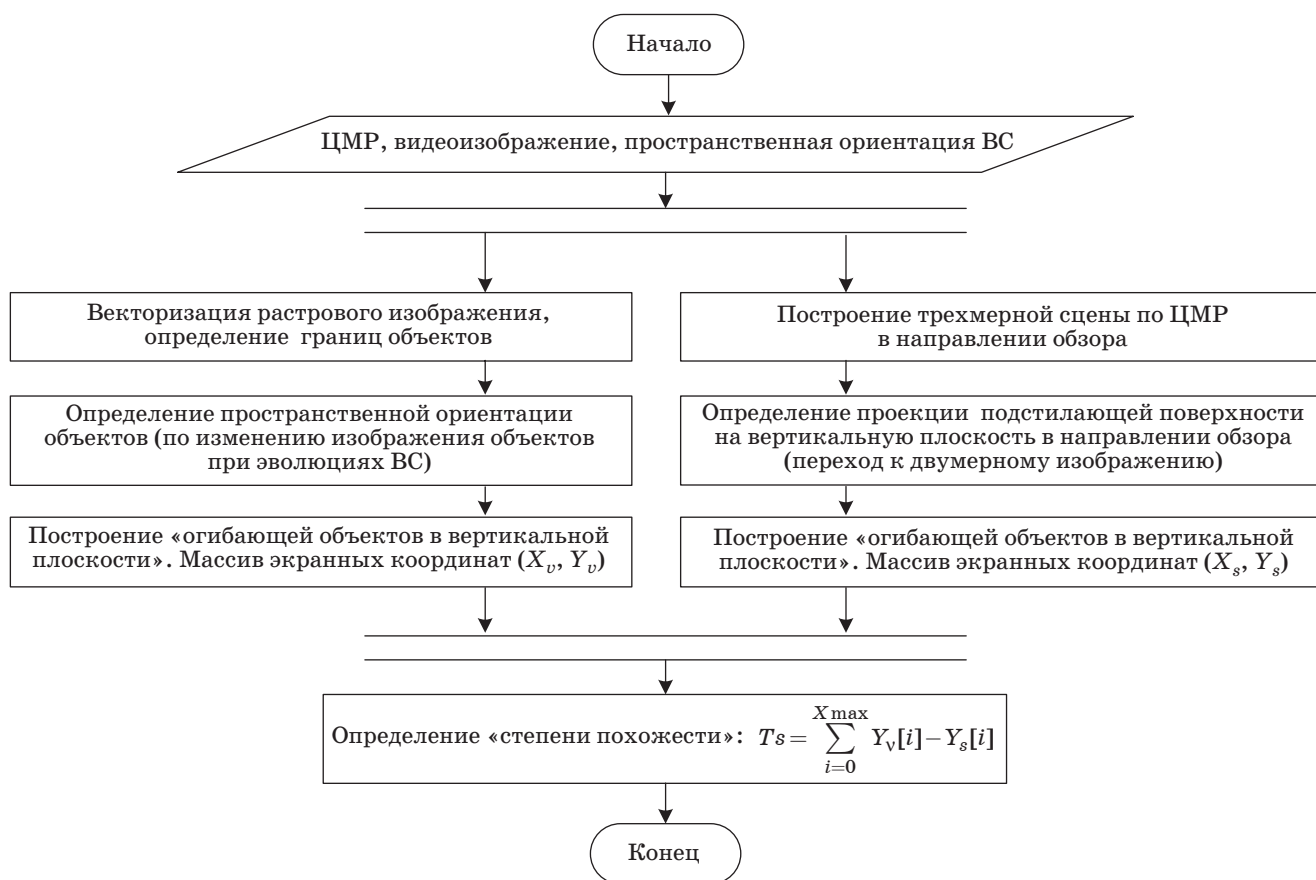
В настоящее время практикуется раздельное представление данных по этим каналам [7, 8]:

— пространственное разделение видеoinформации, когда изображение от ИК-камеры выводится на коллиматорный индикатор, а синтезированное — на основной пилотажный индикатор;

— временное разделение, когда изображение от указанных источников выводится в поле зрения пилота поочередно.

В обоих случаях говорить о комплексной обработке изображения не приходится. Адекватность и соответствие видеoinформации от ИК-камеры и синтезированного изображения оценивается пилотом визуально. Такой подход противоречит целям внедрения систем индикации на лобовом стекле в гражданскую авиацию в части снижения нагрузки на пилота. Решив задачу комплексной обработки данных по двум указанным каналам, это противоречие можно будет устранить.

Для анализа соответствия данных, получаемых от двух источников, необходимо в первую очередь привести изображения к одинаковой размерности, так как ЦМР содержит трехмерный массив данных, а выдаваемое ИК-камерой изображение является двумерным.



■ Рис. 5. Алгоритм анализа изображений

С учетом вышесказанного предлагается алгоритм анализа изображений, показанный на рис. 5.

После определения степени похожести полученных кривых предлагается выполнить ее сравнение с порогом Thr . Когда порог не превышен, $Ts \leq Thr$, на отображение выводится только изображение от ИК-камеры, поскольку оно более информативно и не противоречит данным ЦМР. Превышение порога может быть вызвано наличием в видеоизображении метеообразований или ошибками в БД ЦМР. В этом случае на отображение выводится предупреждение о несоответствии и кривая (X_s, Y_s) . На основании этой информации пилот сможет принять решение об использовании той или иной системы индикации.

Заключение

В статье были рассмотрены задачи контроля работы алгоритма наведения ВС в целевую точку в системах технического видения и повышения достоверности изображения, формируемого на коллиматорном индикаторе, путем комплексной обработки видеоизображения и ЦМР. Предложенные алгоритмы решения поставленных задач позволяют повысить надежность разрабатываемых систем индикации, а также производить мониторинг целостности ЦМР по маршруту полета ВС. В дальнейшем необходимо провести экспериментальное моделирование работы представленных алгоритмов, получить оценку их трудоемкости и необходимых вычислительных ресурсов.

Литература

1. Bailey R. E., Kramer L. J., L. Prinzel III Fusion of Synthetic and Enhanced Vision for All-Weather Commercial Aviation Operations / NASA Langley Research Center. USA. Hampton, VA 23185. [http://ntrs.](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070018792_2007018398.pdf)

nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070018792_2007018398.pdf. (дата обращения: 13.06.2008).
2. Minimum Aviation System Performance Standarts (MASPS) for Enhanced Vision Systems, Synthetic Vi-

- sion Systems, Combined Vision Systems and Enhanced Flight Vision Systems / RTCA / DO-315. — Washington, D.C.: RTCA, Inc., 2008. — 96 p.
3. **Руководство по всепогодным полетам Doc 9365-AN/910.** Изд. второе / ИКАО, 1991. — 81 с.
 4. **Дятлова О. С.** Метод контроля исправности системы технического видения с наведением // Научная сессия ГУАП: Сб. докл.: В 3 ч. Ч. 1. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2010. С. 11–14.
 5. **User Requirements for Terrain and Obstacle Data, Federal Aviation Administration / RTCA / DO-276.** Washington, D.C.: RTCA, Inc., 2002. 94 p. http://www.rtca.org/downloads/DEC%202004%20-%2005-01-06.htm#_Toc92863902, \$195.00. (дата обращения: 10.08.2008).
 6. **Standards for Digital Elevation Models, DEM Level 1 / National Mapping Program, 1998.** 17 p. <http://nationalmap.gov/gio/standards/> (дата обращения: 13.06.2008).
 7. **Theunissen E., Roefs F. D., Koeners G. J. M.** Integration of imaging sensor data into a synthetic vision display. <http://www.synthetic-vision.tudelft.nl/SVatDelftUofT/publications.htm> (дата обращения: 22.05.2010).
 8. **Bailey R. E., Kramer L. J.** Fusion of Synthetic and Enhanced Vision for All-Weather Commercial Aviation Operations. http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070018792_2007018398.pdf (дата обращения: 22.05.2010).

Уважаемые подписчики!

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2006 г. г. в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>) и на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>). Печатную версию архивных выпусков журнала за 2003–2009 г. г. Вы можете заказать в редакции по льготной цене.

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

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

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

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

а также посредством:

«Северо-Западное Агентство «Прессинформ»»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05, эл. почта: press@crp.spb.ru, zajavka@crp.spb.ru, сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

Подписное агентство «МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

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

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

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

«Артос-Гал»

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

«ИНТЕР-ПОЧТА-2003»

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

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

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

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

«Коммерсант-Курьер»

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

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

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«BTL» (Узбекистан)

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

и др.

УДК 004.8

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ С ПРОШЕДШИМ, НАСТОЯЩИМ И БУДУЩИМ ВРЕМЕНЕМ

В. Ю. Осипов,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

Предложен подход к наделению нейронной сети возможностью оперировать прошедшим, настоящим и будущим временем. Показано, что управление внутренним временем сети позволяет также улучшить распознавание сигналов. Разработана архитектура такой сети. Приведены результаты математического моделирования.

Ключевые слова — нейронная сеть, структура, управление временем, сигналы, интеллектуальная обработка.

Введение

Среди актуальных научных проблем современности особое место занимает создание мыслящих машин. Наделение машин искусственным мышлением позволит существенно расширить возможности человека в различных сферах деятельности. Могут быть разработаны автономные роботы, способные принимать и реализовывать целесообразные решения на благо человека в трудно предсказуемых ситуациях при освоении морских глубин, недр Земли, космоса.

Перспективным путем решения этой проблемы считается бионический подход. В основе его лежит моделирование работы человеческого мозга, биологических нейронных сетей.

К сожалению, достигнутые в настоящее время результаты по созданию искусственных нейронных сетей со свойствами естественных сетей по интеллектуальной обработке информации далеки от совершенства [1–3].

Одной из причин такого состояния является недостаточное внимание, уделяемое вопросам управления параметрами этих сетей, в частности их собственным временем. Для известных моделей нейронных сетей не существует деления времени на прошедшее, настоящее и будущее. Они работают только в одном временном масштабе. Это существенно ограничивает их возможности как по распознаванию и вызову из памяти сети динамических сигналов, так и по формированию из них программ «осознанных» действий.

Предлагается перспективная нейронная сеть, обладающая возможностью оперировать прошедшим, настоящим и будущим временем.

Постановка задачи

В известную нейронную сеть с управляемыми синапсами [4, 5] в реальном времени вводят сигналы о происходящих событиях. Это могут быть сменяющие друг друга изображения наблюдаемых объектов, связанные с ними речевые сообщения и другие сигналы. Они запоминаются сетью и хранятся в ее долговременной памяти на синапсах. При поступлении в сеть сигнала он не только запоминается, но и вызывает из памяти связанные с ним пространственными, временными, амплитудными, частотными и фазовыми характеристиками другие сигналы. При этом вызванные из памяти сигналы по времени полностью согласуются с вызывающим сигналом. В результате имеет место воспроизведение наблюдаемых ранее сигналов. Особенность в том, что сигналы воспроизводятся нейронной сетью в то же самое время, когда и должны появиться в реальной действительности. Для реализации искусственного мышления необходимо, чтобы сеть при обработке реальных сигналов могла обращаться к прошлому и будущему времени на различную глубину. Обращение к различному прошлому позволяет лучше понять (распознать) настоящее. Без обращения к будущему невозможно вырабатывать своевременные информационные и управляющие сигналы.

Требуется усовершенствовать известную сеть [4, 5], наделить ее возможностью оперировать прошедшим и будущим временем наряду с настоящим.

Метод управления временем в нейронной сети

Известно [4, 5], что в рекуррентной нейронной сети при передаче совокупностей единичных образов от слоя к слою можно осуществлять их сдвиги вдоль слоев и наделять сеть логической структурой. Такое наделение характеризуется разделением слоев на логические поля и заданием пути продвижения этих совокупностей вдоль слоев. Схемы продвижения их могут быть различными: линейная, спиральная и др.

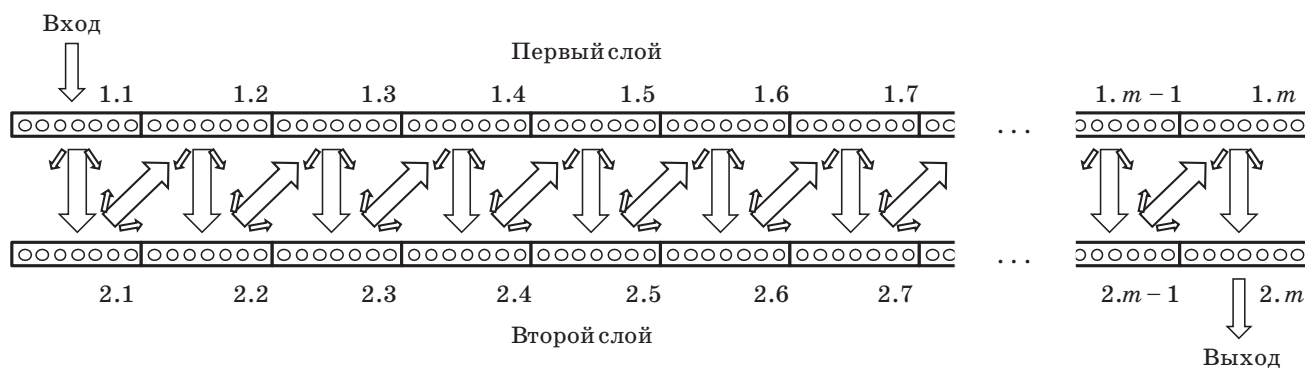
Пространственные сдвиги совокупностей единичных образов позволяют преобразовывать последовательные совокупности в параллельные и обеспечивать широкие ассоциативные связи между единичными образами, разнесенными во времени. При этом за счет приоритетности коротких связей обеспечивается однозначное соответствие между входом и выходом нейронной сети.

Линейная схема продвижения совокупностей единичных образов в двухслойной рекуррентной нейронной сети с управляемыми синапсами показана на рис. 1. За счет пространственных сдвигов совокупностей единичных образов каждый слой сети разбит на m логических полей. Информация в сеть вводится через первое поле, а снимается с последнего поля. Пространственная структура группы совокупностей в плоскостях слоев сети зависит от времени задержки их при передаче от слоя к слою. Чем меньше задержка, тем дальше совокупности отстоят друг от друга.

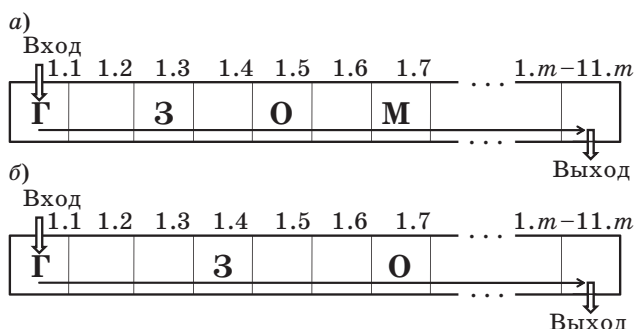
Принимая это во внимание, для наделения нейронной сети возможностью оперировать прошедшим и будущим временем предлагается задерживать совокупности единичных образов при передаче от слоя к слою с учетом текущих состояний последних.

Рассмотрим первый случай, когда в оперативной памяти сети находится динамический сигнал, записанный туда при исходных задержках совокупностей, ассоциативно связанный с другими запомненными в долговременной памяти сигналами. Под оперативной памятью нейронной сети понимается память на самих нейронах, которые могут находиться в состоянии ожидания, возбуждения и невосприимчивости после возбуждения. Долговременная память — это память на синапсах нейронов. При одновременном уменьшении всех задержек совокупностей единичных образов в сети записанный в ее оперативной памяти сигнал сжимается во времени. Кроме этого, увеличивается скорость ассоциативного вызова им из долговременной памяти связанных с ним сигналов, также сжатых во времени. В результате вызванные из памяти сигналы появляются раньше, чем следовало им появиться в соответствии с запомненными ранее событиями, отражающими закономерности реального мира. Эти сигналы в свою очередь могут также вызвать другие сигналы, еще больше опережающие реальное время. В итоге результатом обработки сигналов в нейронной сети будет прогноз будущих событий. Глубина этого прогноза зависит как от величины уменьшения задержек совокупностей единичных образов, так и от числа циклов ассоциативного вызова сигналов друг за другом для спиральных схем.

Второму случаю свойственно одновременное увеличение всех задержек совокупностей единичных образов в сети. Такое увеличение приводит к растяжению во времени обрабатываемого сигнала и замедлению скорости ассоциативного вызова им из памяти сети других сигналов. Результаты обработки сигналов в сети начинают носить характер прошлого. В плоскостях слоев сети плотность текущих совокупностей увеличивается. В ассоциативную параллельную обработку включается больше совокупностей, что позволяет лучше восстанавливать прошедшие события.



■ Рис. 1. Линейная схема продвижения совокупностей единичных образов в двухслойной рекуррентной нейронной сети



■ Рис. 2. Состояния первого слоя нейронной сети при обработке сигнала: а — с исходным масштабом времени; б — растянутого во времени

Для этого случая чем больше задержки и число циклов ассоциативного вызова сигналов друг за другом для спиральных схем, тем глубже обращение к прошлому.

Решение в нейронной сети по изменению задержек совокупностей единичных образов в ту или иную сторону может приниматься, исходя из обеспечения максимума ассоциативного взаимодействия обрабатываемых сигналов с запомненными сигналами. Если вводимый в сеть сигнал по временному масштабу не согласован с сохраненными сигналами, то и пространственная структура его в плоскости слоев сети также не будет совпадать с запомненными структурами. Примеры состояний первого слоя нейронной сети при обработке одного и того же по содержанию сигнала, но с разным масштабом времени, показаны на рис. 2, а, б. Стрелкой указано направление продвижения совокупностей единичных образов вдоль слоя. Видно, что пространственные структуры сигналов с различными временными масштабами не совпадают. Каждому из этих сигналов характерна своя схема ассоциативных связей единичных образов.

Такое несовпадение, в зависимости от его уровня, приводит к затруднению или отсутствию ассоциативного вызова сигналов из памяти сети. Наилучшее ассоциативное взаимодействие наблюдается, когда рассматриваемые структуры идентичны. Обеспечить совпадение структур можно путем изменения задержек совокупностей единичных образов при передаче от слоя к слою с учетом текущих состояний последних.

Количественно уровень ассоциативного взаимодействия сигналов в сети можно оценивать, например, путем анализа текущих состояний ее слоев и определения числа ассоциативно вызываемых из памяти недостающих и подавленных ошибочных единичных образов.

В итоге, за счет управления такими задержками можно существенно расширить функциональ-

ные возможности нейронной сети по интеллектуальной обработке информации.

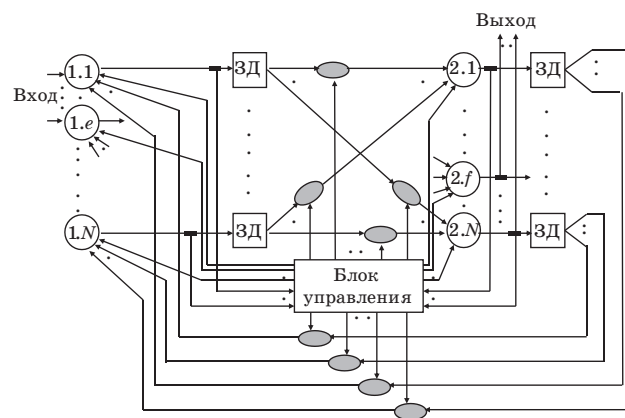
Архитектура перспективной нейронной сети

Нейронная сеть, наделенная такими возможностями, может иметь структуру (рис. 3), где 1.1 — 1.N, 2.1 — 2.N — нейроны, соответственно, первого и второго слоя; ЗД — задержка.

Отличие предлагаемой нейронной сети от известной [4] в том, что в ней в интересах управления внутренним временем предусмотрено изменение параметров слоев. В качестве таких параметров выступают длительности формируемых нейронами слоев единичных образов и время невосприимчивости нейронов после возбуждения. Сигналы с блока управления поступают не на сигнальные, а на управляющие входы нейронов. В этой сети, как и в предложенной в работе [4], время задержки совокупностей единичных образов в контурах всегда должно быть меньше времени невосприимчивости нейронов. Другая особенность сети в том, что время задержки единичных образов в ЗД зависит от длительности поступающих на них образов.

За счет управления сдвигами совокупностей единичных образов вдоль слоев (через изменение функций ослабления синапсов) эту двухслойную сеть можно легко превратить в многоуровневую сеть со своими подсистемами управления временем.

На вход сети (на первое поле первого слоя) могут подаваться как одиночные, так и групповые сигналы. Например, это могут быть изображения наблюдаемых объектов и звуковое сопровождение, сигналы устной речи на одном языке и их перевод на другой язык. В интересах этого достаточно все логические поля подразделить на подполя и закрепить за ними различные виды сигналов, если размеры полей это позволяют. Все они



■ Рис. 3. Структура нейронной сети с управляемыми слоями и синапсами (○)

в этой сети могут успешно ассоциироваться, запоминаться и вызывать друг друга из памяти в соответствии с воспринятыми ранее закономерностями. Следует заметить, что наделение нейронной сети возможностью управлять внутренним временем позволяет также менять порядок следования запомненных сигналов, а не только его повторять с различной скоростью. Это открывает широкие возможности по формированию в сети различных конструкций, характерных человеческой речи, движениям, чувствам, мышлению.

Результаты обработки сигналов в сети могут сниматься как со второго, так и с первого слоя. После снятия с сети они могут быть успешно преобразованы в соответствующие им исходные сигналы [6].

Проводилось математическое моделирование предложенной нейронной сети. Была разработана ее программная модель с числом нейронов в слоях по 900 единиц. Каждый слой за счет пространственных сдвигов совокупностей единичных образов разбивался на 25 одинаковых логических полей размером 6×6 нейронов. Результаты математического моделирования полностью подтвердили возможности нейронной сети успешно обрабатывать различные сигналы и опериро-

вать прошедшим, настоящим и будущим временем. Несомненно, для практической интеллектуальной обработки сигналов в реальном времени нужны сети с числом нейронов в слоях, исчисляемых миллионами и миллиардами.

Заключение

Разработана рекуррентная нейронная сеть с управлением внутренним временем. Она способна самостоятельно переходить от настоящего времени к анализу прошедших и прогнозированию будущих событий.

В качестве критерия настройки сети на наилучший временной масштаб предложено использовать максимум ассоциативного взаимодействия обрабатываемых и запомненных сигналов.

Для наделения сети новыми возможностями рекомендуется задерживать совокупности единичных образов при передаче их от слоя к слою с учетом текущих состояний последних.

Предложенные новые научно-технические решения могут быть использованы при разработке перспективных нейромикропроцессоров и создании мыслящих машин и систем.

Литература

1. **Галушкин А. И.** Теория нейронных сетей. Кн. 1: учеб. пособие для вузов / Общ. ред. А. И. Галушкина. — М.: ИПРЖР, 2000. — 416 с.
2. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации / Пер. с англ. И. Д. Рудницкого. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.
3. **Хайкин С.** Нейронные сети: полный курс. 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2006. — 1103 с.
4. **Осипов В. Ю.** Ассоциативная интеллектуальная машина // Информационные технологии и вычислительные системы. 2010. № 2. С. 59–67.
5. **Осипов В. Ю.** Рекуррентная нейронная сеть с управляемыми синапсами // Информационные технологии. 2010. № 7. С. 43–47.
6. **Осипов В. Ю.** Прямое и обратное преобразование сигналов в ассоциативных интеллектуальных машинах // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 7. С. 27–32.

УДК 621.311.001.57:681.51

КОМПЬЮТЕРНЫЕ И ПОЛУНАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Б. В. Кавалеров,

канд. техн. наук, доцент

В. П. Казанцев,

доктор техн. наук, профессор

И. А. Шмидт,

канд. техн. наук, доцент

Пермский государственный технический университет

Описывается методика компьютерных и полунатурных испытаний на основе моделирования электроэнергетической системы. Перечислены и кратко описаны основные алгоритмические модули, обеспечивающие комплексные испытания и настройку средств управления газотурбинных агрегатов электростанций малой мощности.

Ключевые слова — моделирование, испытания, электроэнергетическая система, газотурбинная установка.

Введение

В настоящее время значительную долю в продукции отечественных предприятий авиационного двигателестроения составляют конвертированные авиационные газотурбинные установки (ГТУ), предназначенные для привода электрогенераторов. Основной мощностной ряд таких ГТУ составляет от 2 до 25 МВт. При этом существенно, что примерно 70–75 % узлов и деталей базового двигателя удается сохранить [1]. Электростанции, формируемые на основе таких силовых модулей, могут содержать до шести и даже больше энергоблоков, работающих в параллель. Преимущества таких газотурбинных электростанций (ГТЭС) хорошо известны: это экономичность, низкая стоимость, быстрые сроки окупаемости, малая удельная масса и габариты, высокие мобильность и приемистость, короткие сроки строительства, детально отработанная технология производства, широкий диапазон климатических условий эксплуатации, практически полная автоматизация управления работой двигателя, высокий КПД использования топлива, особенно при когенерации (одновременном производстве электроэнергии и тепла), возможность работы на разнообразном топливе (керосине, дизельном топливе, природном и попутном газе), малые объемы вредных выбросов в окружающую среду.

Естественно, что новые условия работы ГТУ вызвали необходимость конвертировать и их средства управления — электронные регуляторы. Первые регуляторы энергетических ГТУ в 90-е гг. XX в. строились на базе авиационных электронных регуляторов двигателя (РЭД), позднее появились специализированные блоки управления двигателем (БУД), сегодня — это более сложные многоканальные системы контроля и управления. Для новых условий эксплуатации потребовалось разработать новые алгоритмы управления, обеспечивающие высокую надежность работы мини-электростанций и требуемые показатели качества вырабатываемой электроэнергии. Несмотря на очевидные успехи к настоящему времени резерв совершенствования систем автоматического управления (САУ) еще не исчерпан. Более того, по-прежнему сохраняются определенные проблемы с качеством вырабатываемой электроэнергии, связанные с поддержанием частоты и напряжения при резких колебаниях нагрузки, при взаимодействии САУ ГТУ и САУ синхронного генератора, при обеспечении различных режимов параллельной и автономной работы. Для решения этих проблем необходимо совершенствовать средства управления. Статья рассматривает один из подходов на пути к этой цели. В основе статьи — опыт сотрудничества ПГТУ с предприятиями аэрокосмической отрасли.

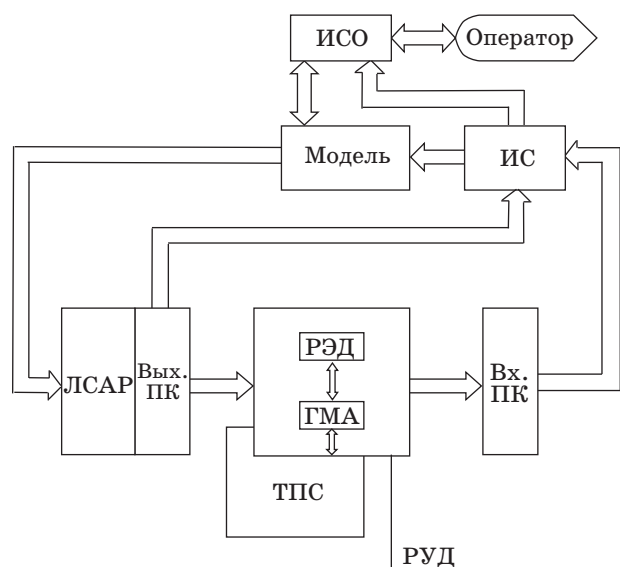
Компьютерные и полунатурные испытания

В наш век всеобщей компьютеризации имеются хорошие возможности использовать математические методы, позволяющие корректно решать самые сложные задачи управления, получать оптимальные решения. Известно, что переход от допустимого к оптимальному может привести к существенному снижению затрат, и это важно для завоевания конкурентных преимуществ.

До начала 90-х гг. нашими учеными и инженерами проводилась большая работа по математическому моделированию и алгоритмизации задач управления режимами. Были составлены и внедрены компьютерные программы, накоплен опыт их использования в области управления и ГТУ, и режимами электроэнергетических систем [2–4]. Сейчас многие разработки не востребованы. За истекшее время изменились условия, изменилась вычислительная техника, снизился общий интерес к научно-исследовательским проблемам. Но сегодня ситуация пусть медленно, но меняется, и в связи с этим становится актуальной задача модернизации старых компьютерных программ, а также разработки новых программ на современной инструментальной базе.

В авиационной отрасли известны и применяются так называемые полунатурные испытания средств управления, при этом выполняется сопряжение модели ГТУ с натурной аппаратурой регулирования [3]. Экономичность этого способа очевидна — не нужно жечь керосин, а возможности автоматизации и уровень функциональности испытаний существенно возрастают.

Рассмотрим такой полунатурный стенд (рис. 1) [4].



■ Рис. 1. Структура полунатурного стенда

На рисунке обозначено: РЭД — регулятор электронного двигателя, ГМА — гидромеханическая аппаратура, ИС — измерительная система, ТПС — технологические подсистемы стенда, Вых. ПК и Вх. ПК — выходные и входные преобразователи координат, РУД — рукоятка управления двигателем, ЛСАР — локальные системы автоматического регулирования (преобразователями), ИСО — интерфейс стендового оператора. Здесь мы не будем рассматривать особенности всех перечисленных компонентов стенда, они достаточно подробно освещены в специальной литературе. Остановимся на компьютерной модели ГТУ, включенной в контур испытаний агрегата управления.

Поскольку САУ ГТУ является сложным многосвязным объектом, полноценное ее исследование возможно только при связанном воспроизведении всех выходных координат модели ГТУ, используемых в контурах регулирования. Такая модель, построенная путем объединения моделей отдельных узлов, называется агрегированной. Для испытания САУ в работе [4] была построена быстрорешаемая компьютерная модель на основе упрощенной идентификационной нелинейной модели ГТУ. Для сокращения времени счета использовался метод Эйлера с контролем допустимой погрешности на каждом шаге расчета. Идея быстрорешаемой модели состоит в объединении линейной динамической модели и нелинейных статических характеристик ГТУ. Данный класс моделей позволяет обеспечить точность в границах 2–5 % [4]. Модель учитывает аккумуляцию энергии во вращающихся массах роторов двухвальной ГТУ, динамика которых описывается двумя уравнениями:

— уравнением ротора турбокомпрессора

$$dn_{\text{тк}} / dt = (n_{\text{с.тк}} - n_{\text{тк}}) / T_{\text{тк}}; \quad (1)$$

— уравнением ротора свободной турбины

$$dn_{\text{с.т}} / dt = (N_{\text{с.т}} - N_{\text{н}}) / (3,14/30)^2 J_{\Sigma} n_{\text{с.т}}, \quad (2)$$

где $n_{\text{тк}}$ — частота вращения ротора турбокомпрессора, об/мин; $n_{\text{с.тк}}$ — частота вращения ротора турбокомпрессора, взятая по нелинейной статической характеристике, об/мин; $T_{\text{тк}}$ — постоянная времени ротора турбокомпрессора, с; $n_{\text{с.т}}$ — частота вращения ротора свободной турбины, об/мин; $N_{\text{с.т}}$ — располагаемая мощность свободной турбины, Вт; $N_{\text{н}}$ — потребляемая мощность нагрузки, Вт; J_{Σ} — суммарный приведенный к валу момент инерции свободной турбины, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$. Уравнения динамики роторов (1) и (2) дополняются уравнением дозатора топлива и, как правило, уравнениями для расчета температур и давлений в характерных сечениях ГТУ. Семейство статических ха-

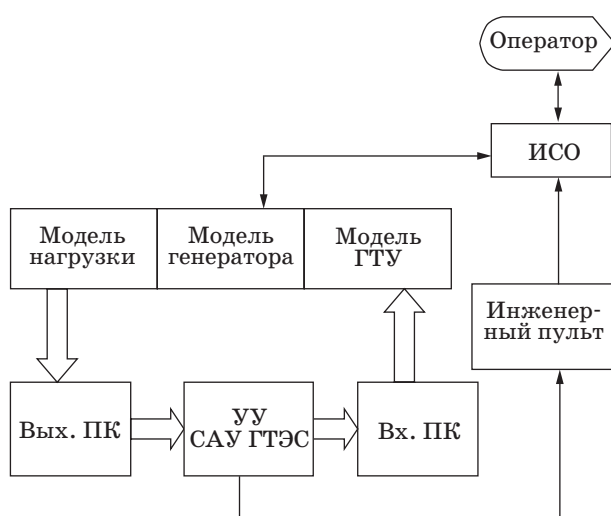
рактических используется для расчета нелинейных зависимостей между n_{TK} , $N_{с.т}$, G_T (расходом топлива), температурами и давлениями, а также для вычисления параметра T_{TK} как функции n_{TK} .

При испытаниях САУ наземных ГТЭС преимущества полунатурной схемы еще более очевидны. Объект управления, включающий помимо ГТУ также синхронные генераторы и другие взаимодействующие элементы электроэнергетической системы, становится значительно сложнее. Кроме того, хорошо известно, что в электроэнергетике невозможно воспроизвести в натуральных условиях всю совокупность подкритических режимов, наиболее интересных для испытания САУ. Моделирование является основным способом исследования таких режимов.

В связи с этим для совершенствования САУ наземных ГТУ предлагается дополнить компьютерную модель ГТУ компьютерной моделью электроэнергетической системы (ЭЭС), учитывающей все разнообразие основных режимов работы ГТЭС: автономно, на мощную сеть, параллельно, при различном сочетании электрических нагрузок.

Таким образом, структура стенда, изображенная на рис. 1, приобретает вид, показанный на рис. 2. В новой структуре отсутствует ГМА, место РЭД занимает устройство управления УУ САУ ГТЭС, задание режима производится не РУД, а при помощи инженерного пульта. Оператор дает задание на УУ САУ ГТЭС и задает моделируемый режим нагрузки генератора.

Показанные на рисунке математическая модель генератора и математическая модель электрической нагрузки в совокупности составляют модель ЭЭС. Разработанная математическая модель ЭЭС представляет собой автономный мо-



■ Рис. 2. Структура полунатурного стенда для испытания и настройки САУ ГТЭС

дель, который может использоваться не только в составе полунатурного стенда (см. рис. 2), но и отдельно как чисто компьютерная система испытания алгоритмов управления САУ для задач, решаемых в классе НИОКР. Такие испытания в отличие от полунатурных являются компьютерными испытаниями средств управления.

Для организации компьютерных и полунатурных испытаний на математической модели ЭЭС требуется строгое согласование этапов подготовки и выполнения испытаний, включающих этапы моделирования, идентификации, настройки, оптимизации и др. В связи с этим целесообразно рассмотреть общую методику подготовки испытаний и настройки САУ энергетических наземных ГТУ на основе компьютерных и полунатурных испытаний с использованием компьютерной модели ЭЭС. При этом основное внимание сосредоточим на модели собственно ЭЭС, учитывая, что модель ГТУ разработана и верифицирована ранее, а проблемы их взаимного сопряжения успешно решены [5].

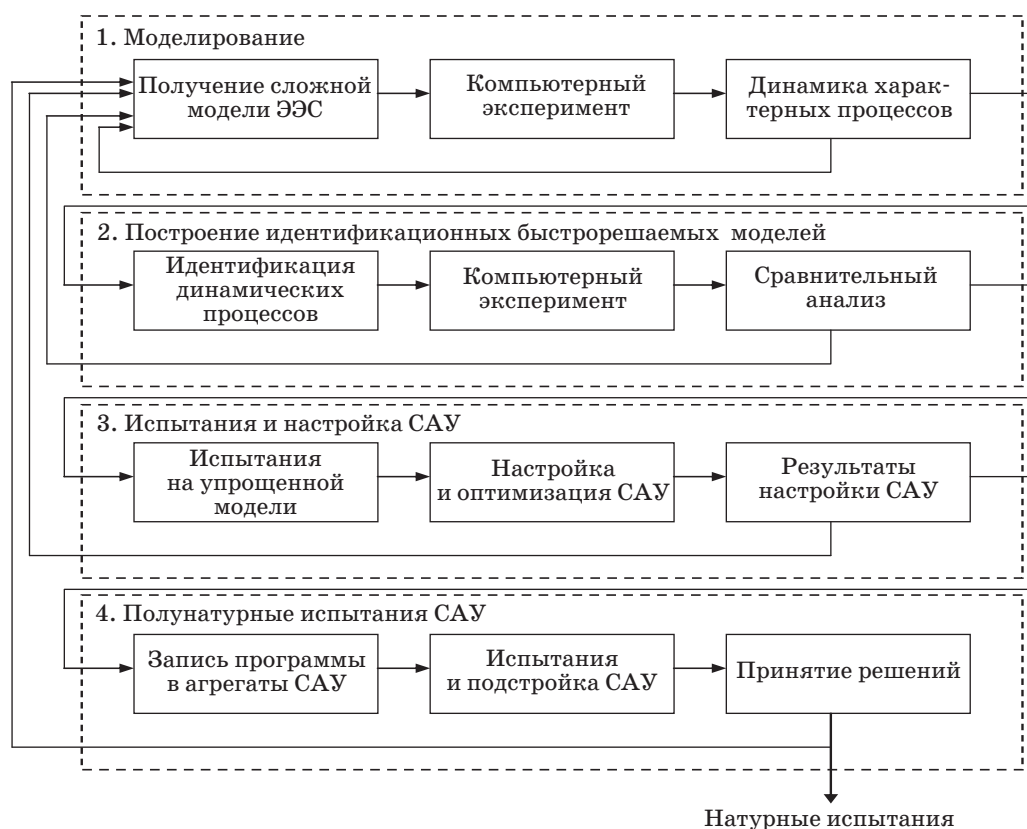
Методика испытаний и настройки САУ ГТУ

Общая схема задачи испытаний САУ ГТЭС в соответствии с разработанной методикой представлена на рис. 3. Кратко рассмотрим особенности основных методических модулей.

Разработанная методика включает 4 основных этапа.

1. Моделирование.

Необходимость моделировать ЭЭС сложной структуры возникает в связи с тем, что воспроизвести всю гамму характерных и критических режимов ЭЭС в реальных натуральных условиях крайне затруднительно, а по существу и невозможно. Тем не менее, аппаратура управления САУ и ее алгоритмы должны пройти проверку в наиболее характерных, а также в наиболее опасных режимах работы. При этом следует использовать физические принципы построения модели, т. е. строить модель, основываясь на физике рассматриваемых процессов; формальные принципы, основанные на обработке экспериментальных данных, здесь не годятся по причине все той же сложности получения экспериментальных данных. Методика построения сложной модели — далеко не тривиальная задача, она подробно рассмотрена нами в работе [5]. Здесь лишь отметим, что из двух наиболее распространенных на практике способов моделирования взаимодействия элементов для динамических режимов сложных ЭЭС [6] выбран способ с явным интегрированием дифференциальных уравнений структурных элементов, как обеспечивающий необходимую гибкость и удобство настраиваемости. Модель содер-



■ Рис. 3. Схема компьютерных и полунатурных испытаний и настройки САУ

жит десять основных типов структурных элементов (синхронные генераторы, асинхронные двигатели, статические нагрузки и т. п.), каждый из которых представлен системой дифференциальных уравнений до восьмого порядка включительно. Как состав элементов, так и сложность моделей элементов может свободно варьироваться.

Модели всех структурных элементов ЭЭС записываются в единой обобщенной векторно-матричной форме

$$pI = \pm AU - VI - H, \quad (3)$$

где p — символ дифференцирования; I и U — соответственно векторы токов и напряжений; A и V — векторы параметров; H — вектор внешних воздействий на элемент со стороны, например, средств регулирования. Размерность матриц определяется порядком соответствующих дифференциальных уравнений. Знак « \pm » соответствует случаю, когда элемент является источником тока, а знак « $+$ » — приемником. В общем случае исходные уравнения элемента нелинейные, при этом представление (1) есть линеаризованное уравнение для малого промежутка времени, соответствующего шагу интегрирования системы дифференциальных уравнений. Тогда урав-

нение взаимодействия элементов рассчитывается по методу узловых потенциалов по векторно-матричному уравнению

$$MGM^T U = -MW - pMI, \quad (4)$$

где M — матрица инцидентности; G — матрица проводимостей элементов; W — матрица, составленная из правых частей уравнений (3) и содержащая эквивалентные источники ЭДС и источники тока, действующие на i -м шаге расчета динамики; pM — матрица, полученная дифференцированием матрицы M . Ее необходимость обусловлена тем, что все элементы моделируются во вращающейся системе координат, связанной с роторами синхронных генераторов.

Представленная сложная нелинейная модель ЭЭС разработана с использованием общепринятых систем уравнений, полученных на основании известных балансовых соотношений, обусловленных физическими законами. Ее адекватность подтверждена воспроизводимостью результатов для характерных режимов, которые у разных моделей отличаются только за счет различной погрешности расчетов. Прогностическая адекватность модели также подтверждена по результатам серии экспериментов на реальных ГТЭС.

На основании уравнений (3) и (4) может быть произведен компьютерный эксперимент для получения динамических характеристик произвольного режима работы ЭЭС. Для увеличения устойчивости алгоритма использованы специально разработанные методы. Рассмотренный алгоритм моделирования позволяет учесть все основные особенности динамики сложной нелинейной ЭЭС, поскольку допускает использовать математические модели элементов 1-го класса точности [7] и при необходимости усложнять эти модели, не изменяя структуру уравнений (3) и (4). Но, к сожалению, такие расчеты требуют больших затрат машинного времени даже для современной компьютерной техники. Из-за воспроизведения сверхпереходных составляющих статорных токов шаг численного интегрирования выбирается, как правило, не более 10 мкс. В результате, например, характерный переходный процесс реальной продолжительностью 1 с для системы из 6 параллельных энергоагрегатов и распределенной комплексной электрической нагрузки рассчитывается с помощью одноточечного метода Рунге — Кутты четвертого порядка за время 14,6 мин на базе Pentium IV, 3 GHz персонального компьютера [5]. По этой причине рассмотренную математическую модель в отдельных случаях затруднительно использовать для испытания алгоритмов и, тем более, для параметрической настройки регуляторов в ходе компьютерных и полунатурных испытаний. Настройка, в том числе автоматическая, требует многократного воспроизведения переходного процесса. Для поиска коэффициентов регуляторов могут применяться различные численные поисковые методы (симплекс-метод, покоординатный спуск, случайный поиск и др.), каждый из них требует затрат времени на эксперименты, а также последующую оценку их результатов на соответствие критериям качества. Разработанная методология позволяет решить данную проблему методами идентификации динамических систем с тем, чтобы получить быстрорешаемые модели объектов с нормированной погрешностью. Такие модели проще всего получить за счет идентификации по результатам моделирования на сложной модели ЭЭС, последняя при этом используется как поверочная модель для итоговой проверки алгоритмов перед натурными испытаниями.

2. Построение быстрорешаемых идентификационных моделей.

Разработанная методика включает три основных этапа построения быстрорешаемых идентификационных моделей:

— выбор характерных переходных процессов (динамических характеристик) на основе сложной модели ЭЭС для заданного узла комплексной нагрузки;

— идентификацию матрицы коэффициентов быстрорешаемой модели по результатам полученной динамической характеристики;

— воспроизведение на быстрорешаемой модели заданных динамических характеристик.

Для получения матрицы параметров идентификационной модели используется метод наименьших квадратов:

$$\mathbf{A} = \mathbf{Y}_{\Sigma} \mathbf{X}_{\Sigma}^T (\mathbf{X}_{\Sigma} \mathbf{X}_{\Sigma}^T)^{-1}, \quad (5)$$

где \mathbf{Y}_{Σ} — вектор выходных переменных; \mathbf{X}_{Σ} — вектор входных переменных; \mathbf{A} — матрица коэффициентов размерностью $n \times n$, которую следует идентифицировать. Символ Σ означает, что в общем случае число измерений векторов входа и выхода может быть больше n . Уравнение (5) можно переписать в виде

$$\mathbf{A} = \mathbf{Y}_{\Sigma} \mathbf{X}_{\Sigma}^+, \quad (6)$$

где \mathbf{X}_{Σ}^+ — псевдообратная матрица такая, что $\mathbf{X}_{\Sigma} \mathbf{X}_{\Sigma}^+ \mathbf{X}_{\Sigma} = \mathbf{X}_{\Sigma}$. Известно, что она является наилучшей аппроксимацией (по методу наименьших квадратов) соответствующей системы линейных уравнений [8].

Матрица \mathbf{A} может быть реализована в двух основных вариантах. В первом случае она связывает мгновенные значения входных и выходных сигналов и, следовательно, отображает квазистатический режим:

$$\mathbf{I}(k) = \mathbf{A}(k) \mathbf{U}(k). \quad (7)$$

Во втором случае эта матрица является матрицей перехода системы в терминологии метода пространства состояний в границах линеаризованной области:

$$\mathbf{V}(k+1) = \mathbf{A}^*(k) \mathbf{V}(k), \quad (8)$$

где $\mathbf{V} = (\mathbf{U}, \mathbf{I})$ — расширенный вектор состояния; \mathbf{U}, \mathbf{I} — векторы напряжений и токов; \mathbf{A}^* — матрица перехода.

В общем случае полученные идентификационные модели не представимы в виде какой-либо электрической цепи, поскольку идентификация выполняется по внешней динамической характеристике. Поэтому разработаны алгоритмы получения матрицы \mathbf{A} в форме реальных параметров активно-индуктивной цепи на основе метода наименьших квадратов с ограничениями, что в перспективе открывает возможность воспроизводить режимы на натуральных стендах.

При существенной нелинейности или нестационарности матрицы \mathbf{A} необходимо учитывать эти нелинейность и нестационарность при прове-

дении идентификации. Для этого следует использовать априорную информацию о природе нелинейности и нестационарности, которую, в свою очередь, можно получить по сложной нелинейной модели ЭЭС.

В качестве примера на рис. 4, а, б показан расчет переходного процесса для упрощенной ЭЭС, включающей синхронный генератор ТК-4-2 мощностью 4 МВт, статическую нагрузку и соизмеримый по мощности асинхронный двигатель (АД). Моделируется процесс пуска мощного АД с малым моментом инерции. Поскольку на параметры \mathbf{A} влияет скольжение, которое в процессе пуска АД меняется от 1 до 0, при использовании модели (8) требуется не менее двух матриц \mathbf{A}^* . Тонкими линиями показаны активная и реактивная компоненты пусковых токов исходной сложной модели, жирными линиями — те же токи для идентификационной модели; сверху — составляющая тока I_q , внизу — I_d .

Все быстрорешаемые модели строятся с учетом мер адекватности, в качестве которых обычно выступают средняя квадратичная ошибка или коэффициент несовпадения Тейла. В задачах анализа электрических процессов допустимая погрешность модели определяется погрешностью измерительных приборов, при этом модель, как

правило, должна иметь погрешность не более 2 %. Максимально допустимое значение критерия Тейла, исходя из поставленной задачи, должно быть не более 0,1. Для контроля адекватности вводится система ограничений на точность быстрорешаемой модели

$$\varepsilon_i \leq \varepsilon_i^*, i = 1, \dots, n, \quad (9)$$

где ε_i — i -я мера адекватности; ε_i^* — контрольный показатель по i -й мере адекватности; n — число мер адекватности. Но ограничений (9) недостаточно при переходе от первичной сложной нелинейной модели вида

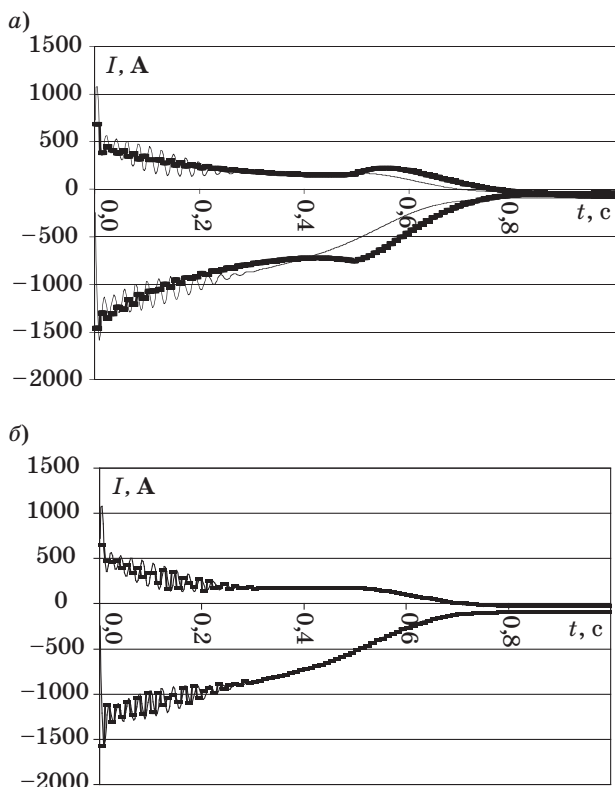
$$dx / dt = f(t, x, u) \quad (10)$$

к упрощенной быстрорешаемой линейной стационарной модели

$$dx / dt = \mathbf{A}x(t) + \mathbf{B}u(t), \quad (11)$$

где $\mathbf{x} \in \{X\}$; $\mathbf{u} \in \{U\}$; $X, t \in \{T\}$, $\{X\}$, $\{U\}$ — соответственно множество состояний и множество управлений, $\{T\}$ — множество упорядоченных моментов времени. Поскольку модель (11) сохраняет адекватность (из условия допустимого ε) в ограниченной области отклонений переменных, система ограничений (9) дополняется системой ограничений на область допустимых по условиям адекватности отклонений переменных модели при испытании и настройке средств управления. В случае если для выбранной модели заданные ограничения не выполняются, следует выбрать более сложную идентификационную модель.

Проиллюстрируем использование мер адекватности для рассмотренного примера (см. рис. 4). Для быстрорешаемой модели с двумя матрицами \mathbf{A}^* (см. рис. 4, а) при шаге наблюдения 0,01 с одна из мер адекватности (средняя квадратичная ошибка по току) $\varepsilon_I \approx 2,556 \%$, что превышает допустимое ограничение на точность модели в 2 %, поэтому такую модель следует отвергнуть. При использовании в модели пяти матриц \mathbf{A}^* получаем $\varepsilon_I \approx 1,203 \%$, в этом случае пределы управляющего воздействия (изменения напряжения возбуждения) составляют +39 и -79 %. При использовании в модели 10 матриц \mathbf{A}^* (см. рис. 4, б) $\varepsilon_I \approx 0,382 \%$, допустимые пределы управляющего воздействия увеличиваются и составляют +61 и -119 %. Для того чтобы увеличить диапазон адекватности, следует использовать более сложную идентификационную модель. Например, если в вектор состояния модели (8) дополнительно включить скольжение асинхронного двигателя $\mathbf{V} = (U, I, S)$, где S — скольжение двигателя ($S = (\omega - \omega_{AD})/\omega$, ω — угловая скорость магнитно-



■ Рис. 4. Результаты моделирования в соответствии с (8) при использовании двух (а) и десяти (б) матриц \mathbf{A}^*

го поля, $\omega_{\text{АД}}$ — угловая скорость асинхронного двигателя), становится возможным получить адекватную быстрорешаемую модель только с одной матрицей \mathbf{A}^* (тогда размерность матрицы \mathbf{A}^* увеличивается на единицу). В этом случае погрешность достаточно велика: $\varepsilon_I \approx 1,290 \%$, но допустимый диапазон изменения напряжения расширяется до +153 и -137 %. Пример поясняет процедуру структурной идентификации, применяемую в разработанной методике.

3. Испытания и настройка САУ.

Быстрорешаемые идентификационные модели открывают возможность использовать автоматическую настройку и оптимизацию параметров управляющих устройств САУ энергетических ГТУ в ходе компьютерных и полунатурных испытаний. В самом деле, задача выбора оптимальных настроек регуляторов является задачей многокритериальной оптимизации с нелинейными ограничениями. Решать такую задачу целесообразно методами нелинейного программирования, основная идея которых заключается в многошаговом движении в направлении экстремума.

Сформулируем задачу нелинейного программирования.

Целевая функция

$$J = J(\mathbf{R}, \mathbf{x}) \quad (12)$$

зависит от n -мерного вектора переменных состояния системы и минимизируется путем варьирования вектора параметров \mathbf{R} системы (лежащего в области Z)

$$\min_{\mathbf{R} \in Z} J(\mathbf{R}, \mathbf{x}) \quad (13)$$

при векторе ограничений

$$\Phi(\mathbf{x}, \mathbf{R}) \in \Psi, \quad (14)$$

причем в эти ограничения входят дифференциальные уравнения динамической системы (динамические ограничения) в форме уравнений (3) и (4), и ограничения $\mathbf{R} \in Z$. Параметры системы \mathbf{R} относятся к регуляторам системы.

Сложность решения задачи нелинейного программирования в основном определяется видом ограничений. Кроме того, решение задачи оптимизации для систем высокого порядка вида (3) и (4) приводит к весьма большим затратам машинного времени. Для каждого сочетания варьируемых параметров r_k (т. е. для каждого частного значения вектора \mathbf{R}) необходимо численно интегрировать систему дифференциальных уравнений, входящих в ограничения (14). В случае сложной модели затраты времени недопустимо велики. В связи с этим известны подходы, основанные на технике алгебраизации исходных дифференциальных уравнений или перехода от дифференциальных уравнений к невязкам метода

ортогональных проекций (обобщенного метода Галеркина) [9] и др. С другой стороны, полученные на предыдущем этапе идентификационные модели также открывают возможность проведения оптимизации параметров если не в темпе реального процесса, то, во всяком случае, за значительно более приемлемый промежуток времени.

Еще одна сложность настройки САУ возникает из-за многокритериальности задачи параметрической оптимизации САУ. Например, в настоящее время очень важен критерий экологичности, но он вступает в очевидное противоречие с другими критериями. Ясно, что самый экологичный двигатель — это неработающий двигатель. Но даже рассматривая исключительно критерии качества динамических процессов отработки возмущающих воздействий, мы приходим к множественности критериев.

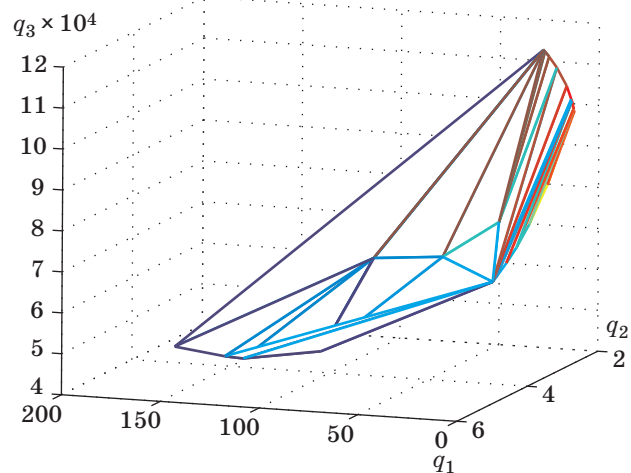
Очевидно, что эффективность САУ может быть повышена за счет совместного учета всех полезных критериев из этого множества. Но выбор весовых коэффициентов многокритериальной задачи при линейной свертке неоднозначен.

В связи с этим для сокращения области допустимых настроек САУ предложено использовать компромиссы Парето [10].

Множество парето-оптимальных решений формируется многократным решением экстремальной задачи (12), являющейся сверткой нормированных показателей качества из множества критериев Q_j :

$$Q_{\Sigma}(R_i) = \min(q_1(R_i), \dots, q_n(R_i)) = \min(\lambda_1 Nq_1(R_i) + \lambda_2 Nq_2(R_i) + \dots + \lambda_n Nq_n(R_i)), \quad (15)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — положительные числа ($\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1$); q_j — критерии; Nq_j — нормированные значения показателей качества.



■ Рис. 5. Область парето-оптимальных решений

Многokrатное решение экстремальной задачи обеспечивается варьированием в зависимости (15) значений коэффициентов $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ в интервале 0...1 при условии $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1$.

В качестве примера на рис. 5 представлена область парето-оптимальных решений для выбора регулятора частоты вращения свободной турбины энергетической ГТУ в пространстве показателей качества: q_1 — первый максимум отклонения частоты, q_2 — быстродействие, q_3 — среднеквадратическая ошибка.

4. Полунатурные испытания.

Производится программирование аппаратуры управления САУ. Используются ранее полученные настройки для дополнительной подстройки параметров регуляторов в ходе испытаний. При необходимости предусмотрен переход на предыдущие этапы. По завершении полунатурных испытаний выполняются испытания на испытательных площадках, где установлены реальные ГТЭС, нагружаемые полем нагрузочных электри-

ческих сопротивлений ступенями по 250 кВт, подключенных через согласующий трансформатор.

Заключение

В статье представлены основные алгоритмические модули для компьютерной поддержки последовательности взаимосвязанных задач испытаний и настройки средств управления ГТУ. При этом на каждом из этапов используются разработанные математические модели ЭЭС. Рассмотренная методика реализована как система компьютерной поддержки (*computer-aided system*) автоматизированных испытаний.

Статья выполнена при поддержке субсидии по постановлению Правительства РФ от 09.04.2010 г. № 218 (проект «Создание высокотехнологичного производства для оказания услуг по испытаниям газотурбинных установок мощностью до 40 МВт на многоцелевом адаптивном экологичном стенде»).

Литература

1. Гриценко Е. А. и др. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения / СНЦ РАН. — Самара, 2004. — 266 с.
2. Филиппова Т. А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем / НГТУ. — Новосибирск, 2005. — 300 с.
3. Теория автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов. Управление ВРД / Под ред. А. А. Шевякова. — М.: Машиностроение, 1976. — 344 с.
4. Шмидт И. А. Автоматизация испытаний САУ ГТД на основе цифровых быстро решаемых моделей: дис. ... канд. техн. наук. — Уфа, 1991. — 103 с.
5. Шмидт И. А. и др. Сопряжение программных сред в задачах моделирования и тестирования систем управления энергетическими газотурбинными установками // Информационно-управляющие системы. 2009. № 5 (42). С. 25–31.
6. Kundur P. Power system stability and control. — N. Y.: McGraw-Hill, 1994. — 1176 p.
7. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. — М.: Высш. шк., 1985. — 536 с.
8. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. — М.: Физматлит, 2004. — 560 с.
9. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления / Под ред. А. А. Воронова, И. А. Огурка. — М.: Наука. Гл. ред. Физматлит, 1984. — 344 с.
10. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. — М.: Наука, 1981. — 488 с.

УДК 517.977

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СТРУКТУР ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ

А. Н. Кириллов,

доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник

Институт прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН

Предлагается структурный подход к исследованию динамики гибридных систем. Вводятся понятия структурных движений и орбит, соответствующих различному объему информации о начальном состоянии системы. Рассмотрены геометрические методы описания динамики структур.

Ключевые слова — гибридная система, структурное движение, структурная орбита, динамическая система.

Введение

Гибридные системы сочетают непрерывную и дискретную динамику. В последнее время моделирование и управление гибридными системами представляет собой активно развивающееся направление в теории управления. Повышение интереса к ним вызвано расширением области применения этого класса систем. Сюда можно отнести задачи управления коммуникационными сетями, информационными системами, транспортными и производственными потоками. На 16-м (2005 г.) Конгрессе Международной федерации по автоматическому управлению (ИФАК) среди важнейших проблем, стоящих перед научным сообществом, была отмечена необходимость развития теории гибридных систем. Различным вопросам моделирования и управления в этой области посвящены исследования отечественных и зарубежных ученых [1–9].

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в исследовании конкретных задач и моделей, нет единого подхода к их исследованию, общая теория гибридных систем еще находится в стадии становления. В настоящей статье развивается структурный подход к моделированию и анализу сложных систем с переменными связями и составом. Их можно отнести к классу гибридных систем. Понятие структуры было введено и использовалось для моделирования линейных систем с переменным составом в работах [10–12]. В данной статье продолжается исследование структурной динамики систем. Предлагаются различные типы структурных движений и орбит. Развиваемый аппарат позволит моделиро-

вать структурные изменения в различных прикладных задачах, возникающих при исследовании сложных динамических систем. Особенно это касается систем, в состав которых может входить большое количество подсистем со сложными взаимосвязями. В этом случае традиционные подходы к исследованию динамических моделей оказываются малоприменимыми в силу большой переменной размерности и нелинейности систем. Предлагаемые понятия внешней и внутренней структуры позволяют в этом случае дать хотя бы грубое описание динамики, а также прогнозировать и управлять поведением сложных систем.

Структурная полудинамическая система

Рассмотрим сложную динамическую систему S . Пусть в процессе ее функционирования некоторые подсистемы, входящие в S , могут отключаться или вновь подключаться к ней. При этом подсистемы S_i , входящие в S , взаимодействуют между собой. Рассмотрим понятие структуры $\gamma(t) = (\gamma_1, \dots, \gamma_n) \in R^n$ системы S [10]. В состав S могут входить подсистемы из упорядоченного набора $\{S_1, \dots, S_n\}$. Полагаем, что $\gamma_i(t) = 1$, если подсистема S_i в момент времени t входит в S , $\gamma_i(t) = 0$, если подсистема S_i в момент времени t не входит в S .

Определение [10]. Вектор $\gamma(t) = (\gamma_1(t), \dots, \gamma_n(t)) \in R^n$ называется **структурой** системы S в момент времени t .

Пусть Γ — множество всевозможных структур системы S : $\gamma \in \Gamma$. Можно считать, что Γ — подмножество вершин единичного n -мерного куба I^n : $\Gamma \subset I^n$.

На множестве структур Γ введем динамику, используя метрику Хэмминга

$$\rho(\gamma^{(1)}, \gamma^{(2)}) = \sum_{i=1}^n |\gamma_i^{(1)} - \gamma_i^{(2)}|,$$

$$\gamma^{(j)} = (\gamma_1^{(j)}, \dots, \gamma_n^{(j)}), \quad j=1,2.$$

Определение. Общей структурной полудинамической системой называется двухпараметрическое семейство преобразований $G(t, t_0)$ множества структур Γ в себя, удовлетворяющее условиям:

- 1) для любых $\gamma \in \Gamma, t_0 \in \mathbb{R}$ определено множество $G(t, t_0)(\gamma) \equiv G(t, t_0, \gamma) \subset \Gamma$ при $t \geq t_0, G(t, t_0, \gamma) \neq \emptyset, G(t_0, t_0, \gamma) = \gamma$;
- 2) для любого $\eta \in G(t_1, t_0, \gamma)$ определено множество $G(t_1, t_0, \eta)$ такое, что $\cup_{\eta} G(t_1, t_0, \eta) = G(t_1, t_0, \gamma)$, где объединение берется по всем $\eta \in G(t_1, t_0, \gamma)$ при $t \geq t_1$;
- 3) $\lim_{t \rightarrow t_0 + 0} \rho(G(t, t_0, \gamma), \gamma) = 0$, где $\rho(G(t, t_0, \gamma), \gamma) = \max \rho(\eta, \gamma)$ по всем $\eta \in G(t, t_0, \gamma)$.

Таким образом, $G(t, t_0, \gamma)$ — множество структур, которые S может иметь в момент времени $t \geq t_0$, если в момент времени t_0 система имела структуру γ .

Ниже будет построена реализация общей структурной полудинамической системы. Пусть $S(\gamma)$ — система S , имеющая структуру $\gamma, M(\gamma)$ — фазовое пространство динамической системы $S(\gamma)$. Предлагается следующая динамическая модель изменения структуры во времени. Пусть $\Omega(\gamma)$ — подмножество соответствующего фазового пространства: $\Omega(\gamma) \subset M(\gamma); \Omega^f(\gamma)$ — граница $\Omega(\gamma)$, т. е. $\Omega^f(\gamma) = \Omega^c(\gamma) \setminus \Omega(\gamma), \Omega^c(\gamma)$ — замыкание $\Omega(\gamma)$.

Определение. Множество $\Omega(\gamma)$ будем называть фазовым подпространством динамической системы $S(\gamma)$.

Произведем разбиение фазового подпространства $\Omega(\gamma): \Omega(\gamma) = \cup_p \Omega_p(\gamma)$, где $\Omega_p(\gamma) \cap \Omega_q(\gamma) = \emptyset, p, q \in P(\gamma)$ — множество индексов, соответствующих структуре γ .

Определение. Разбиением $\tau(\gamma)$ фазового подпространства $\Omega(\gamma)$ называется множество $\tau(\gamma) = \{\Omega_p(\gamma): \Omega(\gamma) = \cup_p \Omega_p(\gamma), \Omega_p(\gamma) \cap \Omega_q(\gamma) = \emptyset, p, q \in P(\gamma)\}$.

Определение. Системой S со структурными изменениями (ССИ) называется следующее множество $\{\Gamma, \Omega, F, \tau, \Phi, \Phi^f, \Theta\}$, где:

Γ — структурное пространство системы S , т. е. множество структур γ , которые может иметь система в процессе функционирования: $\gamma \in \Gamma$;

$\Omega = \{\Omega(\gamma): \gamma \in \Gamma\}$ — множество фазовых подпространств;

$F = \{S(\gamma): \gamma \in \Gamma\}$ — множество динамических систем $S(\gamma)$, заданных в фазовых пространствах $\Omega(\gamma)$;

$\tau = \{\tau(\gamma): \gamma \in \Gamma\}$ — множество разбиений фазовых пространств $\Omega(\gamma)$;

$\Phi = \{\varphi_{\gamma\gamma^*}^*: P(\gamma) \rightarrow Q(\gamma^*), q(\gamma^*) = \varphi_{\gamma\gamma^*}^*(p(\gamma)), p(\gamma) \in P(\gamma), q(\gamma^*) \in Q(\gamma^*)\}$ — множество отображений перехода

от системы $S(\gamma)$ к $S(\gamma^*), P(\gamma), Q(\gamma^*)$ — множества индексов, соответствующих структурам γ, γ^* ;

$\Phi^f = \{\varphi_{\gamma\gamma^*}^*: \Omega^f(\gamma) \rightarrow \Omega^f(\gamma^*) \setminus \Omega^f(\gamma^*)\}$ — множество отображений границ $\Omega^f(\gamma)$ фазовых подпространств $\Omega(\gamma)$ во внутренности фазовых подпространств $\Omega(\gamma^*)$;

$\Theta = \{\theta(\gamma, \gamma^*)\}$ — множество функций временных задержек при переходе от структуры γ к γ^* .

Опишем, как происходит функционирование ССИ. Предположим, что в начальный момент времени t_0 система имеет структуру γ .

Пусть $X_0(\gamma)$ — вектор начального состояния системы $S(\gamma), X_0(\gamma) \in \Omega_p(\gamma)$, а $X(t, t_0, X_0(\gamma))$ — движение динамической системы $S(\gamma)$, причем $X(t_0, t_0, X_0(\gamma)) = X_0(\gamma)$.

Если найдется первый момент времени $t_{pq} \geq t_0$ такой, что состояние $X_{pq} = X(t_{pq}, t_0, X_0(\gamma)) \in \Omega^f(\gamma)$, то отображение перехода $\varphi_{\gamma\gamma^*}^*$ переводит состояние X_{pq} в точку $\varphi_{\gamma\gamma^*}^*(X_{pq}) \in \Omega_q(\gamma^*) \setminus \Omega^f(\gamma^*)$, где $q = q(\gamma^*) = \varphi_{\gamma\gamma^*}^*(p(\gamma))$. Далее, спустя время $\theta(p(\gamma), q(\gamma^*)) = \theta(X(t_{pq}, t_0, X_0(\gamma)), X(t_{pq}, t_0, X_0(\gamma)))$ начинается движение $X(t, t_{pq} + \theta(X(t_{pq}, t_0, X_0(\gamma)), X(t_{pq}, t_0, X_0(\gamma))))$ динамической системы $S(\gamma^*)$ в подпространстве $\Omega(\gamma^*)$ и процесс повторяется. Таким образом, происходит переход от структуры γ к γ^* .

Если движение динамической системы $S(\gamma)$ не попадает на границу $\Omega^f(\gamma)$, то переключение структуры не происходит.

Определенная выше ССИ обладает как непрерывной, так и дискретной динамикой, поэтому ее можно отнести к классу гибридных систем. Предложенное понятие наиболее близко к определению гибридной системы, приведенному в работе [8].

Структурные движения и орбиты

Качественное исследование в общем случае функционирования ССИ представляется неразрешимой задачей в силу сложности поведения динамических систем $S(\gamma)$, их состыковки с помощью переходных отображений и т. д. Из определения ССИ следует, что процесс функционирования системы S порождает конечную или бесконечную последовательность структур $\{\gamma^k\}$, каждый член которой характеризует состав системы. В связи с этим более перспективным представляется изучение последовательностей структур, выделение классов систем с одинаковым в некоторых смыслах поведением этих последовательностей. Исследование динамики структур может сыграть важную роль при математическом моделировании сложных динамических информационных, эколого-экономических, производственных, энергетических систем.

Начальная структура, как следует из определения, не устанавливает однозначно последователь-

ность структур $\{\gamma^k\}$. Действительно, структура γ^{k+1} зависит не только от γ^k , но и от $\Omega_p(\gamma^k)$ — элемента разбиения $\tau(\gamma^k)$, которому принадлежит начальное для динамической системы $S(\gamma^k)$ состояние $X_0(\gamma^k)$. В связи с этим предлагается рассмотреть следующие последовательности структур, различающиеся способом задания начальной структуры. В начальный момент времени можно задать один из трех элементов включения $X_0(\gamma^0) \in \Omega_p(\gamma^0) \subset \Omega(\gamma^0)$.

1. Пусть задано $\Omega(\gamma^0)$ или γ^0 , а само начальное состояние $X_0(\gamma^0)$ и элемент $\Omega_p(\gamma^0)$ разбиения неизвестны. Тогда процессу функционирования будет соответствовать последовательность множеств структур $\{\Gamma^k(\gamma^0)\}$ такая, что $\Gamma^0(\gamma^0) = \gamma^0$, т. е. $\Gamma^k(\gamma^0)$ — множество всех структур, которые может иметь система S на тот момент времени, когда произошло k переключений структур, если задана ее начальная структура γ^0 . Пусть $\Gamma(t, t_0, \gamma^0)$ — множество всех структур, которые может иметь система S в момент времени $t \geq t_0$, если в начальный момент времени $t = t_0$ задана лишь ее начальная структура γ^0 .

Определение. Последовательность структур $\{\Gamma^k(\gamma^0)\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, для которой $\Gamma^0(\gamma^0) = \gamma^0$, будем называть **структурной орбитой**.

Множество $\Gamma(t, t_0, \gamma^0)$, где $\Gamma(t_0, t_0, \gamma^0) = \gamma^0$, будем называть **структурным движением**.

2. Пусть задано множество $\Omega_p(\gamma^0)$ или индекс $p(\gamma^0) \in P(\gamma^0)$. При этом начальное состояние $X_0(\gamma^0) \in \Omega_p(\gamma^0)$ неизвестно. Тогда, как следует из определения ССИ, процессу функционирования системы будет соответствовать однозначно определенная последовательность структур $\{\gamma^k(p(\gamma^0))\}$. Пусть $\gamma(t, t_0, p(\gamma^0))$ — множество структур, которые может иметь система S в момент времени $t \geq t_0$, причем $\gamma(t_0, t_0, p(\gamma^0)) = \gamma^0$. В этом случае $\gamma(t, t_0, p(\gamma^0))$ — не единственная структура, поскольку от значения $X_0(\gamma^0) \in \Omega_p(\gamma^0)$ зависит момент переключения, временная задержка и начальное состояние следующей структуры. Следовательно, несмотря на то, что последовательность структур определена однозначно, в некоторый момент времени $\gamma(t, t_0, p(\gamma^0))$ может иметь различные значения: $\gamma(t, t_0, p(\gamma^0)) \in \{\gamma^k(p(\gamma^0))\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$.

Определение. Последовательность структур $\{\gamma^k(p(\gamma^0))\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, для которой $\gamma^0(p(\gamma^0)) = \gamma^0$, будем называть **p -структурной орбитой**.

Структура $\gamma(t, t_0, p(\gamma^0))$ называется **p -структурным движением**.

3. Пусть задано начальное состояние $X_0(\gamma^0) \in \Omega_p(\gamma^0)$ в начальный момент времени t_0 . Тогда процессу функционирования системы будет соответствовать однозначно определенная последовательность структур $\{\gamma^k(X_0(\gamma^0))\}$. Пусть $\gamma(t^0, t_0, X_0(\gamma^0))$ — структура, которую имеет система в момент времени $t \geq t_0$, причем $\gamma(t^0, t_0, X_0(\gamma^0)) = \gamma^0$.

Определение. Последовательность структур $\{\gamma^k(X_0(\gamma^0))\}$, $k = 0, 1, 2, \dots$, для которой $\gamma^0(X_0(\gamma^0)) = \gamma^0$, будем называть **X -структурной орбитой**.

Структура $\gamma(t, t_0, X_0(\gamma^0))$ называется **X -структурным движением**.

Остановимся на различиях между введенными понятиями. Очевидно, p - и X -структурные орбиты совпадают, если у них совпадают индексы $p(\gamma^0)$ начальных элементов разбиений. Далее отметим, что $\gamma(t, t_0, X_0(\gamma^0)) \in \gamma(t, t_0, p(\gamma^0))$. При этом, очевидно, $\gamma(t, t_0, X_0(\gamma^0))$ — однозначно определенная структура. Начальное состояние $X_0(\gamma^0)$ однозначно определяет не только последовательность структур, но и промежуток Δt_k существования каждой из них.

Построенная ССИ задает динамику структур и дает возможность развития общей теории путем переноса с соответствующими изменениями понятий теории динамических систем. Для примера рассмотрим понятие инвариантного множества. Множество структур $\Gamma^* \subset \Gamma$ можно назвать **инвариантным** по отношению к структурному движению $\Gamma(t, t_0, \gamma^0)$, если из включения $\gamma^0 \in \Gamma^*$ следует, что $\Gamma(t, t_0, \gamma^0) \subset \Gamma^*$ при всех $t \geq t_0$. Аналогично можно ввести понятия инвариантных множеств по отношению к X - и p -структурным движениям и орбитам. Таким образом, определенная выше ССИ позволяет реализовать структурную полудинамическую систему $G(t, t_0)$ и развить для нее соответствующую качественную теорию.

Геометрия структур

Структуру γ можно назвать внешней, поскольку она характеризует состав системы S . Введем понятие внутренней структуры для описания взаимосвязей подсистем, входящих в состав S . Положим $b_{ij} = 1 (b_{ij} = 0)$, если подсистема S_i воздействует (не воздействует) на подсистему S_j в то время, когда они обе находятся в составе S . Введем матрицу внутренней структуры $\mathbf{B} = \{\gamma_i \gamma_j b_{ij}\}$, $i, j = 1, \dots, n$. Процесс функционирования системы S порождает последовательность $\{\mathbf{B}^k\} = \{\gamma_i^k \gamma_j^k b_{ij}^k\}$, где $(\gamma_1^k, \dots, \gamma_n^k) = \gamma^k$. Далее, сопоставим каждой структуре два комплекса. Пусть в состав первого (R) входят симплексы, вершинам которых соответствуют подсистемы, воздействующие на какую-то одну подсистему. В составе второго (R^*) — симплексы, вершины которых соответствуют подсистемам, на которые воздействует какая-либо одна подсистема. Эти комплексы можно назвать двойственными. Номера вершин считаем совпадающими с номерами подсистем. Тогда любой симплекс первого комплекса имеет номера вершин, равные номерам ненулевых элементов соответствующих столбцов матрицы \mathbf{B} . Для второго ком-

плекса аналогичную роль играют номера ненулевых элементов строк. Зададим на каждом из введенных комплексов неотрицательные функции H и H^* , принимающие на отдельных симплексах положительные значения. Смысл этих функций — плата за установление связей между подсистемами. Процессу функционирования соответствует последовательность двойственных комплексов, симплексы которых задаются матрицами \mathbf{V}^k . Пусть $H_i^k(p(\gamma^0))$ (или $H_i^{k*}(p(\gamma^0))$) — значение функции H (или H^*) на симплексе i , соответствующем структуре $\gamma^k(p(\gamma^0))$. Пусть $H^k(p(\gamma^0)) = \sum_i H_i^k(p(\gamma^0))$, где сумма берется по всем симплексам, входящим в комплекс R ($\gamma^k(p(\gamma^0))$), соответствующий $\gamma^k(p(\gamma^0))$. Аналогично определяем функцию $H^{k*}(p(\gamma^0)) = \sum_i H_i^{k*}(p(\gamma^0))$. Можно высказать гипотезу, что естественные системы со структурными изменениями (экологические, биологические) функционируют так, чтобы функции $H^k(p(\gamma^0))$, $H^{k*}(p(\gamma^0))$ принимали по возможности меньшие значения. Для искусственных систем можно ставить задачу оптимального управления в смысле введенных плат за установление связей между подсистемами.

Можно рассмотреть случай, когда \mathbf{V} зависит не только от конфигурации, но и от времени или от очередности вхождения подсистем S_i в систему S .

Рассмотрим последовательность структур $\{\gamma^k(p(\gamma^0))\}$, т. е. p -структурную орбиту. Это наиболее информативная об изменении структуры последовательность при наименьшей возможной информации о начальных данных. Действительно, последовательность $\{\gamma^k(X_0(\gamma^0))\}$, т. е. X -структурная траектория, также однозначно определяет последовательность структур, но при этом она требует знания начального состояния $X_0(\gamma^0)$.

На основе определенной ССИ можно ввести оператор $G: \Gamma \rightarrow \Gamma$ такой, что $G(\gamma^k(p(\gamma^0))) = \gamma^{k+1}(p(\gamma^0))$. Оператор G однозначно определяет последовательность структур, если задан начальный индекс $p(\gamma^0)$. Каждому индексу $p(\gamma)$ поставим в соответствие вершину $Ap(\gamma)$ графа. Пусть из вершины $Ap(\gamma)$ ведет дуга в вершину $Aq(\gamma^*)$, если $q(\gamma^*) = \varphi_{\gamma^*}^*(p(\gamma))$. При этом $\gamma = \gamma^k(p(\gamma^0))$, $\gamma^* = \gamma^{k+1}(p(\gamma^0))$ при $k \in \{1, \dots, n\}$. Таким образом, каждой p -структурной орбите $\{\gamma^k(p(\gamma^0))\}$ системы S можно однозначно сопоставить ориентированный граф, отражающий ее структурную динамику. Итак, системе S сопоставлен ориентированный граф. Такое представление ССИ позволяет применять теорию графов к исследованию структурных орбит, сводя их исследование к исследованию геометрических свойств графов. В частности, можно использовать изоморфизм графов для реализации подхода к определению эквивалентности ССИ. Возникают следующие задачи: выделить класс операторов, для ко-

торых можно провести классификацию соответствующих им графов; по данному оператору построить ССИ, принадлежащую определенному классу (задача синтеза). Отметим, что в работе [13] с помощью графов представлялись разностные операторы для определения сложности конечной двоичной последовательности.

Приведем некоторые примеры процессов, при моделировании которых возникает ССИ и динамика структуры.

Пример 1. В работах [9, 14] рассмотрена динамическая сеть, представляющая информационную систему с переменными взаимосвязями и составом. В состав сети входят узлы трех типов: источники информации, трансляторы, потребители. В дискретные моменты времени t_i , $i = 0, \dots, k$ происходит изменение состава и параметров сети. Задается динамическая система, определяющая изменение состояния узлов и моменты t_i . При этом $\gamma_i = 1$, если i -й узел функционирует, $\gamma_i = 0$ в противном случае. Таким образом, имеем пример ССИ, задающей динамику структуры γ .

Пример 2. Рассмотрим процесс биологической очистки сточных вод активным илом. Переменными величинами, задающими состояние системы, являются плотности различных субстратов-загрязнителей и видов микроорганизмов, окисляющих соответствующие типы субстратов. Динамика задается системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. При этом количество уравнений изменяется в процессе функционирования системы, поскольку количество видов, которые успевают закрепиться в аэротенке, зависит от скорости подачи ила в аэротенк. Скорость рециркуляции ила u — управляющий параметр — подстраивается под нагрузку на входе в систему биоочистки. Можно положить $\gamma_i = 1$, если i -й вид присутствует в системе, что соответствует определенному значению u , $\gamma_i = 0$ в противном случае. В работе [15] представлена математическая модель стабилизации этого процесса с использованием ССИ.

Предлагаемый аппарат можно использовать при моделировании динамики больших групп роботов (динамика стаи), крупных производственных комплексов, транспортных сетей и т. д.

Заключение

Предложен структурный подход к математическому моделированию гибридных систем. Развивается понятийный аппарат, который может быть применен при построении конкретных моделей сложных динамических информационных, производственных, транспортных, энергетических систем с изменяющейся структурой.

Литература

1. **Branicky M. C.** Topology of hybrid systems // Proc. 32nd IEEE CDC. San Antonio, 1993. P. 2309–2314.
2. **Куржанский А. Б., Точилин П. А.** Слабо инвариантные множества гибридных систем // Дифференциальные уравнения. 2008. Т. 44. № 11. С. 1523–1533.
3. **Matveev A., Savkin A.** Qualitative theory of hybrid dynamical systems. — Boston: Birkhauser, 2000. — 348 p.
4. **Travertini L.** Differential Automata and Their Discrete Simulators // Nonlinear Analysis, Theory, Methods and Applications. 1987. Vol. 11. N 6. P. 665–683.
5. **Branicky M. S., Borkar V. S., Mitter S. K.** A Unified Framework for Hybrid Control: Model and Optimal Control Theory // IEEE Transactions on Automatic Control. 1998. Vol. 43. N 4. P. 475–482.
6. **Nerode A., Kohn W.** Models for Hybrid Systems: Automata, Topologies, Controllability, Observability // Lecture Notes in Control and Information Sciences. Springer, 1993. N 736. P. 317–356.
7. **Collins P.** Chaotic Dynamics in Hybrid Systems // Nonlinear Dynamics and Systems Theory. 2008. Vol. 8. N 2. P. 169–194.
8. **Brockett R. W.** Hybrid models for motion control systems // Essays in control. H. L. Trentelman, J. C. Willems, eds. Boston: Birkhauser, 1993. P. 29–53.
9. **Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных динамических объектов. — М.: Наука, 2006. — 410 с.
10. **Кириллов А. Н.** Управление многостадийными технологическими процессами // Вестник СПбГУ. Сер. 10. 2006. Вып. 4. С. 127–131.
11. **Кириллов А. Н.** Динамические системы с переменной структурой и размерностью // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. Т. 52. № 3. С. 23–28.
12. **Кириллов А. Н.** Метод динамической декомпозиции в моделировании систем со структурными изменениями // Информационно-управляющие системы. 2009. № 1. С. 20–24.
13. **Арнольд В. И.** Экспериментальное наблюдение математических фактов / МЦНМО. — М., 2006. — 120 с.
14. **Москвин Б. В., Михайлов Е. П., Павлов А. Н., Соколов Б. В.** Комбинированные модели управления структурной динамикой информационных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. Т. 49. № 11. С. 7–12.
15. **Кириллов А. Н.** Моделирование динамики аэротенка // Устойчивость и процессы управления: Тез. докл. Всерос. конф. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. С. 71–72.

УДК 621.313.32

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ВТСП-ПРОВОДАХ И ИЗДЕЛИЯХ

Е. Н. Андреев,

ведущий инженер

Д. А. Волков,

ассистент

А. Р. Орлов,

заведующий лабораторией

С. С. Тимофеев,

старший преподаватель

М. А. Турубанов,

аспирант

Л. И. Чубраева,

член-корр. РАН

В. Ф. Шишлаков,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрены вопросы, связанные с поведением высокотемпературных сверхпроводников ленточного типа при питании постоянным и переменным током. Выполнено физическое моделирование различных типов электрических соединений высокотемпературной сверхпроводниковой ленты и определены наиболее перспективные варианты для изготовления высокотемпературных сверхпроводниковых устройств. Проведена серия физических экспериментов из соленоидальных высокотемпературных сверхпроводниковых катушек. Получены принципиально новые данные, которые могут быть использованы при изготовлении высокотемпературных сверхпроводниковых электрических машин, трансформаторов, ограничителей тока, накопителей энергии.

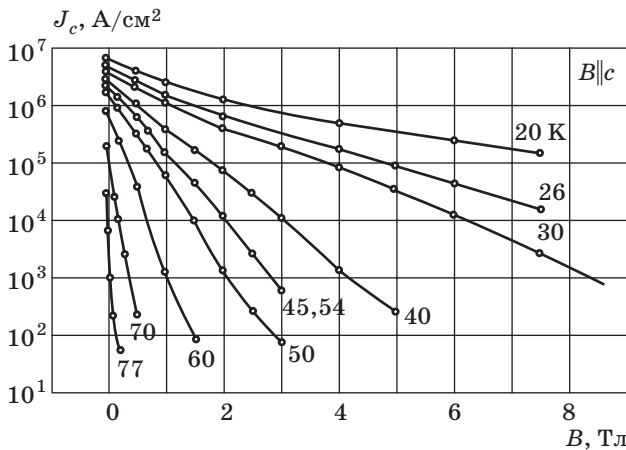
Ключевые слова — высокотемпературный сверхпроводник, критические параметры, электрические соединения, соленоиды.

Введение

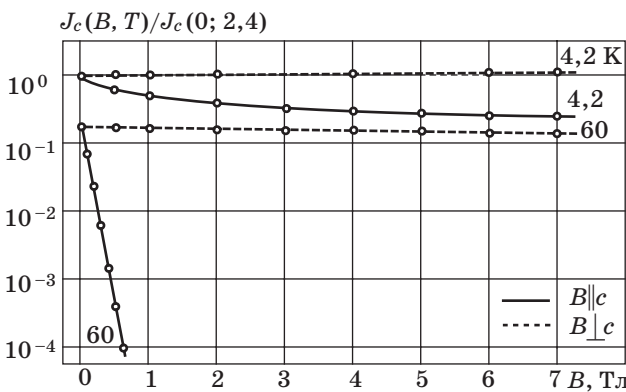
Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП), в отличие от низкотемпературных сверхпроводников, характеризуются анизотропией, которая усиливается по мере роста рабочей температуры от уровня жидкого гелия (4,2 К) до уровня жидкого азота (77,3 К). Этот процесс характеризуется различием в критических плотностях тока (плотностях тока, при которых сверхпроводник переходит в резистивное состояние) в зависимости от направления магнитного поля: параллельно или перпендикулярно плоскости ВТСП для тонких пленок или параллельно и перпендикулярно широкой стороне ленты. На рис. 1 [1] показана взаимосвязь между критической плотностью J_c тока, индукцией магнитного поля B и направлением магнитного поля относительно сверхпроводника.

Из приведенных данных видно, что даже при благоприятном направлении магнитного поля существует резко выраженная зависимость критической плотности тока от величины магнитного поля (рис. 2), особенно при температуре жидкого азота, на которую ориентируется большинство разработчиков ВТСП электротехнических устройств.

Провода из ВТСП-материалов выпускаются в виде плоских лент, содержащих ВТСП-волокна в матрице из нормального металла. При разработке ВТСП-устройств возникает несколько проблем. Во-первых, необходимо экспериментально исследовать используемые провода по более широкой программе, чем это делает предприятие-изготовитель. Результаты этих экспериментов закладываются в расчеты при проектировании ВТСП-устройств.



■ Рис. 1. Взаимосвязь между критической плотностью тока, индукцией магнитного поля и направлением магнитного поля относительно сверхпроводника



■ Рис. 2. Зависимость критической плотности тока от величины магнитного поля

Во-вторых, при изготовлении различных типов ВТСП-устройств необходимо выполнять электрические соединения. Это достаточно серьезная проблема, поскольку такое соединение должно быть механически прочным, иметь минимальное электрическое сопротивление и обеспечивать сверхпроводящее состояние изделия.

Как видно из рис. 2, наиболее высокие критические параметры у ВТСП-материалов достигаются в собственном магнитном поле. При изготовлении любого изделия, например соленоида, магнитное поле увеличивается. Наличие ферромагнитных материалов, являющихся неотъемлемой частью большинства ВТСП-устройств, приводит к дополнительному росту магнитного поля и, соответственно, к еще большему снижению критического тока. Поэтому окончательный выбор рабочих параметров ВТСП-устройств (генераторов, двигателей, трансформаторов, ограничителей тока, накопителей энергии) основан на экспериментальных данных, полученных при физи-

ческом моделировании процессов как в ВТСП-проводах, так и в изделиях из них.

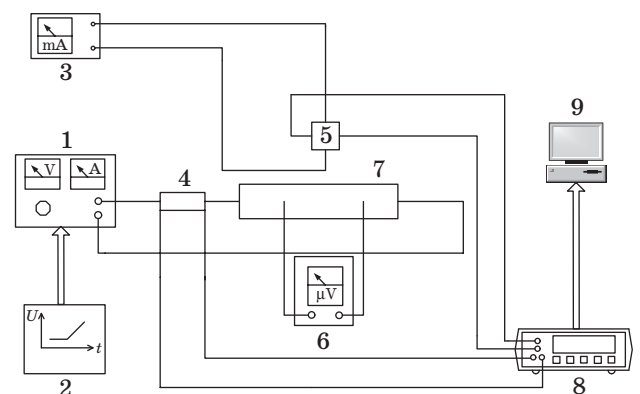
Определение критических параметров ВТСП-проводов

Для физического моделирования процессов в коротких образцах ВТСП-ленты была создана специальная установка (рис. 3) [2]. Она позволяет определять критические параметры ВТСП-ленты в собственном поле и во внешних магнитных полях при изменении скорости заведения транспортного тока в широких пределах. В процессе экспериментов измеряются вольт-амперные характеристики (ВАХ) ленты при температуре жидкого азота.

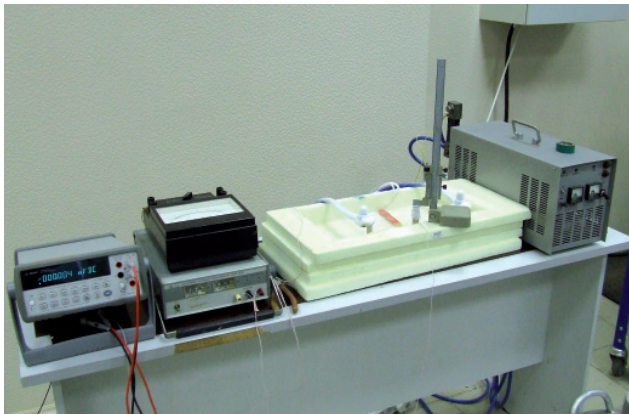
Критерием перехода исследуемого сверхпроводника в резистивное состояние является появление напряжения нормальной зоны 1 мкВ на 1 см длины образца.

Короткий образец ВТСП-ленты 7 припаивается мягким припоем к медным тоководам, которые закреплены на технологической оправке. В средней части к образцу припаяны 2 потенциальных конца на расстоянии 1 см друг от друга для регистрации сигнала нормальной зоны устройством обнаружения 6. Система питания образца состоит из стабилизированного источника постоянного тока 1 на ток 250 А-5 В и блока управления 2.

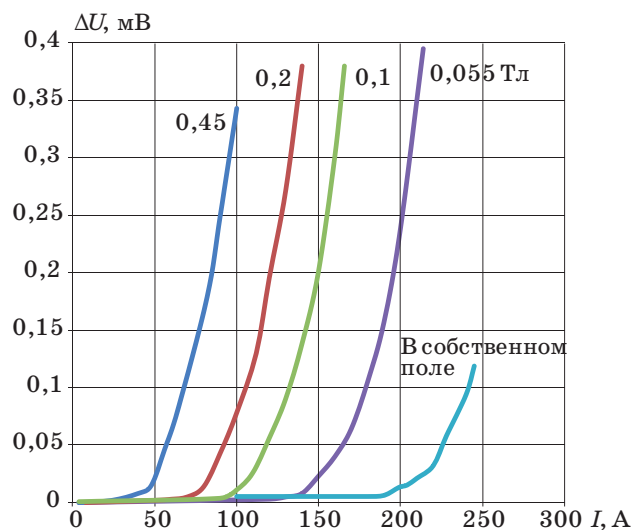
Внешнее магнитное поле, перпендикулярное широкой стороне ленты, формируется с использованием высококоэрцитивных магнитов. Контроль величины индукции магнитного поля осуществляется преобразователем Холла 5. Вольтметр 8 и ПК 9 служат для сбора, обработки и хранения результатов измерений.



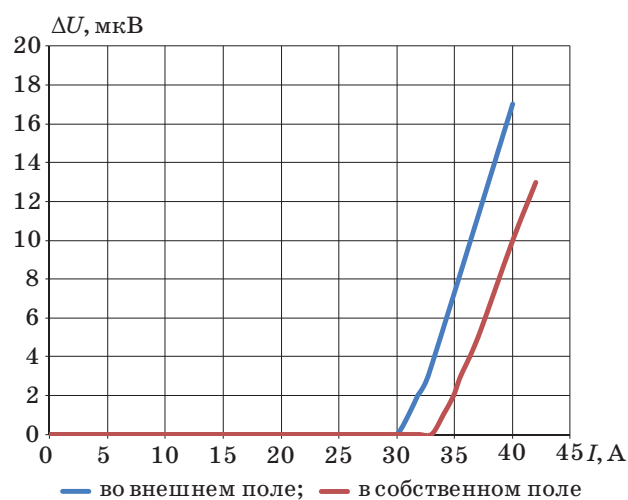
■ Рис. 3. Функциональная схема установки: 1 — источник питания ВТСП-образца; 2 — блок управления источником питания; 3 — источник питания измерителя индукции; 4 — токоизмерительный шунт; 5 — измеритель индукции; 6 — устройство обнаружения нормальной зоны; 7 — образец; 8 — вольтметр; 9 — персональный компьютер



■ Рис. 4. Внешний вид установки для испытаний коротких образцов ВТСП-ленты



■ Рис. 5. VAX ВТСП-ленты при исследованиях на постоянном токе



■ Рис. 6. VAX ВТСП-ленты при питании переменным током (внешнее поле 0,1 Тл)

Установка позволяет определять максимально допустимые скорости изменения транспортного тока в ВТСП, при которых происходит переход сверхпроводника в резистивное состояние. Скорость изменения тока регулируется дискретно в блоке управления 2 путем изменения постоянной времени интегратора.

Для исследований использовалась лента размером $4,7 \times 0,38$ мм на основе висмутовой керамики. Процесс исследований показан на рис. 4, а на рис. 5 — результаты исследований ленты при питании постоянным током в среде жидкого азота, в собственном магнитном поле сверхпроводника и во внешнем магнитном поле, действующем перпендикулярно.

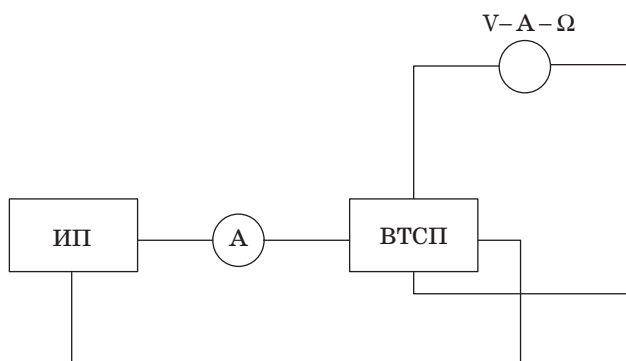
Следующий этап исследований представлял наибольший интерес, поскольку именно он давал возможность оценить устойчивость ленты к воздействию переменных токов и внешних магнитных полей. Из приведенных результатов (рис. 6) видно, что на переменном токе критические параметры ленты существенно ниже, чем на постоянном токе. Следует, однако, отметить, что это не говорит о нецелесообразности применения ВТСП-ленты на переменном токе. Уже освоены и выпускаются ВТСП-ленты с твистированными ВТСП-волокнами, предназначенные для применения на переменном токе. Однако они пока еще относительно дороги. Кроме того, даже при сравнительно низких критических параметрах на переменном токе лента обладает невысокими потерями, в основном гистерезисными.

Исследование электрических соединений ВТСП-проводов

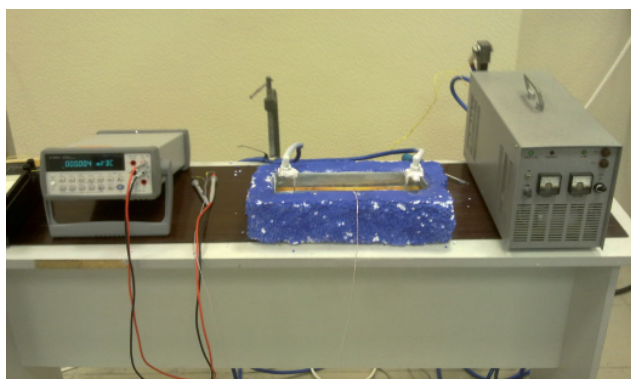
Ниже представлены результаты экспериментальных исследований нескольких вариантов электрических соединений ВТСП-ленты, выполненных методом пайки. При испытаниях измерялось сопротивление постоянному току вариантов спаев коротких образцов ВТСП-ленты в среде жидкого азота. Показано, что имеется возможность достичь удовлетворительных результатов в создании паяных соединений ВТСП-ленты различными способами.

В состав исследовательской установки, функциональная схема которой показана на рис. 7, входят источник питания ИП MS250, мультиметр НР 34401А, амперметр М2107. Установка для исследования сопротивления спаев в среде жидкого азота представлена на рис. 8 [3].

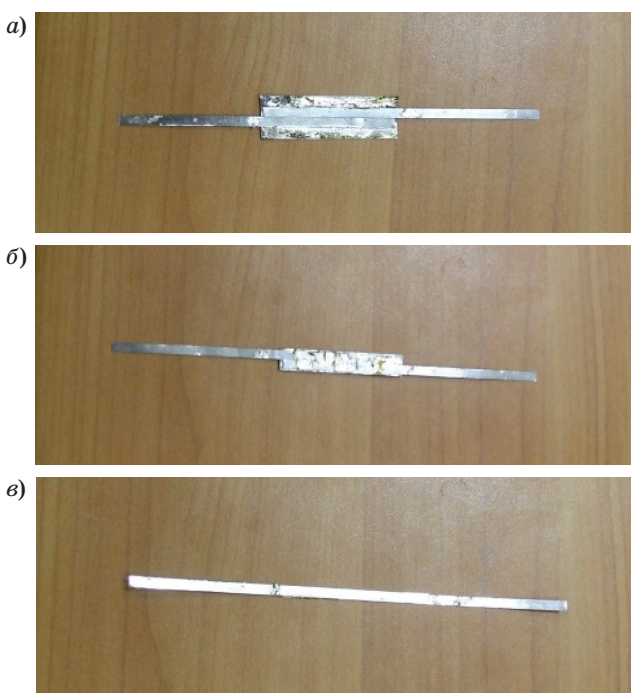
Зона спаивания при прохождении через нее электрического тока начинает разогреваться, что может вызвать переход ВТСП-ленты из сверхпроводящего в резистивное состояние. Были рассмот-



■ Рис. 7. Функциональная схема установки для исследования ВАХ спаев



■ Рис. 8. Установка для исследования сопротивления электрических соединений ВТСИ-ленты в среде жидкого азота

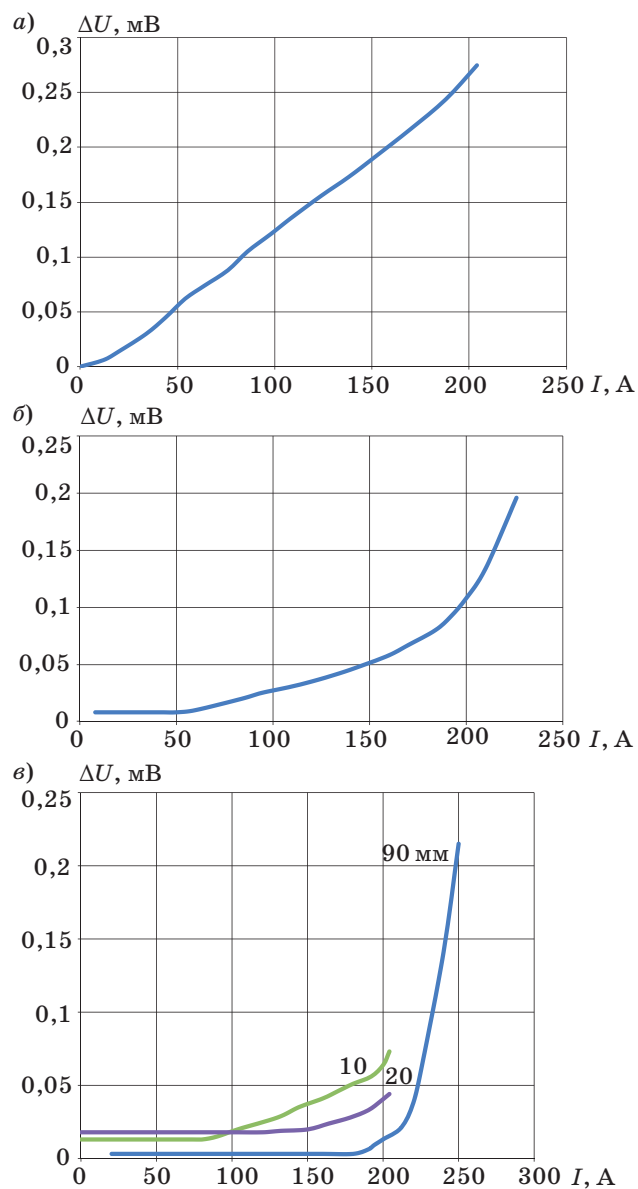


■ Рис. 9. Варианты исполнения спаев по медной ленте (а), по серебряной ленте (б), по матрице (в)

рены различные варианты исполнения соединений (рис. 9, а–в).

При испытаниях фиксировалось падение напряжения на длине спаев в зависимости от изменения величины постоянного тока. ВАХ спаев по медной и серебряной ленте представлены на рис. 10, а, б и по матрице при различной длине спаев — на рис. 10, в.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что соединение ВТСИ-ленты путем пайки целесообразно выполнять как по матрицам соединяемых сверхпроводников, так и по основанию из серебряной ленты, поскольку в диапазоне изменения постоянного тока от 0 до 50 А



■ Рис. 10. ВАХ спаев по медной ленте (а), по серебряной ленте (б) и различной длины по матрице (в)

падения напряжения на спаях, а следовательно, и сопротивления спаев постоянному току практически идентичны.

Исследование плоского соленоида в собственном и внешних магнитных полях

Для исследований были изготовлены несколько плоских соленоидов со следующими размерами: внутренний диаметр — 60 мм, внешний диаметр — 114 мм, толщина — 9 мм, количество витков — 110. Внешний вид соленоида показан на рис. 11.

На первом этапе было проведено определение индуктивности соленоидов и сопоставление с расчетными данными (таблица).

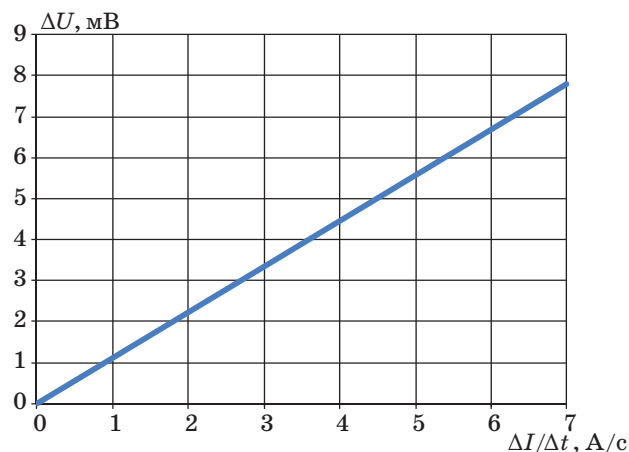
Результаты измерения падения напряжения на соленоиде при заведении тока с постоянной скоростью в среде жидкого азота показаны на рис. 12.

Результаты экспериментов по определению токонесущей способности соленоидов из ВТСП-ленты в собственном и внешнем магнитных полях при питании постоянным током и током промышленной частоты приводятся на рис. 13, а, б.

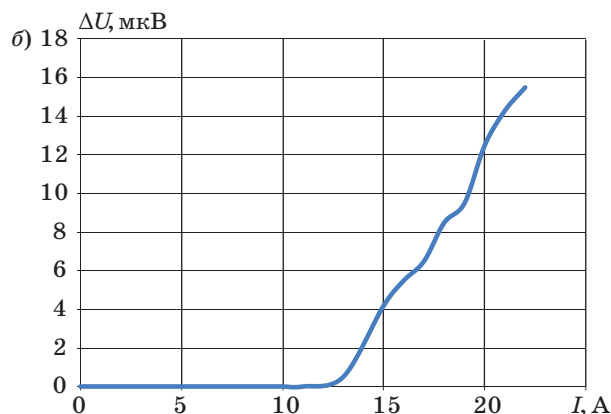
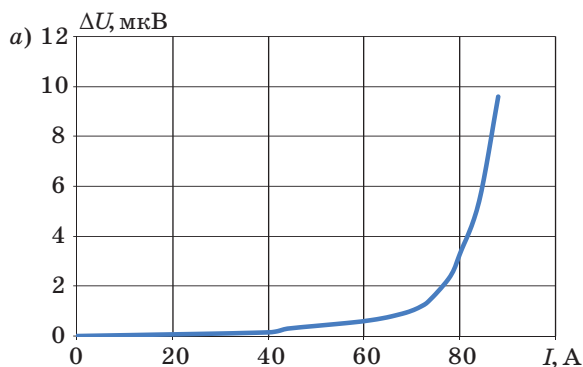
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, контракт № 20.740.11.0070.



■ Рис. 11. Опытный образец катушки плоского соленоида из ВТСП-ленты



■ Рис. 12. Зависимость падения напряжения на ВТСП-катушки от скорости заведения тока



■ Рис. 13. ВАХ опытного ВТСП-соленоида, полученная на постоянном (а) и переменном (б) токе

■ Расчетные и опытные величины индуктивности ВТСП-соленоида

Показатель	Измерения с помощью измерителя иммитанса			Измерение индуктивного напряжения на катушке	
	без железа	с железом	на расстоянии 15 мм от железа	при заведении тока с постоянной скоростью в среде жидкого азота	при питании малым переменным током частотой 50 Гц при комнатной температуре
Измеренная индуктивность, мГн	1,112	1,82	1,293	1,123	1,110
Расхождение с расчетным значением, %	0,2	0,4	4,3	0,9	0,4

Заключение

Получен широкий спектр экспериментальных данных, определяющих характеристики ВТСП-ленты на основе висмутовой керамики. Результаты этих экспериментов могут быть использованы при разработке различных типов ВТСП-устройств, работающих на постоянном и переменном токах.

Разработаны варианты надежных электрических соединений ВТСП-ленты.

Несмотря на то, что рабочие характеристики ВТСП-ленты на переменном токе промышленной частоты не очень велики, ее можно использовать при создании соленоидов и обмоток небольших размеров. Следует также принимать во внимание, что потери в таких обмотках ниже,

чем в медных обмотках при комнатной температуре.

Литература

1. **Handbook of Condensed Matter and Materials Data.** — Springer Berlin Heidelberg, 2005. — 1124 p.
2. **Андреев Е. Н.** и др. Экспериментальное исследование процессов в ВТСП проводах и соленоидах // Завалишинские чтения'11: Сб. докл. СПб.: ГУАП, 2011. С. 43–49.
3. **Андреев Е. Н.** и др. Разработка надежных электрических соединений ВТСП ленты // Завалишинские чтения'11: Сб. докл. СПб.: ГУАП, 2011. С. 50–55.

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» — САИТ-2011

17–23 августа 2011 г.

Место проведения: Башкирия, Белорецкий р-н, пос. Новоабзаково, д/о Абзаково.

Организаторы

Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН

Институт системного анализа РАН

Магнитогорский государственный университет

Челябинский государственный университет

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН

Российская ассоциация искусственного интеллекта

Институт информационных технологий Болгарской академии наук

ООО «Технологии системного анализа»

Комитет РАН по системному анализу

Институт математики НАН Беларуси

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Направления работы

Теоретические аспекты системного анализа

Самоорганизация в сложных системах

Математические методы системного анализа и управления

Методы и информационные технологии поддержки принятия решений

Технологии автоматизации и управления

Динамика макросистем

Информационные технологии поиска и анализа информации

Информационные технологии в науке, образовании, медицине, экономике и промышленности

Информационная безопасность

Интеллектуальные технологии и системы

Методы приобретения и представления знаний интеллектуальными системами

Распознавание аудио-, видео- и графических образов

Распределенные и параллельные вычисления

Распределенная информационно-алгоритмическая среда для научных исследований

Автоматизация программирования

Проблемы неопределенности и риска в экономике

Управление развитием наукоемких и информационных технологий

Системный анализ социально-экономических процессов

Моделирование демо-экономических процессов

Проблемы устойчивого развития

Системное регулирование и управление

Методология системного подхода в новой информационной среде

Дополнительная информация и справки

117312, Москва, Проспект 60-летия Октября, д. 9,

Институт системного анализа РАН

Жарова Наталия Юлиевна

Тел.: 7 (499) 135-51-64; факс: 7 (499) 783-91-32

Эл. адрес: saitconf@gmail.com

Сайт: <http://www.isa.ru/sait>

УДК 004.522

КОМПЛЕКС ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ И РАСПОЗНАВАНИЯ РАЗГОВОРНОЙ РУССКОЙ РЕЧИ

И. С. Кипяткова,¹

младший научный сотрудник

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

Представлен программный комплекс для обработки и распознавания разговорной русской речи. В него входят блоки обучения моделей акустических единиц речи, предварительной обработки текстового материала, создания транскрипций слов, выбора лучших транскрипций, создания n -граммной модели русского языка, автоматического распознавания речи. Дается детальное описание программных модулей, входящих в каждый из этих блоков.

Ключевые слова — распознавание, русская речь, обучение, системы распознавания речи, n -граммная модель языка, автоматическое фонематическое транскрибирование.

Введение

Автоматическое распознавание разговорной русской речи представляет собой очень сложную задачу и по сравнению с распознаванием изолированных слов требует дополнительных программных модулей. Во-первых, произношение слов в разговорной речи сильно варьируется, и фонетическое представление произнесенных слов зачастую не совпадает с транскрипциями слов, сделанными по фонетическим правилам транскрибирования. Поэтому кроме программного модуля создания базовых фонематических транскрипций необходим модуль генерации альтернативных транскрипций, которые учитывали бы различные варианты произнесения слов в разговорной речи. Во-вторых, при автоматическом распознавании разговорной слитной речи распознавателю необходима модель языка, описывающая допустимые фразы. Однако в русском языке отсутствуют жесткие грамматические конструкции предложений, что затрудняет создание моделей языка.

Архитектура программных средств обработки разговорной русской речи представлена на рис. 1. Система работает в двух режимах — обучение и распознавание. В режиме обучения создаются модели акустических единиц речи, модель язы-

ка, а также словарь словоформ, которые далее будут использоваться распознавателем. Для обучения акустических моделей используется вручную размеченный корпус русской речи, а модель языка создается по текстовому корпусу. Таким образом, можно выделить следующие этапы обучения системы распознавания:

- предварительная обработка текстового материала для создания модели языка;
- создание транскрипций для слов из собранного текстового корпуса;
- выбор наилучших транскрипций;
- создание модели языка;
- обучение акустических единиц речи.

В режиме распознавания входной речевой сигнал преобразуется в последовательность векторов признаков, и затем производится поиск наиболее вероятной гипотезы с использованием предварительно обученных акустических и языковых моделей.

Ниже будут подробно описаны программные модули, реализующие эти режимы работы. Программные модули созданы на языках программирования C++ и Perl, а также используются сторонние модули в виде исполняемых файлов, в том числе модули комплексов программ CMU-Cambridge Statistical Language Modeling Toolkit (CMU SLM) [1], НТК (Hidden Markov Model Toolkit) [2], АОТ (Автоматическая обработка текста) [3].

Представленная архитектура программных средств для обработки русской речи составляет основу системы автоматического распознавания

¹ Научный руководитель — кандидат технических наук, старший научный сотрудник СПИИРАН А. А. Карпов.

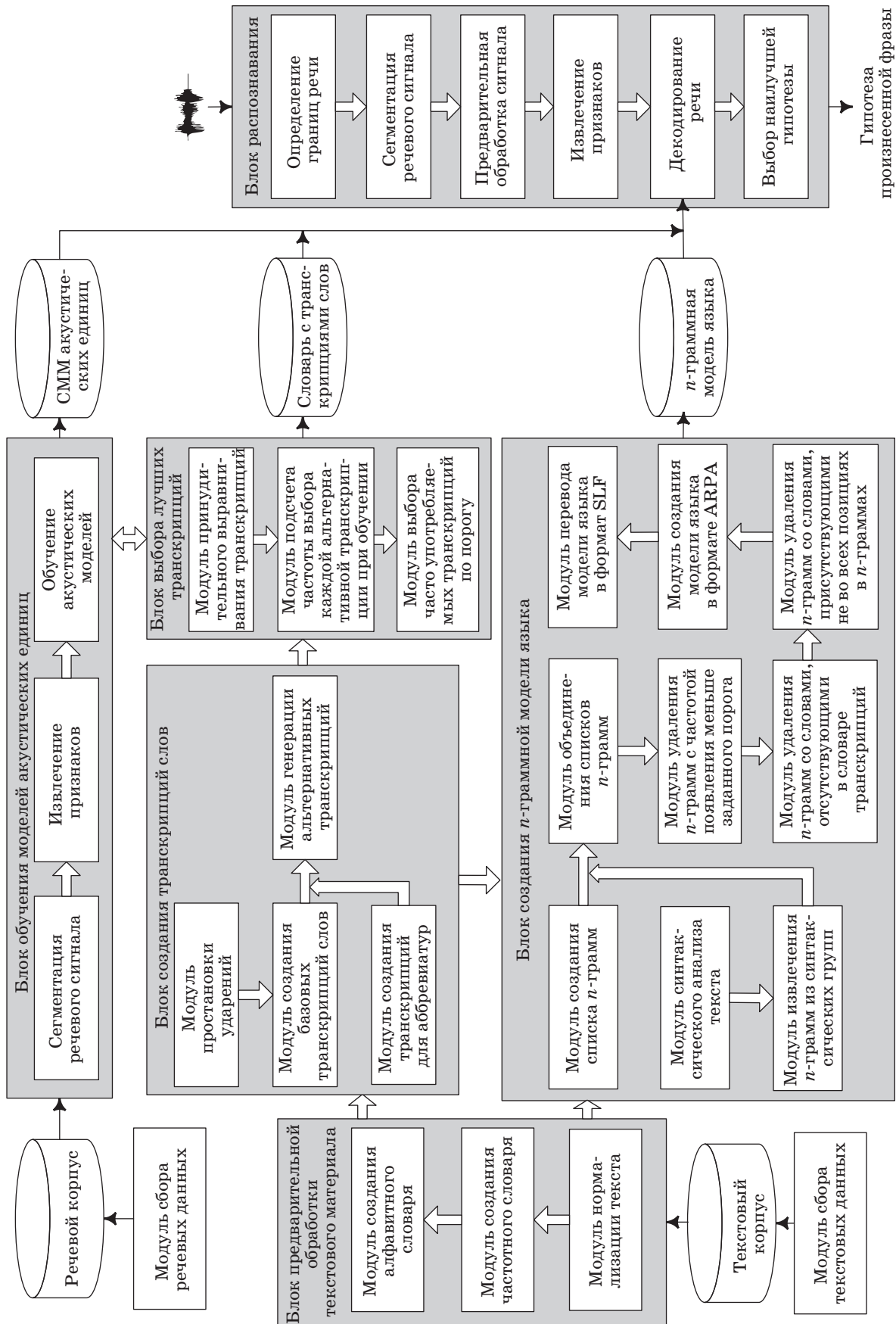


Рис. 1. Архитектура программных средств обработки разговорной русской речи

и понимания речи SIRIUS (SPIIRAS Interface for Recognition and Integral Understanding of Speech), разработанной в СПИИРАН.

Блок обучения моделей акустических единиц речи

Обучение моделей акустических единиц речи производится с использованием корпуса русской речи. Для обеспечения дикторнезависимости системы распознавания требуются речевые базы данных с записями большого числа дикторов. Запись производится в шумоизолированной комнате. Диктору последовательно показываются фразы, которые следует произнести, и каждая его фраза записывается в отдельный звуковой wav-файл. После записи речевых данных выполняется полуавтоматическая разметка акустического сигнала на фразы, слова и фонемы.

Обучение моделей акустических единиц осуществляется следующим образом. Вначале происходит сегментация речевого сигнала — разделение на короткие сегменты длительностью 10–30 мс, примерно соответствующие квазистационарным участкам речи. Для более точного описания сигнала речевые сегменты обычно берутся с перекрытием. Каждый раз рассматривается лишь один короткий сегмент сигнала, а остальная часть сигнала отбрасывается. В спектральной области такая процедура соответствует операции свертки спектра участка сигнала с помощью нелинейной функции окна, для того чтобы ослабить краевые эффекты на границах сегментов. Обычно для этих целей используют окно Хэмминга [4].

Затем, речевые данные, проходя уровень параметрического представления, посегментно преобразуются в последовательность векторов признаков. Для параметрического представления речевого сигнала производится спектральный анализ сегментов сигнала с вычислением кепстральных коэффициентов по мел-шкале частот (Mel Frequency Cepstral Coefficient — MFCC) с их первой и второй производными [5].

Для акустического моделирования речи используются скрытые марковские модели (СММ), при этом каждая фонема (звук речи) представляется одной непрерывной СММ первого порядка. Модель фонемы имеет три состояния: первое описывает начало фонемы, второе представляет центральную часть и третье — концовку. СММ слова получается путем соединения в цепочку моделей фонем из соответствующего фонетического алфавита. Аналогичным образом соединяются модели слов друг с другом, образуя модели фраз. Цель обучения акустических моделей, основанных на СММ, состоит в том, чтобы по обучающей последовательности наблюдений определить такие параметры модели, с которыми вероятность появления этой последовательности была максимальной [6]. Одним из способов выбора таких параметров модели, чтобы локально максимизировать данную вероятность, является метод Баума—Уэлча. В ходе процесса обучения определяется распределение вероятностей переходов между состояниями СММ (матрица переходных вероятностей), распределение вероятностей появления символов наблюдения в состоянии, вероятностное распределение начальных состояний модели. Итеративно переобучаются данные параметры моделей, пока происходит увеличение вероятности распознавания обучающего набора фраз.

На выходе данного блока формируется набор СММ акустических единиц речи для принятого фонетического алфавита.

Блок предварительной обработки текстового материала

Обучающий текстовый материал собирается с интернет-сайтов электронных газет (например, www.ng.ru («Независимая газета»), www.smi.ru («СМИ.ru»)), откуда закачиваются html-файлы. Каждый из этих файлов обрабатывается модулем HTMLrem, который удаляет в них теги и преобразует их в текстовые файлы. Затем получившиеся текстовые файлы объединяются в один, при этом содержащийся в них текст разбивается на отдельные предложения, а каждое предложение записывается с новой строки. На части также делятся предложения, содержащие прямую и косвенную речь, кроме того, точка с запятой считается границей раздела двух предложений.

Модуль нормализации текста (cleanup.pl) выполняет автоматическую обработку собранного текстового материала, которая включает в себя удаление повторяющихся предложений; удаление текста, написанного в скобках; удаление предложений, состоящих из пяти и меньшего количества слов; расшифровку общепринятых сокращений; удаление знаков препинания; замену заглавной буквы на строчную в словах, начинающихся с заглавной буквы [7].

Модуль (text2wfreq) создания частотного словаря является модулем СМУ. На вход модуля поступает текст, а на выходе создается частотный словарь, который представляет собой список всех словоформ, используемых в тексте, с частотой их встречаемости в тексте.

Следующий модуль (wfreq2vocab) из комплекса программ СМУ создает из частотного словаря алфавитный словарь словоформ, используемых в тексте. Размер словаря можно задать двумя способами: напрямую указав максимальный размер

словаря либо указав максимальный порог частоты появления слова, начиная с которой слова будут записываться в словарь.

Таким образом, в результате работы блока предварительной обработки текстового материала создается нормализованный обучающий текстовый корпус, а также частотный и алфавитный словари словоформ из данного корпуса.

Блок создания транскрипций слов

Транскрипции для слов из собранного текстового корпуса генерируются автоматически с помощью программных модулей создания транскрипций. Вручную должны быть созданы транскрипции для аббревиатур, а также для некоторых широко распространенных слов, заимствованных из английского языка.

Первоначальным этапом создания транскрипций является определение ударной гласной/гласных в слове. Для этого используется модуль постановки ударений (GetUdarenieWord) с применением базы данных словоформ русского языка, созданной путем объединения двух баз данных, свободно доступных в Интернете: морфологической базы данных проекта STARLING [8] и морфологической базы данных проекта АОТ [9]. Для слов, которые отсутствуют в этой базе данных, а также для сложных слов, у которых в этой базе данных отсутствует информация о второстепенном ударении, модуль пытается определить ударение автоматически. Автоматически ударение ставится над ё, а также если в слове только одна гласная. Если обрабатываемое слово содержит дефис, а в базе данных для него отмечено только одно ударение, то это слово разбивается на две части, и затем они по отдельности проверяются по базе данных ударений. Если они обнаруживаются в базе данных, то второстепенное ударение ставится на первое слово, а основное — на второе. Подробнее работа данного модуля описана в статье [10].

Модуль создания базовых транскрипций (TranscribeWord) создает фонематические транскрипции слов. На вход модуля поступает алфавитный словарь словоформ из текстового корпуса, для которых транскрипции создаются с использованием базовых фонетических правил [11] и модуля GetUdarenieWord. В качестве фонетического алфавита используется модифицированный вариант международного фонетического алфавита SAMPA. В нашем варианте используются 48 фонем: 12 — для гласных звуков (с учетом ударных вариантов) и 36 — для согласных (с учетом твердости и мягкости звуков). Алгоритм создания базовых транскрипций слов описан в работе [12].

Модуль создания транскрипций для аббревиатур (abbrev.pl) автоматически создает транскрип-

ции для некоторых аббревиатур. Существует три типа прочтения аббревиатур: буквенный, звуковой и буквенно-звуковой [13]. При буквенном типе прочтения транскрипции создаются автоматически, если транскрипция состоит только из согласных. Тогда буквы слова заменяются на их звуковое прочтение, а ударение ставится на последний гласный в слове. В случае звукового типа прочтения транскрипции создаются автоматически для аббревиатур вида: согласный—гласный—согласный. При этом транскрипция создается аналогично как и для других слов. Аббревиатуры с буквенно-звуковым типом прочтения автоматически не обрабатываются, так как в них не очевиден вариант правильного произношения.

Завершающий модуль создания альтернативных транскрипций (AdvancedTranscribator) из списка базовых транскрипций слов и аббревиатур создает альтернативные транскрипции, которые учитывают вариативность произношения слов в разговорной речи. Разработанный модуль фонематического транскрибирования создает альтернативные транскрипции, используя правила, описывающие возможные явления редукции и ассимиляции фонем [14, 15]. Процесс создания альтернативных транскрипций детально описан в статье [12].

В результате работы данного блока создается словарь базовых и альтернативных транскрипций словоформ, соответствующий собранному текстовому корпусу.

Блок отбора наилучших транскрипций

Модуль принудительного выравнивания транскрипций HVite из комплекса программ НТК выбирает из сгенерированных альтернативных транскрипций одну наиболее подходящую соответствующему речевому сигналу из базы данных. В этом случае выбор транскрипции происходит только между альтернативными транскрипциями одного и того же слова [16]. Для каждой фразы алгоритм Витерби вычисляет вероятность того, что фонематическая транскрипция и речевой сигнал соответствуют друг другу [17]. Наибольшие вероятности при выравнивании транскрипций каждого слова позволяют выбрать оптимальные варианты [16].

Модуль подсчета частоты выбора альтернативных транскрипций (FrequencyFromAligned) определяет, сколько раз каждая транскрипция была выбрана при выполнении принудительного выравнивания, и создает частотный словарь транскрипций слов.

Следующий модуль выбора часто употребляемых транскрипций по порогу (CreateNewDictBasedOnFrequency) из частотного словаря транскрипций выбирает те, частота появления кото-

рых больше заданного порога, и эти транскрипции добавляются к базовым в словарь системы распознавания.

В результате работы блоков создания транскрипций и выбора лучших альтернативных транскрипций создается список фонематических представлений слов из текстового корпуса. В этот список входят базовые транскрипции, а также наилучшие альтернативные для тех слов из текстового корпуса, которые присутствовали в обучающем корпусе речи.

Блок создания n -граммной модели языка

Задача n -граммной модели языка состоит в оценке вероятности появления цепочки слов в некотором тексте (например, в гипотезе распознавания фразы). n -граммы представляют собой последовательность из n элементов (например, слов), а n -граммная модель языка используется для предсказания элемента в последовательности, содержащей $n - 1$ предшественников. Модуль создания списка n -грамм (`text2idngram`) входит в состав СМУ. Входными данными являются обучающий текстовый корпус и алфавитный словарь слов из этого текста. В результате работы модуля создается список n -грамм с частотой их появления в обучающем корпусе. Модуль позволяет создавать n -граммы с различным значением n , но на практике обычно используются биграммы ($n = 2$), которые определяют вероятность появления пар слов, и триграммы ($n = 3$), которые определяют вероятность появления троек слов.

Ввиду нежесткого порядка слов в русском языке многие грамматически связанные пары слов оказываются в предложении разделены другими словами, и в результате статистического анализа текста не создаются биграммы, содержащие такие пары слов, а n -граммные модели языка оказываются недостаточно эффективными. Увеличить количество создаваемых в результате обработки текста различных n -грамм и тем самым повысить качество модели языка позволит выявление грамматически связанных пар слов за счет синтаксического анализа предложений. Поэтому в данный блок программ для создания модели языка встроен модуль синтаксического анализа VisualSynap проекта АОТ. Целью синтаксического анализа является построение синтаксических групп в предложении [3]. Синтаксическую группу определяют следующие параметры: тип группы, пара синтаксически связанных слов, граммы. Тип группы — это строковая константа: ПРИЛ_СУЩ (прилагательное—существительное), ПГ (предложная группа) и т. д. Граммы группы — это морфологические характеристики слов, которые определяют поведение и сочетаемость

элементов в других группах. Поскольку синтаксическая группа представляет собой пару слов, то синтаксический анализ можно применить только при создании биграммной модели языка.

Модуль получения n -грамм в результате синтаксического анализа (`syntax_parse.pl`) выполняет обработку результатов, полученных в ходе синтаксического анализа. Суть обработки заключается в следующем: грамматически связанные пары слов (синтаксические группы) добавляются в список биграмм, если в тексте они разделены другими словами. В список биграмм добавляются следующие синтаксические группы: прилагательное—существительное (например, классическое и авангардное направление), подлежащее—сказуемое (мы ее знали), прямое дополнение (отмечали свое десятилетие), наречие—глагол (уже полностью распределены), генитивная пара (темой данного номера), отсравнительная группа (важнее самого контракта), глагол—инфинитив (придется сначала попробовать), обособленное прилагательное в постпозиции (цель, достаточно благородную), причастие—существительное (горы, снегами наполненные), существительное—придаточное определительное предложение (отзывы, которые приходят).

Следующий модуль объединения списков n -грамм (`merge_bigr.pl`) объединяет списки биграмм, созданные в результате как статистической обработки биграмм, так и синтаксического анализа текста.

Модуль удаления n -грамм с частотой появления, меньшей заданного порога, (`cut.pl`) сокращает список n -грамм путем удаления тех элементов, частота появления которых меньше заданного порога. На вход модуля подается частотный список n -грамм и задается порог, на выходе получается сокращенный список n -грамм.

Далее модуль удаления n -грамм со словами, отсутствующими в словаре транскрипций, (`ngram_final.pl`) проводит анализ, для каких слов из полученного списка n -грамм были ранее созданы транскрипции. n -граммы со словами, для которых транскрипции не были созданы, удаляются этим модулем.

Из-за удаления некоторых n -грамм из модели языка появляются слова, которые в модели не приводят к конечному результату (разрывают цепочку слов), поскольку встречаются в n -граммах не во всех позициях. Модуль удаления n -грамм со словами, присутствующими не во всех позициях, (`del.pl`) отфильтровывает n -граммы, содержащие такие слова.

Модуль создания модели языка в формате ARPA (`idngram2lm`) является модулем СМУ. Этот модуль по списку n -грамм создает вероятностную модель языка. Модель языка в формате ARPA

а)	б)
<pre>{data} ngram 1=208183 ngram 2=6013323 \1-grams: ... -5.9467 абонемент -0.3327 -6.1268 абонемента -0.1235 -6.6619 абонементе -0.0696 -7.2060 абонементном -0.3172 -7.3821 абонементную -0.3358 -6.2517 абонементов -0.1658 -6.3120 абонементы -0.2449 ... \2-grams: ... -0.7822 абонемент </s> -1.9771 абонемент БСО -0.9235 абонемент в -1.9771 абонемент где -1.9771 абонемент гennaдья -1.9771 абонемент для -1.9771 абонемент и -1.7042 абонемент из ...</pre>	<pre>VERSION=1.0 N=208183 L=6013323 ... I=1312 W=абонемент I=1313 W=абонемента I=1314 W=абонементе I=1315 W=абонементном I=1316 W=абонементную I=1317 W=абонементов I=1318 W=абонементы ... J=138694 S=1312 E=0 I=-0.7822 J=138695 S=1312 E=178 I=-1.9771 J=138696 S=1312 E=18579 I=-0.9235 J=138697 S=1312 E=32837 I=-1.9771 J=138698 S=1312 E=33228 I=-1.9771 J=138699 S=1312 E=43482 I=-1.9771 J=138700 S=1312 E=57416 I=-1.9771 J=138701 S=1312 E=58025 I=-1.7042 ...</pre>

Рис. 2. Фрагмент представления модели языка в формате ARPA (а) и SLF (б)

имеет вид, показанный на рис. 2, а. Вначале в модели языка идет список униграмм, слева от униграммы указывается значение десятичного логарифма вероятности ее появления, справа — коэффициент возврата (back-off weight) [18], который применяется в тех случаях, когда некоторая n -грамма отсутствует в обучающем корпусе или частота ее появления очень низкая, тогда вместо нее используется вероятность $(n - 1)$ -граммы, умноженная на коэффициент возврата. Ниже идет список биграмм с вероятностями их появления.

Модуль (lconvert.pl) перевода модели языка в формат SLF (Standard Lattice Format) трансформирует модель языка из формата ARPA в более компактный формат, применяемый в НТК. Фрагмент модели языка в формате SLF представлен на рис. 2, б, где I — порядковый номер словоформы, W — словоформа, J — порядковый номер биграммы, S — порядковый номер первого слова в биграмме, E — порядковый номер последнего слова в биграмме, I — десятичный логарифм вероятности появления биграммы в тексте.

Результатом работы блока создания модели языка является n -граммная статистическая модель языка, отражающая данные из обучающего текстового корпуса.

Блок распознавания речи

Первым этапом процесса распознавания речи является определение границ речи в звуковом сигнале, поступающем от микрофона. Для этого используется свойство отличия значений энергии для речевых сегментов сигнала и для сегментов

фонового шума. Затем осуществляется сегментация речевого сигнала и извлечение признаков. Эти этапы являются аналогичными этапам процесса обучения моделей акустических единиц речи.

Для распознавания слитной речи используется модифицированный алгоритм Витерби, называемый методом передачи маркеров (token passing method) [2]. Метод передачи маркеров определяет прохождение возможных путей по состояниям объединенной СММ. В начало каждого слова из словаря ставится маркер и применяется итеративный алгоритм оптимизации Витерби, при этом на каждом шаге сдвигается маркер и для него вычисляется вероятностная оценка по акустической и языковой модели. После обработки всей последовательности векторов наблюдений выбирается маркер, имеющий наибольшую вероятность. Когда наилучший маркер достигает конца обрабатываемого сигнала (последовательности наблюдений), то путь, которым он проходит через сеть, известен в виде истории (хранящейся в маркере), и из маркера считывается последовательность пройденных слов, которая и является гипотезой распознавания фразы. Кроме того, может быть получено несколько наилучших маркеров, таким образом создается список лучших гипотез произнесенной фразы (N-best list). В дальнейшем этот список гипотез может быть обработан для выбора одной наилучшей гипотезы на основе синтаксического, семантического или прагматического анализа.

Заключение

Представленная архитектура программных средств для обработки русской речи составляет основу системы автоматического распознавания и понимания речи SIRIUS. Встроенный в программный комплекс модуль создания альтернативных транскрипций, учитывающих явления возможной редукции и ассимиляции звуков речи, позволяет использовать данную систему для распознавания разговорной речи. Применение синтаксического анализа при создании модели языка позволяет выявлять грамматически связанные пары слов, которые были разделены в тексте другими словами, что повышает эффективность биграммных моделей. В зависимости от задачи в качестве обучающего текстового корпуса могут использоваться тексты из различных предметных областей, таким образом возможно получить предметно-ориентированную систему автоматического распознавания речи.

Работа выполняется при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП «Кадры» (госконтракты № П2579 и П2360), Совета по грантам Президента РФ (проект № МК-64898.2010.8) и фонда РФФИ (проект № 11-08-01016-а).

Литература

1. **Clarkson P., Rosenfeld R.** Statistical language modeling using the CMU-Cambridge toolkit // Proc. EUROSPEECH. Rhodes, Greece, 1997. P. 2707–2710.
2. **Young S. et al.** The HTK Book (for HTK Version 3.4). — Cambridge, UK, 2009. — 375 p.
3. **Сокирко А. В.** Морфологические модули на сайте www.aot.ru // Диалог-2004. Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Тр. Междунар. конф. М.: Наука, 2004. С. 559–564.
4. **Rabiner L., Juang B.-H.** Fundamentals of Speech Recognition. — Prentice Hall, 1995. — 507 p.
5. **Strom N.** Continuous Speech Recognition in the WAXHOLM Dialogue System // Stockholm QPSR. 1996. P. 67–95.
6. **Ронжин А. Л., Карпов А. А., Ли И. В.** Речевой и многомодальный интерфейс. — М.: Наука, 2006. — 173 с. (Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения).
7. **Кипяткова И. С., Карпов А. А.** Автоматическая обработка и статистический анализ новостного текстового корпуса для модели языка системы распознавания русской речи // Информационно-управляющие системы. 2010. № 4(47). С. 2–8.
8. **Проект «Эволюция языка».** Русские словари и морфология. <http://starling.rinet.ru/morpho.php?lan=ru> (дата обращения: 24.03.2011).
9. **Автоматическая обработка текста.** Исходники словарей и программ. <http://www.aot.ru/download.php> (дата обращения: 24.03.2011).
10. **Кипяткова И. С., Карпов А. А.** Разработка и оценивание модуля транскрибирования для распознавания и синтеза русской речи // Искусственный интеллект. Донецк, Украина, 2009. № 3. С. 178–185.
11. **Русская грамматика:** В 2 т. / Редкол.: Н. Ю. Шведова (гл. ред.) и др. — М.: Наука, 1980. — 783 с.
12. **Кипяткова И. С., Карпов А. А.** Модуль фонематического транскрибирования для системы распознавания разговорной русской речи // Искусственный интеллект. 2008. № 4. С. 747–757.
13. **Кривнова О. Ф.** Обработка инициальных аббревиатур при автоматическом синтезе речи // Тр. Междунар. семинара по компьютерной лингвистике и ее приложениям «Диалог99». М., 1999. http://www.philol.msu.ru/~otipl/SpeechGroup/publications/kriv_di2.doc (дата обращения: 24.03.2011).
14. **Лобанов Б. М., Цирульник Л. И.** Моделирование внутрисловных и межсловных фонетико-акустических явлений полного и разговорного стилей в системе синтеза речи по тексту // Анализ разговорной русской речи (АР³ — 2007): Тр. первого междисциплинарного семинара. СПб.: ГУАП, 2007. С. 57–71.
15. **Русская разговорная речь** / Под ред. Е. А. Земской. — М.: Наука, 1973. — 485 с.
16. **Kessens J. M., Wester M., Strik H.** Improving the performance of Dutch CSR by modeling within-word and cross-word pronunciation variation // Speech Communication. 1999. Vol. 29. P. 193–207.
17. **Saraclar M.** Pronunciation Modeling for Conversational Speech Recognition: PhD thesis. — Baltimore, USA, 2000. — 143 p.
18. **Moore G. L.** Adaptive Statistical Class-based Language Modelling: PhD thesis. — Cambridge University, 2001. — 193 p.

УДК 621.391

КОДИРОВАНИЕ СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ БЕЗ ОБРАТНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА

Г. Н. Мальцев,

доктор техн. наук, профессор

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

Е. В. Чернявский,

начальник отделения

ОАО «Научно-исследовательский институт точных приборов»

Рассмотрены особенности применения блочных помехоустойчивых кодов в системах командного радиоуправления без обратного информационного канала. Характер процесса управления требует осуществлять выбор кода исходя из компромисса между вероятностями пропуска и ошибочного приема сообщения при однократной передаче. Показано, что в зависимости от характеристик радиоканала и требований к достоверности передачи сообщений возможны различные варианты использования кодов с обнаружением и исправлением ошибок. Оценивается выигрыш при переходе от однократной передачи к повторению сообщений с принятием решения по заданному числу совпадений.

Ключевые слова — система радиоуправления, помехоустойчивое кодирование, обнаружение и исправление ошибок, достоверность передачи сообщений.

Системы радиоуправления представляют собой один из классов информационно-управляющих систем. Среди них можно выделить широкий класс систем командного радиоуправления, в которых сигналы управления удаленными объектами передаются по радиоканалу в виде дискретных сообщений (команд) [1]. В качестве объектов управления в таких системах могут выступать различные подвижные объекты, технологические установки, робототехнические системы и отдельные дистанционно управляемые устройства [2–4]. Особенности функционирования систем командного радиоуправления являются: широкий диапазон условий радиосвязи, асинхронно-адресный режим применения с передачей отдельных дискретных сообщений, сравнительно небольшие объемы и скорости передачи информации и высокие требования к достоверности передачи сообщений (команд управления).

Требование высокой достоверности передачи сообщений в системах радиоуправления обусловлено высокой ценой ошибок при дистанционном управлении сложными техническими системами. Принятые команды управления, как правило, исполняются в автоматическом режиме, а вну-

тренняя (семантическая) избыточность в них отсутствует, и каждое управляющее воздействие соответствует конкретной операции управления. В этих условиях типовым требованием к достоверности передачи сообщений в системах командного радиоуправления является обеспечение расчетной вероятности ошибочного приема сообщения на уровне 10^{-8} – 10^{-10} , что фактически соответствует квазибезошибочной передаче [5]. При этом передача сообщений может осуществляться как с подтверждением приема или переспросом по обратному информационному каналу, так и без обратного информационного канала.

При заданных условиях радиосвязи (они определяются энергетическим потенциалом радиоканала управления) основным методом повышения достоверности передачи сообщений является использование помехоустойчивых (корректирующих) кодов, обнаруживающих и исправляющих ошибки [6, 7]. В современных телекоммуникационных системах помехоустойчивое кодирование получает широкое распространение для повышения достоверности передачи сообщений и предусматривается большинством протоколов канального уровня современных телекоммуникацион-

ных систем [8, 9]. Основой для реализации корректирующих способностей кодов является введение избыточности в передаваемые сообщения. Исходя из этого сформулировано известное условие эффективного применения корректирующих кодов как условие энергетического выигрыша от кодирования — выигрыша в помехоустойчивости передачи сообщений по сравнению с безызыточным кодированием при фиксированной удельной скорости передачи информации [6, 9].

Особенности систем командного радиоуправления позволяют «обменивать» помехоустойчивость на скорость передачи информации. Работа в асинхронном режиме передачи дискретных сообщений без предварительного этапа синхронизации и вхождения в связь усложняет реализацию оптимального приема радиосигналов управляемым объектом и затрудняет достижение высокой достоверности приема сообщений при неблагоприятных условиях радиосвязи. В то же время небольшие объемы и скорости передачи информации делают систему не критичной к удельной скорости передачи информации, и появляется возможность вводить в передаваемые сообщения избыточность для обеспечения требуемой достоверности приема сообщений на основе обнаружения и исправления ошибок без учета условия энергетического выигрыша от кодирования, существенного для режима потоковой передачи информации.

Задача обеспечения требуемой достоверности передачи сообщений в системах радиоуправления сводится, таким образом, к выбору обеспечивающего ее в заданных (ожидаемых) условиях связи помехоустойчивого кода. При этом условия радиосвязи определяют отношение сигнал/шум в радиоканале управления и связанную с ним вероятность ошибочного приема информационного символа p_0 , являющуюся исходной для определения вероятности ошибочного приема сообщения $P_{\text{ош}}$ с учетом корректирующих способностей кода.

Будем полагать, что все команды радиоуправления имеют одинаковую разрядность и для их передачи используется блочный помехоустойчивый (n, k) -код (n — общее число символов в сообщении, k — число информационных символов). Каждый (n, k) -код характеризуется кратностью обнаруживаемых q_0 и исправляемых $q_{\text{и}}$ ошибок, причем имеется возможность использовать один и тот же код с различными вариантами сочетаний кратностей q_0 и $q_{\text{и}}$ в пределах корректирующих возможностей данного кода [6, 7]. Например, блочный циклический код Голея (23,12) может использоваться в следующих четырех вариантах: $1 - q_0 = 6, q_{\text{и}} = 0$; $2 - q_0 = 5, q_{\text{и}} = 1$; $3 - q_0 = 4, q_{\text{и}} = 2$; $4 - q_0 = 3, q_{\text{и}} = 3$. Вариант 1 соответствует использованию кода только для обнаружения оши-

бок, варианты 2 и 3 — использованию кода для совместного обнаружения и исправления ошибок (исправляется часть обнаруженных ошибок), вариант 4 — использованию кода только для исправления ошибок.

Предельные возможности кодов по обнаружению и исправлению ошибок задаются в виде граничных условий (верхних и нижних границ), связывающих параметры n и k с q_0 или $q_{\text{и}}$ [6, 7]. Так, для кодов, исправляющих ошибки, связь между параметрами n, k и $q_{\text{и}}$ задается границей Хемминга

$$n - k \geq \log_2 \left(1 + \sum_{i=1}^{q_{\text{и}}} C_n^i \right). \quad (1)$$

Граница Хемминга (1) является нижней границей, задающей минимальное число проверочных символов $r = n - k$, при котором существует корректирующий код, гарантированно исправляющий ошибки с кратностью $q_{\text{и}}$. Аналогичные неравенства связывают параметры n, k и q_0 для кодов, обнаруживающих ошибки. Неравенства, определяющие границы Хемминга, решаются методом перебора величины $r = n - k$ в сторону увеличения. Первое значение r , для которого неравенство начинает выполняться, дает соотношение между величинами n и k , соответствующее заданной величине $q_{\text{и}}$. На практике не все помехоустойчивые коды обладают корректирующими способностями, соответствующими границе Хемминга, однако она задает необходимые условия для существования помехоустойчивого кода с заданными корректирующими способностями и избыточностью. Отметим, что используемый в качестве примера код Голея (23,12) имеет предельно возможные для своей избыточности $k = r/n$ корректирующие способности, соответствующие границе Хемминга.

В общем случае достоверность передачи сообщения при однократной передаче блочным помехоустойчивым (n, k) -кодом характеризуется следующими вероятностями:

— вероятностью правильного приема

$$P_{\text{п.п}} = \sum_{i=0}^{q_{\text{и}}} C_n^i p_0^i (1 - p_0)^{n-i}; \quad (2)$$

— вероятностью обнаруживаемой ошибки

$$P_{\text{о.о}} = \sum_{i=q_{\text{и}}+1}^{q_0} C_n^i p_0^i (1 - p_0)^{n-i}; \quad (3)$$

— вероятностью необнаруживаемой ошибки

$$P_{\text{н.о}} = \sum_{i=q_0+1}^n C_n^i p_0^i (1 - p_0)^{n-i}. \quad (4)$$

В выражении (2) полагается, что $C_n^0 = 1$. В выражениях (3) и (4) учитывается, что при исполь-

зовании кодов для обнаружения и исправления ошибок $q_o \geq q_{и}$. Для вероятностей $P_{п.п}$, $P_{о.о}$ и $P_{н.о}$ выполняется условие нормировки $P_{п.п} + P_{о.о} + P_{н.о} = 1$. В предельных случаях при использовании кода только для обнаружения ошибок $q_{и} = 0$, а при использовании кода только для исправления ошибок $q_{и} = q_o$ и $P_{о.о} = 0$.

Использование помехоустойчивого кодирования в системах радиопередачи должно быть направлено на достижение требуемой достоверности передачи команд управления, характеризуемой вероятностями (2)–(4). Однако особенности систем командного радиопередачи, условия их применения и сам характер управления как целенаправленного процесса с высокой ценой ошибок приводят к необходимости уточнить принципы использования методов помехоустойчивого кодирования при передаче по радиоканалам команд управления удаленными объектами.

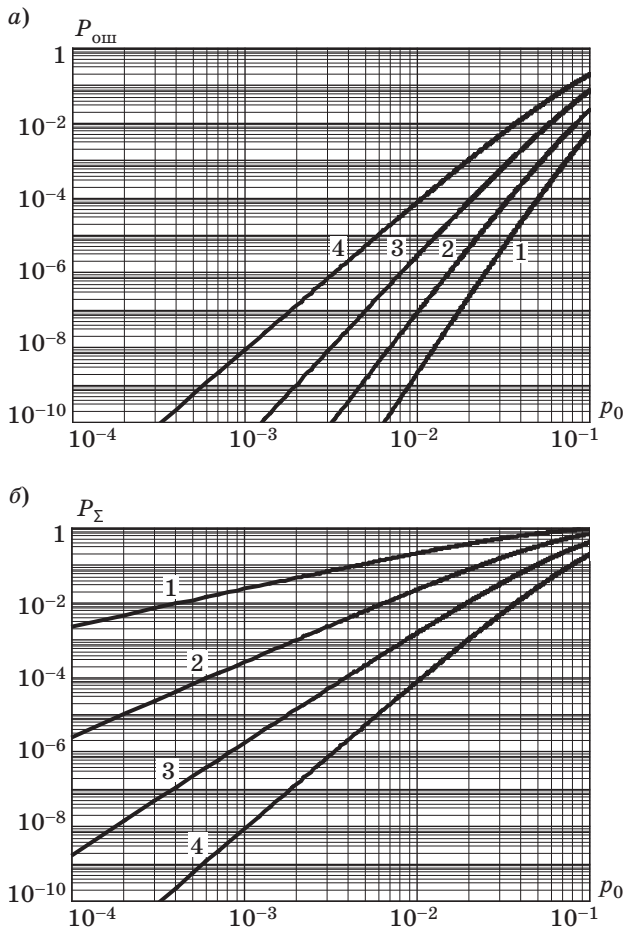
В системах передачи информации без обратного информационного канала, как правило, применяются коды, исправляющие ошибки, а при наличии обратного информационного канала — обнаруживающие ошибки [8, 9]. Первый случай соответствует FEC-протоколам канального уровня (Forward Error Correction), при этом все сообщения передаются однократно и $P_{ош} = P_{н.о}$. Вторым случаем соответствует ARQ-протоколам канального уровня (Automatic Request reQuire), при этом обнаружение ошибок при приеме приводит к переспросу и повторной передаче сообщения, и для предельного случая бесконечного числа повторений справедливо выражение $P_{ош} = P_{н.о} / (1 - P_{о.о}) \approx P_{н.о}$. Таким образом, в обоих случаях вероятность ошибочного приема сообщения $P_{ош}$ определяется величиной $P_{н.о}$ при отсутствии пропусков (стираний) сообщений, связанных с обнаружением ошибок при приеме (в случае FEC-протоколов обнаружение ошибок без их исправления не предусматривается, а в случае ARQ-протоколов после обнаружения ошибки происходит переспрос и повторная передача сообщения).

Если в системе командного радиопередачи имеется обратный информационный канал, то, как и в рассмотренном случае систем передачи информации, наиболее предпочтительно использовать коды, обнаруживающие ошибки, в сочетании с ARQ-протоколами. Такая ситуация характерна, например, для систем радиопередачи космическими аппаратами, в которых широко используется передача по обратному каналу квитанций на принятые команды [1, 4]. При отрицательной квитанции команда повторяется, а при положительной квитанция осуществляется переход к передаче следующей команды. При этом обеспечивается $P_{ош} \approx P_{н.о}$, причем величина $P_{н.о}$,

определяемая выражением (4), является минимально возможной для всех вариантов применения выбранного помехоустойчивого кода, поскольку соответствует максимальному значению q_o при $q_{и} = 0$.

Если же в системе командного радиопередачи обратный информационный канал отсутствует, то, как показывает анализ, использование по аналогии с рассмотренным случаем систем передачи информации кодов, исправляющих ошибки, в сочетании с FEC-протоколами оказывается предпочтительным далеко не всегда. Такая ситуация характерна, например, для так называемых радиотелемеханических систем управления, в которых использование обратного канала не предусматривается, а также для специальных систем связи, предназначенных для управления подвижными объектами с помощью радиogramм [1, 2]. В этом случае при использовании кодов, исправляющих ошибки, обеспечивается $P_{ош} = P_{н.о}$, однако величина $P_{н.о}$, определяемая выражением (4), является максимально возможной для всех вариантов применения выбранного помехоустойчивого кода, поскольку соответствует минимальному значению $q_o = q_{и}$. В то же время при использовании кодов, обнаруживающих ошибки, канал радиопередачи становится каналом со стираниями: при минимально возможной величине $P_{н.о}$, определяемой выражением (4) для максимального значения q_o , имеет место конечная вероятность пропуска сообщения $P_{проп} = P_{о.о}$, где величина $P_{о.о}$ определяется выражением (3). Это приводит к необходимости выбора кода исходя из значений обеих вероятностей ($P_{ош}$ и $P_{проп}$) и компромисса между риском пропуска команды и ошибочного приема, приводящего к исполнению ложной команды.

Соотношение между вероятностями ошибочного приема сообщения $P_{ош} = P_{н.о}$ и пропуска сообщения $P_{проп} = P_{о.о}$ при различных вариантах использования помехоустойчивого кода для обнаружения и исправления ошибок на примере кода Голея (23,12) иллюстрируется зависимостями, приведенными на рис. 1. На рис. 1, а — зависимости $P_{ош}$ от p_o , на рис. 1, б — зависимости суммарной вероятности ошибки $P_{\Sigma} = P_{ош} + P_{проп}$ от p_o , соответствующие четырем вариантам использования данного кода, характеризуемым сочетанием значений q_o и $q_{и}$. Из графиков видно, как с увеличением q_o и уменьшением $q_{и}$ уменьшается вероятность ошибочного приема сообщения $P_{ош}$ и увеличиваются вероятность пропуска сообщения $P_{проп}$ и суммарная вероятность ошибки P_{Σ} . В этих условиях с учетом того, что пропуск команды управления может иметь меньшую цену потерь, чем исполнение ложной команды в случае необнаруживаемой ошибки при приеме, целе-



■ **Рис. 1.** Зависимости вероятности ошибочного приема сообщения $P_{\text{ош}}$ (а) и суммарной вероятности ошибки P_{Σ} (б) от вероятности ошибочного приема информационного символа p_0 для различных вариантов использования кода (23,12): 1 - $q_o = 6, q_{\text{и}} = 0$; 2 - $q_o = 5, q_{\text{и}} = 1$; 3 - $q_o = 4, q_{\text{и}} = 2$; 4 - $q_o = 3, q_{\text{и}} = 3$

сообразно задавать допустимое значение вероятности пропуска сообщения $P_{\text{проп.доп}}$ и выбирать код, обеспечивающий минимальное значение вероятности ошибочного приема сообщения $P_{\text{ош}}$ при условии $P_{\text{проп}} \leq P_{\text{проп.доп}}$. При этом величина $P_{\text{проп.доп}}$ с учетом соотношения между ценой потерь при пропуске команды управления и выполнении ложной команды может на несколько порядков превышать требуемую величину $P_{\text{ош}}$.

В зависимости от параметров (n, k) -кода, условий радиосвязи, характеризуемых величиной p_0 , и допустимого значения вероятности пропуска сообщения $P_{\text{проп.доп}}$, которое задается с учетом решаемых задач управления, рассмотренный подход приводит к различным вариантам использования помехоустойчивых кодов, причем в ряде случаев наиболее предпочтительным оказывается обнаружение ошибок или совместное обнару-

жение и исправление ошибок. Так, при $P_{\text{проп.доп}} = 10^{-3}$ для кода Голея (23,12) предложенный подход к выбору варианта его использования для обнаружения и исправления ошибок при $p_0 = 10^{-2}$ приводит к выбору варианта 3, при $p_0 = 10^{-3}$ и $p_0 = 10^{-4}$ — к выбору варианта 2, при $p_0 = 10^{-5}$ и ниже — к выбору варианта 1. В последнем случае при хороших условиях радиосвязи, как и в системах с обратным информационным каналом, оказывается предпочтительно обнаружение, а не исправление ошибок: вследствие малой величины $P_{\text{проп}} = P_{o.o}$ условие $P_{\text{проп}} \leq P_{\text{проп.доп}}$ выполняется без исправления ошибок, а величина $P_{\text{ош}} = P_{\text{н.о}}$ является минимально возможной. Отметим, что при использовании предложенного подхода ни в одном из рассмотренных случаев не оказался предпочтительным вариант 4 с исправлением ошибок, при котором $P_{\text{проп}} = P_{o.o} = 0$, но величина $P_{\text{ош}} = P_{\text{н.о}}$ является максимальной по сравнению с остальными вариантами.

При выбранных параметрах кода дальнейшее повышение достоверности передачи команд радиоуправления возможно на основе повторения сообщений. В отсутствие обратного информационного канала канал радиоуправления с повторением сообщений остается каналом со стираниями, и принятие решения, в отличие от мажоритарного декодирования [7], осуществляется по заданному числу, а не по максимуму совпадений. Хотя количество принятых сообщений с учетом обнаруживаемых ошибок может быть различным, и к пропуску сообщения могут приводить различные сочетания обнаруживаемых и необнаруживаемых ошибок, вероятности пропуска и ошибочного приема сообщения при повторении сообщений могут быть существенно уменьшены.

В общем случае передача сообщений с повторениями характеризуется числом повторений w и числом совпадений v , по которому принимается решение о переданном сообщении. Так, при трехкратном повторении ($w = 3$) сообщений и принятии решения по двум совпадениям ($v = 2$) достоверность передачи сообщения характеризуется следующими вероятностями:

— вероятностью правильного приема

$$P_{\text{прав}} = P_{\text{п.п}}^3 + 3P_{\text{п.п}}^2(1 - P_{\text{п.п}}); \quad (5)$$

— вероятностью пропуска сообщения

$$P_{\text{проп}} = P_{o.o}^3 + 3P_{o.o}^2(1 - P_{o.o}) + 3P_{\text{н.о}}^2(1 - P_{\text{н.о}}) \frac{N-1}{N} + 6(1 - P_{o.o} - P_{\text{н.о}}) \times P_{o.o}P_{\text{н.о}} + P_{\text{н.о}}^3 \frac{3N-2}{N^2}; \quad (6)$$

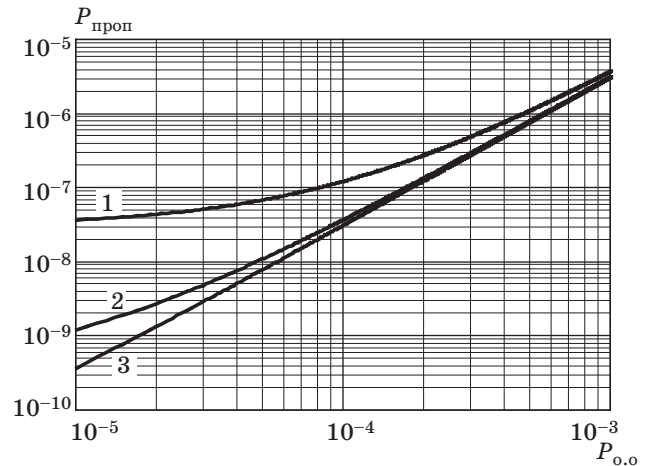
— вероятностью ошибочного приема сообщения

$$P_{\text{ош}} = P_{\text{н.о}}^3 \frac{N^2 - 3N + 2}{N^2} + 3P_{\text{н.о}}^2(1 - P_{\text{н.о}}) \frac{1}{N}. \quad (7)$$

В выражениях (5)–(7) $P_{\text{п.п}}$, $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ — соответственно вероятности правильного приема, обнаруживаемой ошибки и необнаруживаемой ошибки при однократной передаче, определяемые для выбранного помехоустойчивого кода выражениями (2)–(4); N — количество (объем ансамбля) передаваемых сообщений. Для вероятностей $P_{\text{прав}}$, $P_{\text{проп}}$ и $P_{\text{ош}}$ выполняется условие нормировки $P_{\text{прав}} + P_{\text{проп}} + P_{\text{ош}} = 1$. Зависимость вероятностей $P_{\text{проп}}$ и $P_{\text{ош}}$ от N отражает то обстоятельство, что к ошибочному приему сообщения приводят только одинаковые необнаруживаемые ошибки (искажения одних и тех же символов кода) при нескольких повторных передачах, а различные необнаруживаемые ошибки (искажения различных символов кода) при повторных передачах приводят к пропуску сообщения вследствие несовпадений.

Вероятность ошибочного приема сообщения $P_{\text{ош}}$ в соответствии с выражением (7) зависит от вероятности $P_{\text{н.о}}$ и от N и в рассмотренном случае ($w = 3, v = 2$) практически определяется величиной $P_{\text{ош}} \approx 3N^{-1}P_{\text{н.о}}^2$. С увеличением N величина $P_{\text{ош}}$ уменьшается вследствие увеличения разрядности кода и уменьшения вероятности искажения одних и тех же символов кода при нескольких повторных передачах. Вероятность пропуска сообщения $P_{\text{проп}}$ в соответствии с выражением (6) зависит от вероятностей $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ и от N . Влияние на величину $P_{\text{проп}}$ вероятностей $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ иллюстрируется приведенными на рис. 2 зависимостями $P_{\text{проп}}$ от $P_{\text{о.о}}$ при различных значениях $P_{\text{н.о}}$ и $N = 100$. Из графиков видно, что в рассмотренном случае величина $P_{\text{н.о}}$ оказывает влияние на вероятность пропуска сообщения $P_{\text{проп}}$ только тогда, когда $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ соизмеримы, а с уменьшением $P_{\text{н.о}}$ вероятность пропуска сообщения практически определяется величиной $P_{\text{проп}} \approx 3P_{\text{о.о}}$. Влияние N на величину $P_{\text{проп}}$ в рассмотренном диапазоне значений $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ оказывается несущественным.

Пусть при однократной передаче сообщений выбранный корректирующий код обеспечивает $P_{\text{о.о}} = 10^{-3}$ и $P_{\text{н.о}} = 10^{-5}$. Тогда при передаче с повторениями при $w = 3, v = 2$ и $N = 100$ даже при выбранных достаточно высоких исходных вероятностях пропуска и ошибочного приема сообщений $P_{\text{о.о}}$ и $P_{\text{н.о}}$ обеспечивается существенное повышение достоверности: $P_{\text{проп}} = 3 \cdot 10^{-6}$ и $P_{\text{ош}} = 3 \cdot 10^{-12}$. В общем случае при произвольных значениях w и v ($w > v$) и при $P_{\text{н.о}} \ll P_{\text{о.о}}$ можно полагать $P_{\text{проп}} \approx C_w^v P_{\text{о.о}}^v$ и $P_{\text{ош}} \approx C_w^v N^{-1} P_{\text{н.о}}^v$.



■ Рис. 2. Зависимости вероятности пропуска сообщения $P_{\text{проп}}$ при $w = 3$ повторениях и принятии решения по $v = 2$ совпадениям от вероятностей обнаруживаемой ошибки $P_{\text{о.о}}$ и необнаруживаемой ошибки $P_{\text{н.о}}$ при однократной передаче: 1 — $P_{\text{н.о}} = 10^{-4}$; 2 — $P_{\text{н.о}} = 10^{-5}$; 3 — $P_{\text{н.о}} = 10^{-6}$

Таким образом, учет особенностей передачи команд в системах радиуправления приводит к различным вариантам использования блочных корректирующих кодов для обнаружения и исправления ошибок. Наиболее сложным для анализа является случай отсутствия обратного информационного канала, когда необходимо достичь компромисса между риском пропуска команды и исполнением ложной команды. Для этого случая обоснован подход, при котором задается допустимое значение вероятности пропуска сообщения и выбирается код, обеспечивающий минимальное значение вероятности ошибочного приема сообщения. Показано, что в зависимости от условий радиосвязи и накладываемых ограничений данный подход приводит к различным вариантам сочетаний обнаруживающей и исправляющей способности кода, причем при хороших условиях радиосвязи, как и в системах с обратным информационным каналом, может оказаться предпочтительно обнаружение, а не исправление ошибок. При выбранных параметрах помехоустойчивого кода дальнейшее повышение достоверности передачи сообщений возможно на основе их повторения с принятием решения по заданному числу совпадений. Показаны пределы уменьшения вероятностей пропуска и ошибочного приема сообщений при произвольном числе повторений. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании систем командного радиуправления и специальных систем связи, функционирующих без обратного информационного канала.

Литература

1. Вейцель В. А. и др. Радиосистемы управления / Под ред. В. А. Вейцеля. — М.: Дрофа, 2005. — 416 с.
2. Тузов Г. И. и др. Адресные системы управления и связи. Вопросы оптимизации / Под ред. Г. И. Тузова. — М.: Радио и связь, 1993. — 384 с.
3. Директоров Н. Ф. и др. Автоматизация управления и связь в ВМФ / Под ред. Ю. М. Кононова. — СПб.: Элмор, 1998. — 288 с.
4. Молотов Е. П. Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами. — М.: Физматлит, 2004. — 256 с.
5. Тепляков И. М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. — М.: Радио и связь, 2004. — 328 с.
6. Золотарев В. В., Овечкин Г. В. Помехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы: справочник. — М.: Горячая линия—Телеком, 2004. — 126 с.
7. Вернер М. Основы кодирования: пер с нем. — М.: Техносфера, 2008. — 288 с.
8. Гаранин М. В., Журавлев В. И., Кунегин С. В. Системы и сети передачи информации. — М.: Радио и связь, 2001. — 336 с.
9. Деев В. В. Методы модуляции и кодирования в современных системах связи. — СПб.: Наука, 2007. — 268 с.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

При подготовке рукописей статей редакция просит Вас руководствоваться следующими рекомендациями.

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала в Word шрифтом Times New Roman размером 13.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание, полное название организации, аннотация (7–10 строк) и ключевые слова на русском и английском языках, подрисуночные подписи.

Формулы в текстовой строке набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), только в том случае, если средства Word не позволяют набрать формулу или символ (например, простая дробь, символы с «крышками» и т. д.), используйте имеющийся в Word формульный редактор Mathtype или Equation; формулы, стоящие в отдельной строке, могут быть набраны как угодно; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте вкладку Define; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = -.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

Иллюстрации в текст не заверстываются и предоставляются отдельными исходными файлами, поддающимися редактированию:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы изготавливаются в векторных программах: Visio 4, 5, 2002–2003 (*.vsd); Coreldraw (*.cdr); Excel; Word; AdobeIllustrator; AutoCad (*.dxf); Компас; Matlab (экспорт в формат *.ai);
— фото и растровые — в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

В редакцию предоставляются:

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, факс, эл. адрес), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40 × 55 мм;

— экспертное заключение.

Список литературы составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Более подробную информацию см. на сайте: www.i-us.ru

УДК 007.51

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ КОМПЬЮТЕРНОГО КЛАССА ОБЩЕГО ДОСТУПА

А. В. Лямин,

канд. техн. наук, доцент

А. А. Скшидлевский,

аспирант

М. С. Чежин,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики

Описана система управления работой компьютерного класса общего доступа, предназначенного для электронного контроля результатов обучения в информационно-образовательной среде системы дистанционного обучения. Система управления автоматизирует процесс распределения ограниченного количества рабочих мест класса между большим количеством пользователей, позволяет повысить эффективность использования компьютерного класса и снизить затраты, связанные с контролем регламента работы пользователей. Основные положения иллюстрируются данными, полученными при эксплуатации системы управления компьютерным классом общего доступа, построенным на основе терминальной системы.

Ключевые слова — электронный контроль, результаты обучения, компьютерный класс, общий доступ, система управления.

Введение

Переход образовательных учреждений высшего профессионального образования на использование федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения требует более тщательного подхода к формированию условий реализации основных образовательных программ, учебно-методическому и информационному обеспечению учебного процесса, что, в частности, подразумевает разработку объективных процедур оценки знаний и умений обучающихся, компетенций выпускников и создание фондов оценочных средств, позволяющих оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций.

Одним из средств оценивания учебной деятельности является электронный контроль, проводимый в компьютерной информационно-образовательной среде системы дистанционного обучения [1, 2]. При использовании компьютерной среды обеспечиваются широкие возможности для применения различных видов и форм текущего, рубежного и промежуточного контроля качества процесса и результатов обучения, форма-

лизация процесса оценивания, реализация индивидуального подхода в образовательном процессе, снижение нагрузки преподавателей, формирование у студентов мотивации к систематической работе как аудиторной, так и самостоятельной, развитие у студентов способностей к самооценке как средству саморазвития и самоконтроля.

Работа в информационной среде возможна с любого компьютера, имеющего выход в Интернет, однако для электронного контроля необходимы специализированные компьютерные классы общего доступа (ККОД) [3, 4], в которых обеспечивается аутентификация личности и гарантируется валидность результатов контроля для всех студентов образовательного учреждения, что требует разработки эффективных методов и средств организации подобных компьютерных классов и управления их работой.

Принципы и методы управления работой ККОД

Система управления классом должна обеспечивать следующие функции: формирование гра-

фика работы класса, распределение рабочих станций между пользователями, дистанционное управление рабочими станциями, контроль времени работы пользователей, контроль за действиями пользователей, формирование статистических отчетов. При организации работы такого класса необходимо учитывать, что количество потенциальных пользователей значительно превосходит количество рабочих мест. Критериями эффективности работы системы управления может служить коэффициент использования, который определяется как относительное время работы компьютеров класса:

$$r = \frac{\sum_{j=1}^n t_j}{mT}$$

или

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{mT},$$

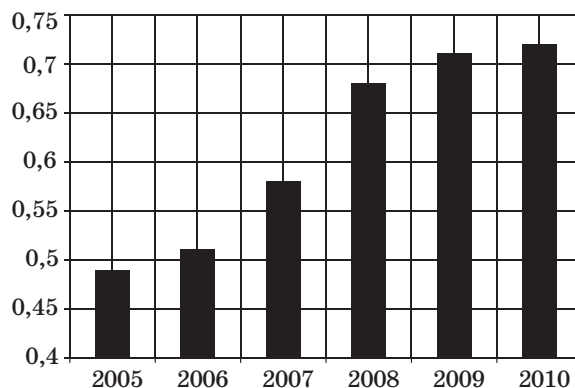
где T — время работы компьютерного класса; m — количество рабочих станций в компьютерном классе; n — количество студентов; T_i — реальное время работы i -й рабочей станции; t_j — реальное время работы j -го студента. Коэффициент использования должен определяться за некоторый интервал времени, например месяц.

Логика работы системы управления строится на следующих основных правилах:

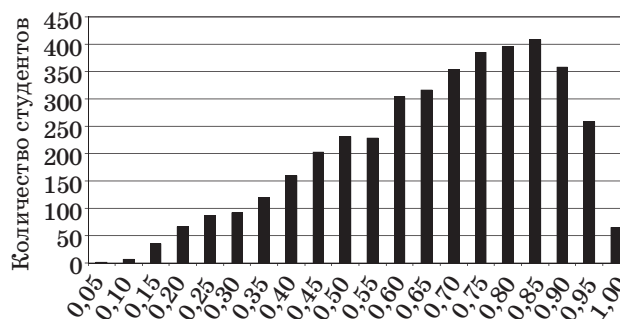
- для каждого студента по графику аттестаций устанавливается лимит времени работы в компьютерном классе L_j , в рамках которого он может подать заявку через сайт системы на удобный день и время;
- каждый студент может записаться только на определенное количество дней;
- ограничивается максимальная продолжительность непрерывной работы студента в классе;
- ограничивается максимальное количество дней, за которое можно подать заявку;
- ограничивается минимальное время до начала сеанса, за которое можно подать заявку;
- за пропущенный сеанс студент наказывается штрафом — временем, вычитаемым из лимита: $P_j = k_p(t_j^* - t_j)$ при выполнении условия $L_j \geq t_j^* + P_j$, где k_p — коэффициент штрафа; t_j^* — заявленное время работы j -го студента.

Варьируя значения параметров, заложенных в перечисленные правила, можно управлять эффективностью работы ККОД.

Опыт эксплуатации в СПбГУ ИТМО с 2005 г. системы управления работой ККОД, построенного на основе архитектуры Sun Ray Hot Desk и рассчитанного на 60 рабочих мест, позволил достичь значения коэффициента использования 0,72 при



■ Рис. 1. Изменение коэффициента использования класса



■ Рис. 2. Распределение коэффициентов использования студентами выделенного времени

следующих условиях: количество дней, на которые можно одновременно подать заявку, — 1 день; продолжительность непрерывной работы — 3 часа; количество дней, за которое можно подать заявку: максимальное — 8 дней, минимальное — 1 день; коэффициент штрафа — 2. Динамика коэффициента использования ККОД показана на рис. 1.

Коэффициент использования студентом выделенного времени для работы в компьютерном классе вычисляется по формуле

$$r_j = \frac{t_j}{t_j^*}$$

и характеризует дисциплинированность j -го студента. Например, в декабре 2010 г. в классе работали 4151 студент, распределение значений коэффициентов использования студентами выделенного времени приведено на рис. 2. Анализ представленных данных позволяет сделать вывод о том, что более 60 % студентов используют выделенное им время с эффективностью более 0,6.

Система управления работой ККОД

В разделе представлено описание системы управления работой ККОД, построенного на осно-

ве терминальной системы, достоинствами которой, как известно, являются: длительный срок эксплуатации, минимальная стоимость поддержки, централизованное администрирование, высокий уровень доступности и надежности [5, 6]. Вся работа с системой ведется через веб-интерфейс. Для начала работы с системой необходимо пройти авторизацию. Каждый пользователь имеет одну из трех ролей: «Студент», «Инструктор» или «Администратор», — для каждой из которых разработан свой интерфейс, позволяющий пользователю решать свои задачи в системе. Пользователи с ролью «Студент» используют систему для управления своим расписанием аттестаций, они могут подавать и отзываться заявки на аренду терминала в классе, а также оставлять сообщения.

Сотрудники образовательного учреждения, работающие непосредственно в компьютерном классе, имеют роль «Инструктор», которая позволяет осуществлять аутентификацию личности пришедших пользователей, контролировать их работу, управлять статусом терминалов класса. Помимо этого интерфейс «Инструктор» позволяет запрашивать в системе необходимую информацию:

- студенты без доступа — список пользователей «Студент», для которых доступ к терминалам по предварительной записи заблокирован;
- замечания студентов — список сообщений, которые могут оставлять пользователи под учетной записью «Студент»;
- посещаемость — отчет о посещаемости класса по предварительной записи для каждого пользователя или группы пользователей «Студент»;
- карточка студента — список заявок пользователя на работу в компьютерном классе.

Веб-интерфейс пользователей с ролью «Администратор» расширяет функции роли «Инструктор», добавляя новые, обеспечивающие оптимальное управление работой класса:

- редактирование лимитов — позволяет задавать лимиты времени работы за терминалом для групп пользователей «Студент»;
- редактирование графика работы — позволяет задавать режим работы класса;
- редактирование настроек системы — позволяет изменять основные параметры работы, такие как количество сеансов за день, продолжительность одного сеанса, число терминалов в классе, IP-адрес управляющего компьютера или сети и другие;
- просмотр статистики — позволяет получать отчеты о посещаемости, нагрузке на класс, сеансах пользователей, географии обращений, успеваемости.

Если не углубляться в нюансы управления и настройки системы, то взаимодействие пользо-

вателя с системой проходит по следующему алгоритму:

- пользователь «Студент», используя веб-интерфейс, арендует для себя компьютер в классе на определенные дату и время;
- система в автоматическом режиме рассматривает заявки и распределяет пользователей по терминалам;
- «Студент», придя в назначенные ему день и час в класс, отмечается у «Инструктора» и проходит за указанный терминал;
- терминал автоматически загружается, работает отведенное время и автоматически выключается;
- пользователь после окончания работы еще раз отмечается у «Инструктора».

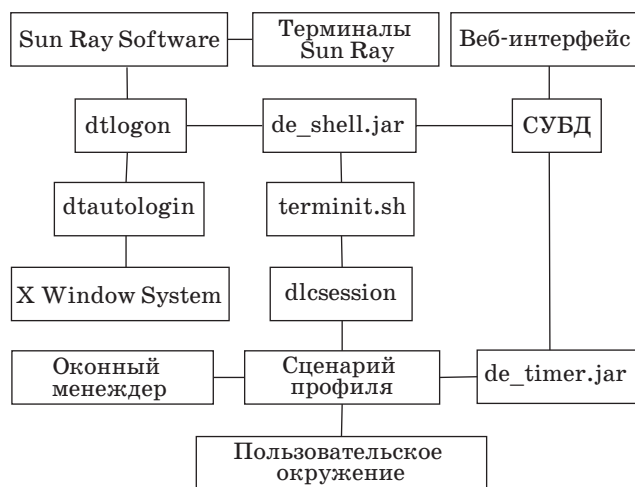
При неявке пользователя на заявленный сеанс система вычитает из его лимита времени штраф.

Система управления работой компьютерным классом включает три основные части: веб-сервер, базу данных (БД) и систему управления терминалами [7]. Схема взаимодействия узлов системы управления работой класса изображена на рис. 3, а схема взаимодействия компонентов системы управления терминалами — на рис. 4.

Система управления терминалами работает под управлением ОС Solaris или Linux и требует наличие пакетов Sun Java SE и Sun Ray Server Software. После запуска операционной системы стартует командный сценарий dtlogon, который собирает данные о номерах терминалов и их виртуальных дисплеях; записывает их в файл dtinfo.dat; циклически запускает сценарий dtautologin, используя в качестве параметра номер виртуального дисплея терминала; запускает java-приложение de_shell.jar. Сценарий dtautologin запу-



■ Рис. 3. Схема взаимодействия узлов системы



■ **Рис. 4.** Схема взаимодействия компонентов системы управления терминалами

скает X Window System на указанном виртуальном дисплее терминала и остается постоянно загруженным в памяти, что позволяет восстанавливать работу X Window System в случае ее завершения. Приложение de_shell.jar постоянно загружено и опрашивает базу данных с заданным в файле config.cfg интервалом времени, формирует список «номер терминала — учетная запись», записывает его в файл logusers.dat и запускает сценарий terminit.sh. Сценарий terminit.sh на основе данных из файлов dtinfo.dat и logusers.dat ищет на сервере сессии, которые должны быть закрыты, а потом запускает сценарий dlcsession

на тех дисплеях терминалов, которые должны быть загружены под определенной учетной записью. Сценарий dlcsession запускает сценарий профиля из загружаемой учетной записи, который в свою очередь запускает оконный менеджер, пользовательское окружение и java-приложение de_timer.jar, и работает, пока есть время, отведенное для работы с этим терминалом. Когда время, отведенное на работу с терминалом, заканчивается, de_timer.jar закрывает сессию текущего пользователя.

Заключение

Система управления ККОД автоматизирует процесс распределения ограниченного количества рабочих мест между большим количеством пользователей, позволяя пользователям самим выбирать удобное для них время работы в классе. В статье сформулированы принципы и представлены методы управления работой ККОД, указаны оптимальные параметры настройки системы управления, описан пример ее реализации на основе терминальной системы Sun Ray Hot Desk.

Основная задача класса — обеспечение электронного контроля. Эксплуатация системы в течение длительного времени показала, что она является эффективным инструментом управления терминальной системой в условиях, когда количество потенциальных пользователей значительно превосходит количество рабочих мест, и позволяет снизить затраты, связанные с контролем регламента работы пользователей.

Литература

1. Васильев В. Н., Лямин А. В., Чежин М. С. Система дистанционного обучения второго поколения // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2007. Вып. 45. С. 148–157.
2. Васильев В. Н., Лямин А. В., Чежин М. С. Средства организации самостоятельной работы студентов в сетевой информационно-образовательной среде AcademicNT // Проблемы разработки учебно-методического обеспечения перехода на двухуровневую систему в инженерном образовании: Материалы межвуз. науч.-метод. конф. / МИСиС. М., 2008. С. 224–232.
3. Васильев В. Н., Лисицына Л. С., Лямин А. В. Технология проведения ЕГЭ по информатике в компьютерной форме // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. 2007. Вып. 45. С. 126–143.
4. Васильев В. Н., Лисицына Л. С., Лямин А. В. Сетевая технология проведения вступительных испытаний по информатике в режиме on-line // Использование информационно-коммуникационных технологий в процессе оценки качества образования: Сб. науч. тр. / ЦПИ. СПб., 2008. С. 55–70.
5. Сулейманова Л. И. Автоматизация рабочих мест на базе тонкого клиента // Автоматизация процессов управления. 2009. Вып. 16. С. 48–52.
6. Сергеев Р. Тонкие клиенты на пути к массовости // Журнал сетевых решений. 2008. Т. 14. Вып. 4 (141). С. 68–72.
7. Коханенко И. К. Правила распределения моделей по узлам вычислительной сети // Информационные технологии. 2008. Вып. 138. С. 36–41.

УДК 330.101.5

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ ЛВ-МОДЕЛИ РИСКА НЕУСПЕХА КОМПЛЕКСНОЙ СТРУКТУРНО-СЛОЖНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А. Н. Бабенков,

канд. техн. наук

Е. Д. Соложенцев,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Обоснована актуальность задачи построения логико-вероятностных моделей риска неуспеха комплексных структурно-сложных экономических систем. Предложен ряд правил построения логико-вероятностных моделей риска: выделение внешних и внутренних инициирующих событий, свертывание инициирующих событий в узлах «И» и «ИЛИ», декомпозиция сложного сценария риска неуспеха и др. Приведены примеры построения логико-вероятностных моделей риска неуспеха с использованием предложенных правил, показавшие практическую возможность их выполнения и достаточно высокую эффективность.

Ключевые слова — правила, построение, модель, риск, экономика, система, события, логика, вероятность, программные средства.

Введение

Управлением риском и эффективностью на множестве объектов и систем в экономике ежедневно занимаются тысячи экономистов и менеджеров. Однако в настоящее время адекватные модели и программные средства для моделирования, анализа и управления риском для этих специалистов отсутствуют. Поэтому разработка и исследование моделей риска и эффективности в экономике является актуальной задачей [1].

Построение логико-вероятностной (ЛВ) модели риска системы осуществляют в следующей последовательности: формулируют сценарий риска, строят структурную модель риска, записывают Л-модель риска, выполняют ортогонализацию Л-модели риска и получают В-модель (полином) риска.

Логико-вероятностную модель риска можно всегда записать в виде совершенной дизъюнктивной нормальной формы, самой полной и громоздкой в записи и вычислениях. В частных случаях строят ЛВ-модели риска с ограниченным числом событий из совершенной дизъюнктивной нормальной формы, или в виде кратчайших путей функционирования, или по сценарию риска [2]. ЛВ-модель риска может быть комплексной с объ-

единением отдельных моделей риска операциями И, ИЛИ, НЕТ и циклами. Комплексные структурно-сложные экономические системы включают в себя несколько подсистем, которые могут иметь несколько общих или повторных элементов (событий) [3]. ЛВ-модель риска неуспеха строится с учетом повторных элементов с использованием алгоритмов ортогонализации Л-функций [4]. Комплексная ЛВ-модель риска может быть настолько сложной, что Л- и В-функции риска не помещаются в оперативной памяти компьютера или слагаемые в В-функции содержат большое число сомножителей (с вероятностями от 0 до 1) и оценка риска теряет точность. В этом случае следует применять декомпозицию модели и свертывать инициирующие события в узлах «И» и «ИЛИ».

Комплексная структурно-сложная экономическая система включает в себя несколько подсистем. Если подсистемы не имеют общих элементов (событий), то неуспех каждой может рассматриваться самостоятельно, а неуспех всей системы получают объединением событий для подсистем логическими операциями И, ИЛИ, НЕТ. Если подсистемы имеют несколько общих элементов (событий), то ЛВ-модель риска неуспеха строится с учетом повторных элементов.

Наибольшую практическую и теоретическую ценность представляют именно комплексные ЛВ-модели риска с повторными элементами, ибо экономические процессы взаимосвязаны и взаимозависимы. Однако методологии и технологии построения ЛВ-моделей риска с повторными элементами не существует. В разных частных сценариях для одних и тех же событий могут использоваться разные термины и понятия, и найти повторные элементы среди десятков и сотен событий не просто.

Предложен ряд правил построения комплексных ЛВ-моделей риска в экономике.

1. Построение ЛВ-модели риска неуспеха, если сценарий риска имеет логические связи только И или только ИЛИ, не вызывает каких-либо проблем, и все вычисления можно выполнить вручную или с использованием калькулятора.

2. Выделение в сценариях риска внешних, внутренних и повторных иницирующих событий.

3. Сворачивание иницирующих событий, если возникает проблема размещения Л-модели риска в оперативной памяти компьютера.

4. Выбор параметров алгоритма преобразования Л-модели риска (N_4 — максимального числа логических слагаемых и N_5 — максимального числа логических сомножителей в Л-слагаемых) путем пробных расчетов.

5. Декомпозиция сложной комплексной модели риска на ряд простых моделей, если в В-модели риска, построенной после ортогонализации Л-функции риска, слагаемые В-функции (В-полинома) имеют большое число сомножителей (например, больше 30). Так как вероятности иницирующих событий имеют значения в интервале $\{0, 1\}$, то теряется точность вычисления вероятностей производных событий.

После расчетов на каждой простой модели простые модели и результаты следует объединить логическими связями И или ИЛИ.

Рассмотрим некоторые из этих правил.

Выделение внешних иницирующих событий

Правило 1. На основе опыта разработки частных сценариев и ЛВ-моделей риска в экономике предлагается первый принцип решения этой проблемы. Этот принцип построения комплексной ЛВ-модели риска заключается в том, что для любого частного сценария риска экономического процесса рассматриваем отдельно *внешние* и *внутренние* иницирующие события. Тогда отдельные *внешние* иницирующие события могут окантоваться общими (повторными) для нескольких ЛВ-моделей риска частных сценариев риска эконо-

мических процессов. Примеры внешних иницирующих событий:

1. Компания — события экономической жизни страны и мировой экономики.
2. Цеха завода — события в управлении заводом: дирекция, плановый и финансовый отделы, отделы снабжения и сбыта, служба подготовки кадров и др.
3. Стихийные бедствия, эпидемии гриппа и др.

Свертывание иницирующих событий

Правило 2. Комплексная ЛВ-модель риска может быть настолько сложной, что логическая и вероятностные функции риска не помещаются в оперативную память компьютера. Например, в некоммерческом комплексе АСМ эти функции должны иметь не более 600 слагаемых. Такое же ограничение имеют пакеты программ «Арбитр», Risk Spectrum, Risk и Criss.

Для построения структурной, логической и вероятностной моделей риска неуспеха комплексной системы необходимы упрощения в ее задании и записи. Для этого предлагается второй принцип решения проблемы. Он заключается в свертывании (объединении) иницирующих событий в узлах «И» и «ИЛИ». Введем обозначения:

Y — событие в узле;

Y_1, Y_2, \dots, Y_k — события, влияющие на успех события в узле;

$P\{Y = 0\} = P$ — вероятность неуспеха события в узле Y ;

$P\{Y_1 = 0\} = P_1; P\{Y_2 = 0\} = P_2; \dots; P\{Y_k = 0\} = P_k$ — вероятности, с которыми влияющие события Y_1, Y_2, \dots, Y_k приводят к неуспеху события в узле Y ;

$P\{Y_1 = 1\} = 1 - P_1 = Q_1; P\{Y_2 = 1\} = 1 - P_2 = Q_2; \dots; P\{Y_k = 1\} = 1 - P_k = Q_k$ — вероятности, с которыми события Y_1, Y_2, \dots, Y_k приводят к успеху события Y .

Узел «ИЛИ». Логическая модель (Л-модель) риска неуспеха

$$Y = Y_1 \vee Y_2 \vee \dots \vee Y_k. \quad (1)$$

Вероятностная модель (В-модель) риска неуспеха

$$P\{Y = 0\} = 1 - Q_1 Q_2 \dots Q_k. \quad (2)$$

Узел «И». Логическая модель (Л-модель) риска неуспеха

$$Y = Y_1 \wedge Y_2 \wedge \dots \wedge Y_k. \quad (3)$$

Вероятностная модель (В-модель) риска неуспеха

$$P\{Y = 0\} = P_1 P_2 \dots P_k. \quad (4)$$

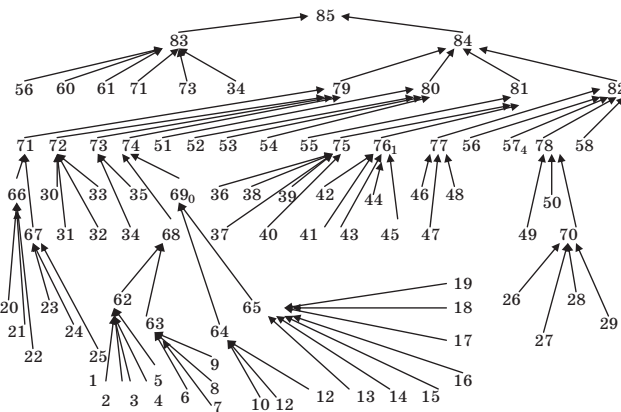
Таким образом, используя формулы (1)–(4), инициирующие события для узлов «И» и «ИЛИ» заменяем одним инициирующим событием с легко вычисляемой вероятностью. Это позволяет существенно уменьшить число инициирующих событий, строить Л- и В-функции для комплексной ЛВ-модели риска и исследовать риск неуспеха сложных экономических систем.

В свертываемые инициирующие события не включаются повторные события. Свертывание можно выполнять на программном комплексе В. В. Алексева, на некоммерческом программном комплексе А. С. Можаява [5] или даже ручными вычислениями. Задача оценки вкладов свертываемых инициирующих событий, исходя из структуры уравнений (2) и (4), не представляет каких-либо трудностей.

Исследования ЛВ-модели риска

Моделирование проводилось на программном пакете ПК АСМ 2001.1, который позволяет осуществлять структурно-логическое моделирование сложных систем. Для алгоритма расчетов задаются предварительные значения ряда параметров логической и вероятностной функций риска. Окончательные значения этих параметров выводятся на печать.

Параметр N_4 задает максимально возможное число слагаемых в Л-функции риска в процессе преобразований. Окончательное значение параметра, равное K_1 , будет меньше N_4 , но преобразования закончатся, если в процессе преобразований K_1 превысит значение N_4 . Параметр N_5 задает максимальное число логических сомножителей в слагаемом Л-функции. Окончательное значение параметра, равное K_2 , будет меньше N_5 . Возможные значения параметров N_4 и N_5 оценивают первыми прикидочными расчетами на программном комплексе.



■ Граф-модель риска неуспеха сложного события

Учет повторных элементов. Построена граф-модель риска неуспеха сложного события (рисунок). Внешние инициирующие события представлены группой из 6 событий, входящих в производное событие Y_{11} — «Влияние внешних факторов». Инициирующие события в количестве 61 события входят в группу производного события Y_{12} — «Влияние внутренних факторов». События Y_{31} , Y_{33} и Y_{47} являются общими (повторными) элементами в приведенной схеме модели риска. Эти события входят в производные события Y_{11} и Y_{12} , которые соединены логической связью И.

При переходе к табличному представлению модели риска производится замена обозначений переменных с индексами по графу (см. рисунок) для внутримашинного представления формируемой модели риска по образцу: Y_{NN} переобозначается как NN, где NN — номер события. Содержание событий сценария риска по рисунку приведено в табл. 1. Расчетные исследования выполнялись для итогового события, равного $y_{85} = y_{84} \wedge y_{83}$.

Ввод данных производится в файлы Gb.dat и Harel.dat. Сначала заполняется Gb.dat. В пер-

■ Таблица 1. Инициирующие и производные события ЛВ-модели риска неуспеха

Событие и его машинное представление	Событие и его машинное представление
Y_0 , 85 — сложное событие	Y_{41} , 66 — отсутствие постоянных клиентов
Y_{11} , 83 — внешние факторы	Y_{42} , 67 — отсутствие дополнительных услуг
Y_{12} , 84 — внутренние факторы	Y_{43} , 30 — неправильно поставлены задачи компании
Y_{21} , 59 — негативная экономическая ситуация в стране	Y_{44} , 31 — отсутствие грамотного управления
Y_{22} , 60 — разногласия между менеджерами и собственниками компании	Y_{45} , 33 — отсутствие квалифицированных подчиненных
Y_{23} , 61 — недостаточный объем данных исследования рынка	Y_{46} , 32 — высокие издержки
Y_{24} , 79 — отсутствие миссии компании	Y_{47} , 34 — падение спроса на услугу
Y_{25} , 80 — отсутствие определенной маркетинговой стратегии	Y_{48} , 35 — плохой имидж компании

■ Окончание табл. 1

Событие и его машинное представление	Событие и его машинное представление
Y ₂₆ , 81 — отсутствие выбора стратегии в целом и анализа рынка	Y ₄₉ , 68 — уменьшение чистой прибыли
Y ₂₇ , 82 — отсутствие маркетингового процесса внутри коллектива	Y ₄₁₀ , 69 — увеличение затрат
Y ₃₁ , 71 — отсутствие потенциального потребителя	Y ₄₁₁ , 36 — неверный выбор обращения к потребителю
Y ₃₂ , 72 — неправильно поставленные цели компании	Y ₄₁₂ , 37 — неверный выбор времени размещения
Y ₃₃ , 73 — падение спроса на товар	Y ₄₁₃ , 38 — непрофессионально созданный вид рекламного объявления
Y ₃₄ , 74 — снижение прибыльности	Y ₄₁₄ , 40 — непрофессионально созданный текст рекламы
Y ₃₅ , 51 — отсутствие анализа хозяйственного портфеля компании	Y ₄₁₅ , 39 — неверный выбор мест размещения
Y ₃₆ , 52 — недостаточность основных ресурсов	Y ₄₁₆ , 41 — снижение дополнительных выгод для потребителя
Y ₃₇ , 53 — выход из строя оборудования	Y ₄₁₇ , 42 — некомпетентность маркетологов
Y ₃₈ , 54 — уменьшение числа рабочих	Y ₄₁₈ , 43 — недостаточная работа с потребителями
Y ₃₉ , 55 — ошибки в ценообразовании	Y ₄₁₉ , 44 — отсутствие у потребителя четкого взгляда на продукт
Y ₃₁₀ , 75 — ошибки в продвижении продукта	Y ₄₂₀ , 45 — неверный выбор целевых рынков сбыта
Y ₃₁₁ , 76 — снижение эффективности рекламы	Y ₄₂₁ , 46 — снижение удовлетворенности основных потребностей работников
Y ₃₁₂ , 77 — повышение текучести кадров	Y ₄₂₂ , 47 — отсутствие четких критериев оценки результатов работы
Y ₃₁₃ , 56 — нехватка квалифицированных сотрудников	Y ₄₂₃ , 48 — отсутствие привязки результатов работы к заработной плате
Y ₃₁₄ , 57 — некомпетентность начальника отдела кадров	Y ₄₂₄ , 49 — недовольство сотрудников условиями труда
Y ₃₁₅ , 78 — снижение мотивации сотрудников к работе	Y ₄₂₅ , 50 — уменьшение заработной платы
Y ₃₁₆ , 58 — трудности в подборе персонала	Y ₄₂₆ , 70 — конфликты в коллективе
Y ₅₁ , 20 — устаревшая технология маркетинговых исследований	Y ₆₁ , 1 — высокие входные барьеры на рынок
Y ₅₂ , 21 — устаревшая технология проведения маркетинговой стратегии	Y ₆₂ , 2 — появление товара-заменителя
Y ₅₃ , 22 — устаревшая технология производства	Y ₆₃ , 3 — увеличение конкуренции
Y ₅₄ , 23 — устаревший вид услуг	Y ₆₄ , 4 — уменьшение известности бренда
Y ₅₅ , 24 — устаревший товар	Y ₆₅ , 5 — падение благосостояния населения
Y ₅₆ , 25 — неудовлетворенность запросов клиентов	Y ₆₆ , 6 — недостаток сходных материалов
Y ₅₇ , 62 — снижение объема выпуска продукции	Y ₆₇ , 7 — нехватка человеческих ресурсов
Y ₅₈ , 63 — падение спроса на продукцию	Y ₆₈ , 8 — ошибки в планировании
Y ₅₉ , 64 — увеличение косвенных затрат	Y ₆₉ , 9 — выход из строя основных средств
Y ₅₁₀ , 65 — увеличение прямых затрат	Y ₆₁₀ , 10 — увеличение коммунальных затрат
Y ₅₁₁ , 26 — отсутствие корпоративной культуры	Y ₆₁₁ , 11 — увеличение затрат на оплату труда
Y ₅₁₂ , 27 — отсутствие четко сформулированной системы должностных обязанностей	Y ₆₁₂ , 12 — увеличение стоимости закупки продукта поставщика
Y ₅₁₃ , 28 — отсутствие четкой системы требований к сотрудникам	Y ₆₁₃ , 13 — увеличение затрат на подбор персонала
Y ₅₁₄ , 29 — разные ценности сотрудников	Y ₆₁₄ , 14 — увеличение затрат на обучение работников
Y ₃₁ , 71; Y ₃₃ , 73 и Y ₄₇ , 34 входят как во внешние, так и во внутренние факторы	Y ₆₁₅ , 15 — увеличение затрат на управление
Y ₆₁₉ , 19 — увеличение затрат на покупку нового оборудования	Y ₆₁₆ , 16 — увеличение затрат на обслуживание производства
Y ₆₁₈ , 18 — увеличение затрат на содержание основных средств	Y ₆₁₇ , 17 — увеличение затрат на эксплуатацию основных средств

вой строке указываются общее число вершин N_1 , максимальное число заходящих дуг в одну вершину N_2 , число инициирующих вершин N_3 , максимальное число слагаемых N_4 и максимальное число сомножителей в одном слагаемом автоматически формируемой расчетной логической функции N_5 .

Далее следуют строки описания всех вершин. Номер вершины помещается в первом столбце. Признак вида вершины (инициирующие — 1 и производные — 2) — во втором столбце. Третий столбец служебный, а далее в строке следуют N_2 пар значений параметров, описывающих вершину. Далее заполняется файл Harel.dat для вероятностей инициирующих вершин.

Сворачивание инициирующих вершин. Исходная граф-модель (см. рисунок) имела $N_1 = 85$ вершин, из которых $N_3 = 61$ были инициирующими. При значении параметра $N_4 = 600$ (максимальное число слагаемых в Л-функции риска) корректного решения получить не удалось. При $N_4 < 500$ логическая и вероятностная функции строятся не полностью. Это видно из того, что преобразования оказываются незавершенными и число слагаемых для логической и вероятностных функций равно задаваемому значению $K_1 = K_2 = N_4$.

Поэтому было проведено сворачивание следующих групп инициирующих событий с целью уменьшить число инициирующих событий:

- группа Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 и Y_6, Y_7, Y_8, Y_9 сворачивалась в производное событие Y_{68} ;
- группа Y_{10}, Y_{11}, Y_{12} и $Y_{13}, Y_{14}, Y_{15}, Y_{16}, Y_{17}, Y_{18}, Y_{19}$ сворачивалась в производное событие Y_{69} .

При вероятностях названных инициирующих событий 0,02 получены при свертывании вероятности событий $P\{y_{68} = 0\} = 0,166252$ и $P\{y_{69} = 0\} = 0,182927$.

Далее было проведено построение новой, более компактной ЛВ-модели риска с исключением свернутых инициирующих событий и с использованием новых событий Y_{68} и Y_{69} , описанных уже как инициирующие, а не производные события. В качестве значений вероятности событий Y_{68} и Y_{69} использовались значения, полученные при сворачивании инициирующих событий.

Как видно из полученных результатов моделирования, сокращение размера модели сворачиванием инициирующих событий позволяет значительно уменьшить размерность Л-модели риска. Приведем основные результаты расчетных исследований.

В табличном представлении модели риска (табл. 2) инициирующие события с 1-го по 19-е свернуты в события 68 и 69. Описания инициирующих

■ Таблица 2. Табличное представление модели риска: $N_1 = 62, N_2 = 6, N_3 = 44, N_4 = 400, N_5 = 20$

y59	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020
y60	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020
y61	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,020
y68	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,166
y69	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,183
y66	2	0	20	1	21	1	22	1	0	0	0	0	0	0	
y67	2	0	23	1	24	1	25	1	0	0	0	0	0	0	
y70	2	0	26	1	27	1	28	1	29	1	0	0	0	0	
y71	2	0	66	2	67	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
y72	2	0	30	1	32	1	33	1	34	1	0	0	0	0	
y73	2	0	34	1	35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
y74	2	0	68	1	69	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
y75	2	0	36	1	37	1	38	1	39	1	40	1	0	0	
y76	2	0	41	1	42	1	43	1	44	1	45	1	0	0	
y77	2	0	46	1	47	1	48	1	0	0	0	0	0	0	
y78	2	0	49	1	50	1	70	2	0	0	0	0	0	0	
y79	2	0	71	2	72	2	73	2	74	2	0	0	0	0	
y80	2	0	51	1	52	1	53	1	54	1	0	0	0	0	
y81	2	0	55	1	75	2	76	2	0	0	0	0	0	0	
y82	2	0	77	2	56	1	57	1	78	2	58	1	0	0	
y83	2	0	59	1	60	1	61	1	71	2	73	2	0	0	
y84	2	0	79	2	80	2	81	2	82	2	0	0	0	0	
y85	2	0	83	102	84	102	0	0	0	0	0	0	0	0	

Литература

1. Соложенцев Е. Д. Управление риском и эффективностью в экономике. Логико-вероятностный подход. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. — 270 с.
2. Solojentsev E. D. Scenario Logic and Probabilistic Management of Risk in Business and Engineering. Second ed. — Springer, 2008. — 480 p.
3. Соложенцев Е. Д. И³-технологии в экономике. <http://www.dolgrach.ucoz.com> (дата обращения: 20.06.2010).
4. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. 2-е изд. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. — 276 с.
5. Mozhaev A. S. Certification of the Software for automated calculations of systems safety and technical risks «Arbiter» // Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems: Proc. of the Int. Scien. School, St. Petersburg, Sept. 4–8, 2007. St. Petersburg: SPUASE, 2007. P. 403–408.

Кордеро Либорио (научный руководитель — проф. Михайлов В. Ф.), автор кратких сообщений «Метод активной многомодовой диагностики плазмы» (Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 62–64) и «Шумовая температура антенного окна» (Информационно-управляющие системы. 2010. № 2. С. 52–54), приносит извинения за отсутствие корректного цитирования следующих публикаций: Немировский В. А. Диагностика пристеночного участка плазмы посредством многомодового зондирования электромагнитными волнами // Изв. Вузов. Радиофизика. 1978. Т. 21. № 11; Михайлов В. Ф., Победоносцев К. А., Брагин И. В. Прогнозирование эксплуатационных характеристик антенн с теплозащитой. СПб.: Судостроение, 1994.

УДК 004.05

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА И ПОТЕНЦИАЛА СИСТЕМ РЕАЛИЗАЦИИ ЦЕЛЕВЫХ ПРОГРАММ

А. С. Гейда,

канд. техн. наук, доцент

И. В. Лысенко,

доктор техн. наук, профессор

Е. П. Сила,

канд. воен. наук, доцент

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

Исследуется функционирование систем реализации целевых программ в условиях риска. Рассмотрены задачи исследования потенциала таких систем. Для их решения предложена концептуальная модель, основанная на использовании комплекса предложенных концептов и принципов. Приведено определение потенциала, предложены количественные показатели его оценивания, рассмотрены их отношения с аналогичными показателями. Раскрыты связи этих показателей с показателями качества системы и эффективности ее функционирования в условиях риска. Разработаны требования к моделям и процессу моделирования для решения задач исследования потенциала.

Ключевые слова — социально-экономическая система, потенциал, потенциал системы, задачи, эффекты, эффективность, цели, системология, риск.

Введение

Целевые программы (ЦП) представляют собой увязанный по задачам, ресурсам и срокам осуществления комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, социально-экономических, организационно-хозяйственных и других мероприятий, обеспечивающих эффективное решение системных проблем в области государственного, экономического, экологического, социального и культурного развития Российской Федерации [1]. Целевые программы реализуются социально-экономическими системами, называемыми системами реализации целевых программ (СЦП). Практика свидетельствует [2], что для исследования ЦП целесообразно использовать показатели, характеризующие степень достижения целей ЦП: показатели эффективности ЦП и показатели вводимого в статью свойства потенциала СЦП. Показатели качества и потенциала систем, эффективности и риска при функционировании этих систем должны быть формализованы таким образом, чтобы было можно их применять в качестве основы для разработки концептуальной модели задач исследования ЦП. Концептуальная модель зада-

чи включает необходимые для решения концепты и принципы, их отношения. Концептуальная модель должна давать возможность, во-первых, перейти к решению задач с использованием математических методов, а во-вторых, решать задачу с использованием средств современных информационных технологий (ИТ), например Business Intelligence, Business Performance Management.

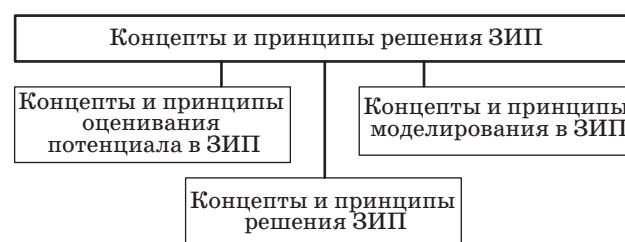
Концепция решения задач исследования качества и потенциала систем

Целевые программы характеризуются значительным разнообразием возможных элементов и случайностями их состояний, условий реализации мероприятий и как следствие — разнообразием возможных в будущем результатов. Кроме того, разнообразием характеризуется функционирование СЦП. Разнообразием и неопределенностью характеризуются и цели, достигаемые с использованием СЦП. Для успешной реализации ЦП и определения ее планов, экономии выделяемых ресурсов необходимо решать задачи прогнозирования возможных результатов в зависимости от характеристик предпринимаемых действий и ресурсов — *задачи анализа функцио-*

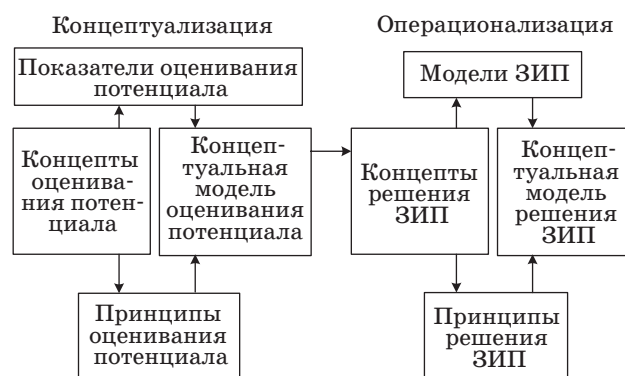
нирования СЦП. Затем, необходимо сопоставлять прогнозируемые результаты с достигаемыми СЦП целями и выбирать характеристики элементов СЦП и мероприятий ЦП, обеспечивающие наилучшие результаты функционирования СЦП — решать задачи синтеза СЦП и их функционирования по показателям потенциала СЦП в условиях риска. Задачи анализа и синтеза СЦП и ЦП по показателям потенциала в условиях риска будем называть задачами исследования потенциала систем, функционирующих в условиях риска (ЗИП). Решение ЗИП требует разработки моделей, методов и информационных технологий, позволяющих учесть разнообразие характеристик реализуемых действий и получаемых с их использованием результатов и, кроме того, позволяющих отобразить разнообразие исходных сведений в прогнозные значения результатов ЦП, а затем — в комплексные показатели потенциала СЦП в условиях риска, такие, что с использованием этих показателей возможно решать ЗИП. ЗИП рассматривались в ряде работ [1–6]. Было показано, что решение таких задач вызывает необходимость комплексного исследования качества целевых программ и систем их реализации, потенциала систем реализации целевых программ, эффективности и риска при реализации целевых программ. Научно обоснованное решение таких задач требует оценивания качества жизни людей, создаваемых ими социально-экономических и организационно-технических систем, процессов их функционирования, состояний контролируемых систем. В конечном итоге система качеств — качество систем, процессов их функционирования, продукции, труда, жизни, человека, культуры — преломляются в качество социальных и экономических систем и, как подробно раскрывается в работах [7, 8], служат основой для развития общества. В соответствии со стандартами серии ISO 9000 качество — это совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности. Особая роль качества при исследовании социально-экономического развития выражается в том, что оно ведет к преобразованию качества систем, их состояний, функционирования. Тем самым, оказывается необходимым исследовать операционный аспект качества, а именно то, как осуществляется получение требуемых результатов за счет использования систем, качество которых исследуется. Определение качества объекта в соответствии со стандартом связывается с потребностями субъектов, использующих этот объект для достижения своих целей. При решении задач социально-экономического развития используемые обществом для достижения целей объекты

представляют собой, как правило, социально-экономические и организационно-технические системы [5, 9], функционирующие для достижения целей субъектов. Авторы науки о качестве (квалиметрии) отмечают [7, 8], что операционный аспект исследования качества должен изучаться, однако еще не нашел достаточного отражения в методах определения качества. Для исследования операционного аспекта качества необходимо изучить функционирование системы для достижения тех целей, которые могут быть перед ней поставлены. Качество процесса функционирования системы традиционно связывают с его эффективностью — свойством целенаправленного процесса функционирования системы, характеризующим приспособленность функционирования к достижению заданной цели [9]. Качество системы в соответствии с определением качества объекта в стандартах ISO и процесса функционирования системы целесообразно оценивать с опорой на использование показателей комплексного свойства системы, характеризующего приспособленность этой системы к достижению возможных целей при функционировании. Это свойство далее называется потенциалом системы. Для решения ЗИП необходимо разработать концепцию. Она состоит из концептов и принципов решения ЗИП (рис. 1).

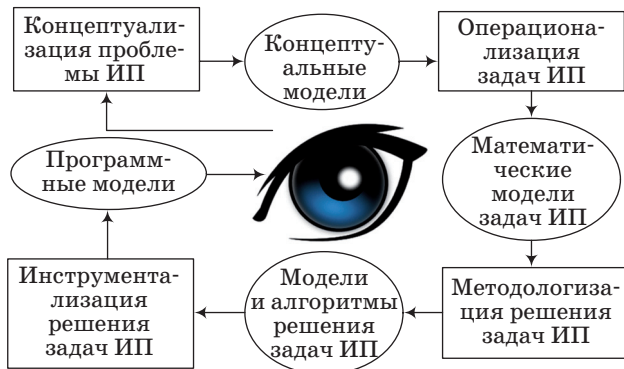
Эти концепты и принципы применяются последовательно (рис. 2), на этапах концептуализа-



■ Рис. 1. Концепты и принципы решения ЗИП



■ Рис. 2. Использование концептов и принципов решения ЗИП



■ Рис. 3. Последовательность решения задач ИП

ции и операционализации решения ЗИП, рассматриваемых в статье.

Итог их применения на первых двух этапах решения задачи — концептуальная модель. Затем разработанные концепты и принципы используются на этапах методологизации и инструментализации решения ЗИП (рис. 3).

Потенциал системы и его оценивание

Использование концептов и принципов решения ЗИП должно позволить замкнуть концептуальную схему исследования качества объектов за счет исследования операционного аспекта получения нового результата на основе существующих ресурсов с использованием понятий о качестве ресурсов, качестве результатов, понятия об эффективности функционирования для достижения заданной цели, о возможных целях, которые могут быть поставлены перед функционированием системы, о потенциале этой системы.

Качество системы проявляется через состояния системы. *Состояние системы* — совокупность значений показателей свойств системы в заданный момент времени при ее функционировании. Эти состояния могут быть как благоприятными, так и неблагоприятными, возникающими в результате проявления рисков — возможностей неблагоприятных событий. Потенциал системы и риски при ее функционировании исследуются на этапе решения задач анализа и синтеза социально-экономических систем. Научно обоснованное решение таких задач, особенно с использованием современных ИТ, требует построения концептуальных моделей таких задач [9] и их решения, увязывания в единый комплекс потенциала системы, эффективности процессов ее функционирования, состояний этой системы при функционировании, рисков при функционировании. Практика свидетельствует, что в тех областях деятельности, где решения задач формализованы, удается добиться

лучших результатов. Модели решения задач создаются для того, чтобы позволить перейти к формализованному решению задач социально-экономического развития с использованием современных технологий решения таких задач [3, 9].

С помощью концепций потенциала системы и родственного понятия эффективности ее функционирования удалось связать в единый комплекс:

- 1) возможности актуализации различных целей функционирования системы;
- 2) эффективность функционирования системы для достижения каждой из возможных целей;
- 3) состояния этой системы при функционировании;

4) возможные (как благоприятные, так и неблагоприятные) состояния системы при функционировании;

5) риски при функционировании системы. Благодаря этому осуществлен переход к концептуализации и последующему решению задач социально-экономического развития как задач анализа потенциала. Выполним *формализацию показателя потенциала системы*. Напомним, что потенциал — свойство системы, характеризующее ее приспособленность к достижению целей при функционировании. Обозначим:

G_j — j -ю цель использования заданной системы из заданного множества G возможных целей использования этой системы, $j = \overline{1, J}$;

\tilde{A}_j — событие, состоящее в актуализации цели, $G_j \in G$;

$\tilde{\cdot}$ — символ случайности события;

$p_j \stackrel{d}{=} Poss(\tilde{A}_j)$ — меру возможности актуализации цели $G_j \in G$, где « $\stackrel{d}{=}$ » — символ «равенство по определению»;

$W_j \stackrel{d}{=} Poss\left(\bigcap_{k=1}^K (\tilde{Y}_{jk} \leq / > Y_{jk}^A)\right)$ — возможность до-

стижения актуализированной цели при требованиях Y_{jk}^A к результатам достижения этой цели.

Тогда, в качестве векторного показателя потенциала системы будем использовать

$$\Psi_{\langle J \rangle} \stackrel{d}{=} \langle (p_j, W_j), j = \overline{1, J} \rangle.$$

В качестве скалярного показателя потенциала системы будем использовать функцию потенциала системы — меру возможности успешного достижения любой из целей $G_j \in G$ с учетом возможности ее актуализации. Так, например, если события, состоящие в актуализации целей, — группа несовместных событий

$$\tilde{A} \stackrel{d}{=} \{\tilde{A}_j\}_{j=1}^J : Poss\left(\bigcup_{j=1}^J \tilde{A}_j\right) = 1, Poss\left(\bigcap_{j=1}^J \tilde{A}_j\right) = 0,$$

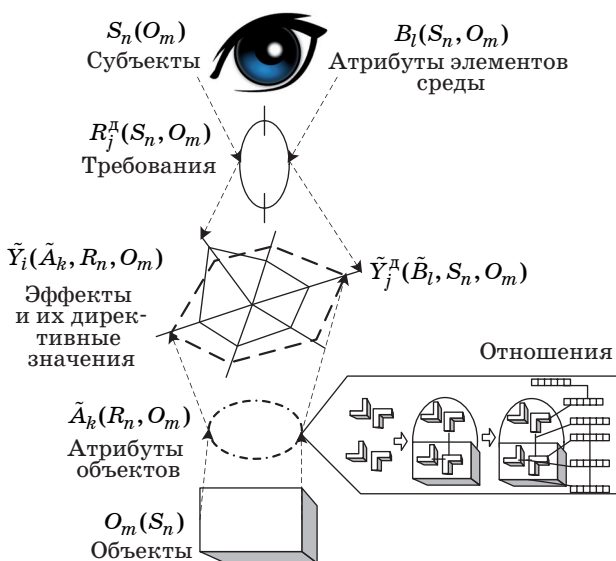
то функция потенциала примет вид вероятностной смеси показателей эффективности:

$$\Psi \triangleq \sum_{j=1}^J p_j W_j.$$

Векторы $\tilde{Y}_j = \langle \tilde{Y}_{jk}, k \in \overline{1, K} \rangle$ и требования к ним определяются на основе моделей для расчета эффектов и эффективности функционирования системы, потенциала и риска при функционировании системы, входящих в состав моделей ЗИП.

Применяемые для решения ЗИП концептуальные схемы [10] предлагается формализовать с использованием теоретико-графовых понятий, например гипер-графов и их иерархического расширения [11], аналогично тому, как это сделано, например, при разработке концептуальных графов [12]. Формализация осуществляется поэтапно. Сначала порождается часть модели, ассоциированная с элементами системы и среды, важными для решения ЗИП. Затем определяются отношения между порожденными частями, между порожденными в результате отношениями, между порожденными и новыми частями моделей — до тех пор, пока не будут получены требуемые для решения ЗИП модели, в том числе модели, приспособленные для решения ЗИП с использованием информационных технологий. Ключевым элементом в порождаемом комплексе моделей представляются модели прогнозируемых эффектов и прогнозируемых требований к эффектам.

С использованием этих моделей порождаются показатели потенциала системы. Тем самым показатели потенциала выступают основным связующим элементом комплекса моделей для решения ЗИП (рис. 4). Для предлагаемой нами новой концептуальной схемы выбрано условное наименование RASOR (Requirements, Attributes, Sub-



■ Рис. 4. Концептуальная схема RASOR оценивания потенциала с использованием моделей

jects, Objects, Relations — Требования, Характеристики, Субъекты, Объекты, Отношения).

Схематические представления частей комплекса моделей ассоциируются с иерархически гиперграфовыми моделями. Это позволяет, в частности, специфицировать и использовать разрабатываемые концептуальные модели в составе информационных систем класса Adaptive Business Intelligence (BI) и Business Performance Management (BPM) [13] для автоматизированного решения ЗИП. Спецификация концептуальных схем с использованием иерархических гиперграфов схематически проиллюстрирована для теоретико-графовой модели расчета атрибутов $\tilde{A}_k(R_n, O_m)$ объектов $O_m(S_n)$. В информационных системах оценивания потенциала при выделении какого-либо элемента RASOR-схемы могут раскрываться соответствующие этому сценарию связанные элементы схемы, формализуемые с использованием иерархических ориентированных гиперграфов. Такое раскрытие расширяет процедуры «drill-up» и «drill-down», используемые в BI и BPM, на иерархические схемы.

Существующие аналоги свойства потенциала систем

Аналогами предложенного свойства потенциала представляются понятия о национальной мощи (National Power) и потенциальных состояниях (Capabilities) [14–19] и их приложения в различных областях, в частности:

Человеческий потенциал (Human Capability) — качества людей, принципиально влияющие на потенциальные состояния людей. Предложен Нобелевским лауреатом Амартья Сенем, Великобритания. Для каждой прикладной задачи исследования человеческого потенциала вводятся частные, статистические показатели, что отмечается в качестве недостатка самим автором [15].

Национальный потенциал (National Power) — комплекс ресурсов, возможностей их преобразования в результаты и результатов. Предложен Г. Тревертоном, RAND Corp. [16]. В настоящее время используются различные статистические показатели национальной мощи. Близок показателем социально-экономического и военного потенциала, разработанным в СССР [14]. Например, используется смесь средних процентных соотношений в общемировом целом по различным показателям. Оценивается на основе статистической обработки данных. Авторы из RAND отмечают, что он не учитывает «мягкой» мощи (научной, культурной и моральной составляющих). Правительство США поставило перед корпорацией RAND задачу разработки новых методик оценивания национальной мощи [18].

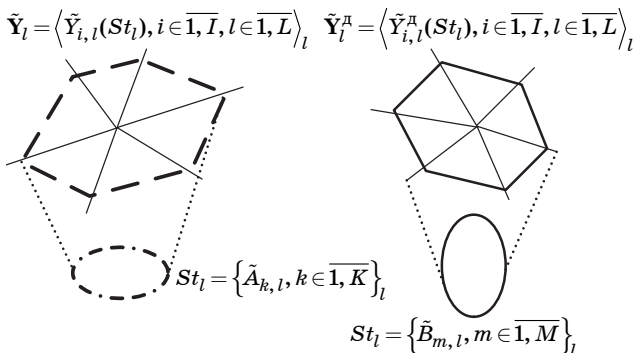
Комплексная мощь государства (КМГ) — интегральное свойство, характеризующее экономический, политический, военный, научно-технический и другие потенциалы страны. Учитывает совокупность факторов, определяющих способность страны развиваться, сопротивляться трудностям, внешнему давлению, дезинтеграционным процессам, отстаивать свою систему ценностей. Предложена Хуан Шофеном, КНР [17]. Показатель КМГ учитывает «жесткую» и «мягкую» составляющие мощи государства. Представляет собой «свертку» статистических показателей с использованием определяемых экспертами коэффициентов.

Основные принципы оценивания потенциала систем

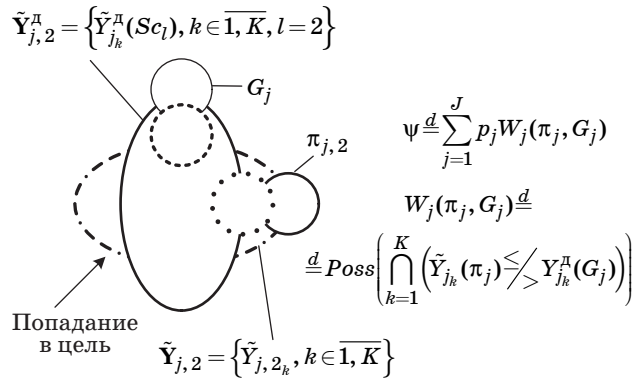
Принцип оценивания потенциальных состояний по мере их соответствию целям (рис. 5).

В левой части схемы показана подсхема, иллюстрирующая отношение между эффектами $\tilde{Y}_l = \langle \tilde{Y}_{i,l}(St_l), i \in \overline{1, I}, l \in \overline{1, L} \rangle_l$ функционирования системы [20] и характеристиками ее потенциальных состояний $St_l = \{ \tilde{A}_{k,l}, k \in \overline{1, K} \}_l$. В правой части представлена подсхема, иллюстрирующая аналогичное соответствие между директивными значениями $\tilde{Y}_l^A = \langle \tilde{Y}_{i,l}^A(St_l), i \in \overline{1, I}, l \in \overline{1, L} \rangle_l$ эффектов и параметрами состояний $St_l = \{ \tilde{B}_{m,l}, m \in \overline{1, M} \}_l$ субъектов при функционировании. Предполагается, что может быть реализован один из $l \in \overline{1, L}$ различных сценариев изменения условий функционирования. Приведенная схема формирования эффектов и их директивных значений позволяет проиллюстрировать расчет потенциала с использованием другой RASOR-схемы (рис. 6).

На рисунке овалы совмещены в единый граф, иллюстрирующий расчет соответствия потенциальных состояний целям («попадание в цель»). Окружностями отмечены различные цели и пла-



■ Рис. 5. RASOR-диаграмма потенциального состояния, эффектов, соответствующих ему, и требований к эффектам



■ Рис. 6. RASOR-схема расчета потенциала

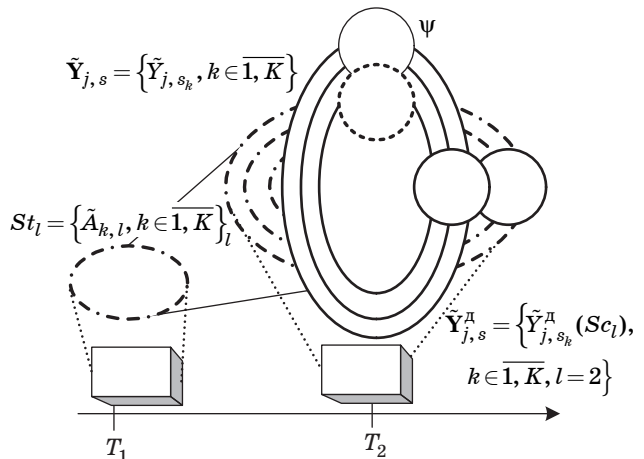
ны, каждому из которых соответствует свое «попадание в цель».

Принцип прогнозирования при оценивании потенциала (рис. 7). Актуализация целей, цели, планирование деятельности при достижении этих целей, результаты этих действий — потенциальные состояния, достижение целей рассматриваются в будущем по отношению к заданному состоянию, в котором оценивается потенциал.

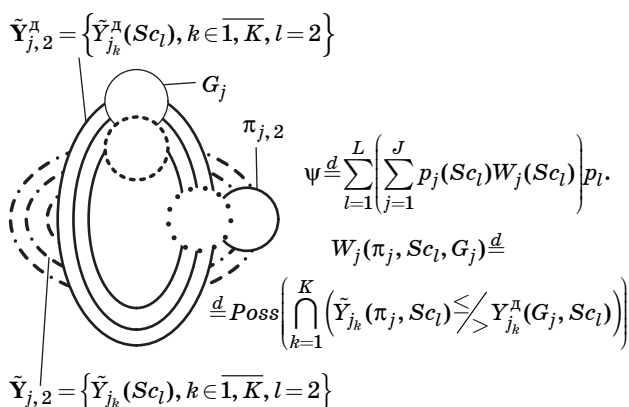
Принцип первичности состояния системы при оценивании потенциала. Система может наблюдаться через свое состояние (совокупность значений характеристик свойств) в некоторый момент времени. Свойства системы могут быть оценены на основе исследования характеристик, полученных в результате наблюдения или моделирования состояний.

Принцип учета сценариев функционирования среды (рис. 8). При решении ЗИП необходимо учитывать сценарии функционирования среды, под которыми понимаются возможные последовательности событий в ней.

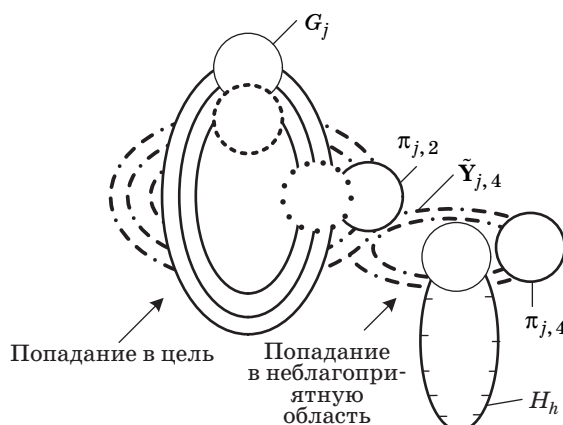
События в среде могут реализовываться любым способом. Как правило, возможные спо-



■ Рис. 7. RASOR-схема связи состояния системы в заданный момент времени и ее потенциала



■ Рис. 8. RASOR-схема учета сценариев функционирования среды



■ Рис. 9. RASOR-схема оценивания риска

события определяются рядом факторов (возможно, неизвестных субъекту). Каждому концентрическому овалу соответствуют состояния, прогнозируемые в случае того или иного сценария функционирования. В информационных системах оценивания потенциала при выделении элемента RASOR-схемы — овала — могут раскрываться соответствующие этому сценарию связанные элементы схемы. Потенциал системы характеризует такие сценарии «в среднем», а для учета того, что в результате некоторых цепочек событий эффекты могут существенно отклоняться от директивных и даже переходить в области опасных значений, необходимо использовать показатели риска.

Принцип оценивания потенциала с использованием скалярного показателя потенциала. Для решения задач анализа потенциала целесообразно использовать тот или иной скалярный показатель потенциала. Эта особенность связана с возможностью упорядочения альтернатив по соответствующему им значению скалярного показателя. В качестве скалярного показателя может выступать функционал, заданный на векторе потенциала, например функция потенциала. Вектор потенциала представляет собой вектор, элементами которого являются пары: величина показателя эффективности достижения заданной цели — мера возможности актуализации заданной цели. Функция потенциала трактуется как прогнозное значение меры возможности достижения комплекса целей с учетом возможностей актуализации этих целей.

Использование скалярного показателя потенциала дает возможность упорядочить системы по потенциалу, кроме того — схематизировать (например, с использованием RASOR-схем) ряд процессов, связанных с совместным использованием и обменом.

Принцип оценивания риска с использованием отдельного показателя (рис. 9). При оценива-

нии риска целесообразно использовать отдельный частный показатель в составе вектора потенциала. Этот показатель характеризует такие возможные действия, которые приводят к наихудшему, наиболее неблагоприятному результату. Область H_h , соответствующая наиболее неблагоприятным, по мнению экспертов, состояниям, отмечена на схеме овалом с засечками. Такие состояния могут быть достигнуты при каких-либо неблагоприятных сценариях Sc_l функционирования среды. На схеме видно, что при реализации функционирования по четвертому плану в условиях действия неблагоприятного сценария наблюдаемые результаты $\tilde{Y}_{j,4}$ могут попасть в область H_h неблагоприятных результатов. Такое событие будем условно называть «попаданием в неблагоприятную область», а его вероятность целесообразно использовать в качестве показателя риска. Состояния, в которые переходит система в результате неблагоприятных (благоприятных) событий — *неблагоприятные (благоприятные) состояния*. Риск — возможность возникновения неблагоприятных событий.

Основные принципы моделирования при исследовании потенциала систем

Для решения ЗИП должна быть разработана концепция моделирования (построения и использования моделей) при решении этих задач. Наиболее общие требования сформулированы в виде принципов моделирования в ЗИП. К ним, в частности, относятся следующие.

Принцип основанного на ИТ учета в процессе моделирования разнообразия элементов, состояний, отношений между элементами при функционировании СЦП — в процессе моделирования должно учитываться разнообразие элементов, их отношений и состояний в прошлом, настоящем и будущем.

Принцип трансформационности моделирования — модели и моделирование должны быть приспособлены к представлению своих частей в виде, удобном для реализации того или иного этапа моделирования. Так, например, на схемах модели могут представляться в графическом виде иерархические диаграммы, а для машинного оперирования графами используют другие представления.

Принцип унификации моделирования — модели должны быть приспособлены к представлению своих частей в унифицированном виде.

Заключение

Выполненные исследования позволяют перейти к разработке основных моделей СЦП и ЦП

и методов моделирования при решении задач исследования СЦП. Выбор видов моделей диктуется концепцией решения задач исследования СЦП на основе оценивания потенциала в условиях риска. Поэтому модели для исследования СЦП должны включать модели мероприятий ЦП, модели комплексов мероприятий, модели событий при реализации ЦП, модели состояний СЦП, модели отношений между элементами СЦП, модели целей. К методам моделирования должны, в частности, относиться преобразования моделей в помеченный теоретико-графовый вид, в систему рекуррентных соотношений, в вид оптимизационных задач.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ, проект 09-08-00825 а.

Литература

1. **Концепция** долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ № 1662-рМ.
2. **Гейда А. С., Лысенко И. В.** Задачи исследования потенциала социально-экономических систем // Тр. СПИИРАН. 2009. Вып. 10. СПб.: Наука, 2009. С. 63–84.
3. **Гейда А. С.** Метод сквозного использования универсальных языков моделирования в задачах стратегического аудита проектов // Новое в государственном управлении. Вып. 2. Методы и модели информационно-аналитического обеспечения системного аудита использования национальных ресурсов и управления по результатам / Под ред. А. А. Пискунова. Ростов н/Д.: ЮРИФКА, 2007. С. 98–116.
4. **Багаутдинов З. З., Гейда А. С., Лысенко И. В.** Моделирование и оценивание эффективности комплекса мероприятий на основе алгебры нечетких чисел // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. № 1. С. 12–23.
5. **Гейда А. С.** Оценивание эффектов функционирования организационно-технических систем: концепция автоматизации // Тр. СПИИРАН. 2009. Вып. 11. СПб.: Наука, 2009. С. 63–80.
6. **Гейда А. С., Лысенко И. В.** Базовые модели оценки системных рисков на примере показателей финансово-кредитной сферы // Роль ключевых национальных показателей в оценке стратегий развития. М., 2010. С. 89–108.
7. **Пригожин А. И.** Социология организаций. — М.: Наука, 1980. — 256 с.
8. **Субетто А. И.** Качество — это достоинство. Качество как символ синтетического мышления и управления развитием общества // Стандарты и качество. 1993. № 9. С. 24–30.
9. **Лысенко И. В.** Анализ и синтез сложных технических систем. Ч. 1. Анализ и синтез систем обеспечения готовности ракет-носителей и космических аппаратов к запуску (основы теории). — М.: Воениздат, 1995. — 368 с.
10. **Marshall S.** Schemas in Problem Solving. — Cambridge University, 2007. — 438 p.
11. **Minas M.** Visual specification of visual editors with Visual DiaGen // Applications of Graph Transformation with Industrial Relevance. Springer, 2004. P. 473–478.
12. **Chein M., Mugnier M.-L.** Graph-based Knowledge Representation: Computational Foundations of Conceptual Graphs. — Springer, Oct. 8, 2008. — 430 p.
13. **Michalewicz Z., Schmidt M., Michalewicz M., Chiriac C.** Adaptive Business Intelligence. — Springer, Nov. 29, 2006. — 246 p.
14. **Данилевич А., Рогозин Д., Рогозин О.** Война и мир в терминах и определениях. — М.: ПоПог, 2004. — 624 с.
15. **Kuklys W.** Amartya Sen's Capability Approach: Theoretical Insights and Empirical Applications. — Berlin: Springer, 2005. — 116 p.
16. **Treverton G.** Measuring national power. — Santa Monica, CA: RAND Corp., 2005. — 32 p.
17. **Suofeng H.** New Theory on CNP: CNP of China. — Beijing: Social Sciences Press, 1999. — 243 p.
18. **Podesta J.** The Power of Progress: How America's Progressives Can (Once Again) Save Our Economy, Our Climate, and Our Country. — N. Y.: Crown, 2008. — 256 p.
19. **Teece D. J.** Dynamic Capabilities and Strategic Management: Organizing for Innovation and Growth. — Oxford University Press, 2009. — 272 p.
20. **Иоффе А. Я., Морозов Л. М., Петухов Г. Б., Юсупов Р. М.** Актуальные проблемы теории эффективности / ВИКА им. А. Ф. Можайского. — Л., 1977. — 37 с.

УДК 338.246.2

ПРОДЮСЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ — ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕСОМ

А. Р. Орлов,¹
 коммерческий директор
 ООО «ESSE Group»

Рассмотрены проблемы ограниченности традиционного проектного управления бизнесом в условиях конкурентных рынков. Проанализированы пути повышения конкурентоспособности бизнеса. Показано, что наиболее эффективным инструментом совершенствования корпоративного менеджмента служит методика продюсерского управления.

Ключевые слова — проектное управление, конкурентоспособность бизнеса, продюсерское управление.

Начиная с конца 50-х гг. прошлого века в практику организации управления крупными коммерческими предприятиями прочно вошла техника оценки и анализа программ (проектов), называемая *Program (Project) Evaluation and Review Technique (PERT)*, которая представляет собой способ анализа задач, необходимых для выполнения проекта. Эта методика была разработана консалтинговой фирмой Boos, Allen & Hamilton совместно с корпорацией Lockheed Martin по заказу подразделения специальных проектов ВМС США в составе Министерства обороны США для проекта создания ракетной системы Polaris и предназначена для упрощения планирования на бумаге и составления графиков больших и сложных проектов [1]. Метод подразумевал наличие неопределенности, давая возможность разработать рабочий график проекта без точного знания деталей и необходимого времени для всех его составляющих.

В нашей стране работы по сетевому планированию стали появляться в 60-х гг., и эти методы нашли применение сначала в строительстве и научных разработках, а в дальнейшем — и в других областях народного хозяйства.

Система сетевого планирования и управления позволяет:

- формировать календарный план реализации некоторого комплекса работ;

¹ Научный руководитель — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронной коммерции и маркетинга Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения А. П. Ястребов.

- выявлять и использовать резервы времени, трудовые, материальные и денежные ресурсы;
- осуществлять управление комплексом работ по принципу «ведущего звена» с прогнозированием и предупреждением возможных срывов в ходе работ;
- повышать эффективность управления в целом при четком распределении ответственности между руководителями разных уровней и исполнителями работ.

Диапазон применения этой методики весьма широк: от задач, касающихся деятельности отдельных лиц, до проектов, в которых участвуют сотни организаций и десятки тысяч людей. Создаваемая в соответствии с ней сетевая модель представляет собой описание комплекса работ (операций, проекта), под которым понимается всякая задача, для выполнения которой необходимо осуществить достаточно большое количество разнообразных действий [2].

Широкое использование данной методики, получившей название «проектное управление», было поддержано со стороны разработчиков программного обеспечения, и сегодня мы располагаем большим количеством программных продуктов, позволяющих осуществлять сетевое планирование и управление, безусловным лидером среди которых по популярности является MS Project. Таким образом, в руках менеджеров находится мощный и универсальный инструмент управления, направленный на объединение разнородных ресурсов для решения конкретных задач создания новых продуктов наиболее эффективным образом. Поскольку данный инструмент создавался

и активно совершенствовался в период так называемой «индустриальной» экономики, это обстоятельство наложило отпечаток на особенности его использования. В настоящее время о проектном управлении в бизнесе говорят, в первую очередь, применительно к локальным проектам, выполняемым внутри бизнес-структур, для которых наиболее важным обстоятельством служит грамотное распределение ресурсов между решаемыми задачами и их относительно легкая заменяемость.

Переход к постиндустриальному обществу характеризуется возникновением так называемых «рыночных разрывов» — несоответствием предложений поставщиков пожеланиям и ожиданиям потребителей [3]. Положительный разрыв возникает при наличии у потребителя возможности приобрести товар или услугу с показателями, превосходящими его собственное представление о предмете покупки, а отрицательный — при отсутствии возможности получить товар или услугу хотя бы на уровне собственного представления. Отрицательный разрыв, связанный с недостаточным насыщением рынка, преодолевается традиционными способами организации производства, продвижения и продаж, тогда как для создания положительного разрыва, служащего мощным рычагом формирования у предприятия имиджа рыночного лидера, требуются нестандартные решения.

До недавнего времени создание таких положительных рыночных разрывов было прерогативой крупных фирм, проводящих долгосрочную научно-техническую политику, например Intel. В настоящее время ситуация меняется, и связано это с тем процессом, который эксперты UNCTAD (Конференция ООН по торговле и развитию) называют переходом от «детройтской» модели производства к «голливудской». В «детройтской» модели собственник основных средств организует производственный процесс и обеспечивает его легко взаимозаменяемым наемным персоналом, создающим добавленную стоимость. «Голливудская» модель в центр деятельности помещает не процесс, а продукт, стоимость которого определяется, главным образом, нематериальными активами. Для создания продукта формируется «цепочка создания ценности» или партнерская сеть, состав которой может меняться от продукта к продукту, а структура может быть неформализованной. Применительно к созданию творческих произведений роль партнеров весьма существенна, и каждый из них получает права на конечный продукт, что связано с оплатой их труда через авторские гонорары — royalties. Это естественно, поскольку каждый партнер вносит существенный вклад (иногда сопоставимый с долей владельца основных средств) в стоимость созда-

ваемого нематериального актива. Применительно к традиционному «материальному» бизнесу элементы «голливудской» модели используются при создании собственных торговых марок (private label), когда торгующая организация размещает на производственных мощностях партнера-производителя изготовление продукта по собственным техническим требованиям и под собственной маркой. В полном объеме применение «голливудской» модели предполагает построение партнерской сети (широкой кооперации разработчиков и изготовителей) и создание полноценного конкурентоспособного продукта, создающего положительный рыночный разрыв.

Управление «голливудской» моделью, получившее в творческой среде название «продюсирование», ввиду ограниченности административного ресурса представляет собой более сложную задачу. В работе [3] продюсирование определено как деятельность в целях организации таких бизнес-процессов, которые наиболее эффективно используют имеющиеся ресурсы и инфраструктуру для создания, производства и дистрибуции продукта, обладающего максимальной ценностью для потребителя. Однако такое «коллективное» предоставление ценности не должно приводить к размыванию ответственности, снятию ее с конечного поставщика, который теперь выступает продюсером — «владельцем» этого сквозного бизнес-процесса.

Рассмотрим, какое влияние данный подход к управлению оказал на основной документ, определяющий требования к системе менеджмента предприятия, — стандарт ISO 9001:2008 «Система менеджмента качества. Требования». Новые реалии нашли свое отражение в разд. 4.1, который в современной редакции звучит так: «Если организация решает передать сторонней организации выполнение какого-либо процесса, влияющего на соответствие продукции требованиям, она должна обеспечить со своей стороны управление таким процессом». Согласно более ранней редакции, требовался лишь «контроль» за передаваемыми на сторону процессами. Замена термина «контроль» на «управление» предполагает, что по каждому такому процессу должен выполняться полный цикл менеджмента качества: планирование (организация) этого процесса, мониторинг и анализ его показателей, инициирование улучшений. Еще большее внимание этому вопросу уделено в стандарте ISO 9004:2009 «Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества». Этот стандарт дополнен следующими компонентами, представляющими элемент существенной новизны:

- определение и применение во внутрифирменном менеджменте корпоративных стратегий и по-

литики с учетом концепции устойчивого развития организации;

- самообучение и инновации как главные технологические инструменты стратегического развития;
- интеграция корпоративной стратегии и процессного подхода.

Кроме того, в действующей редакции стандарта появились также дополнительные принципы менеджмента (которых теперь стало 12), предлагаемые для руководства компаниям, желающим достигнуть успеха, а именно:

- *понимание своих ключевых компетенций* (understanding core competence). Согласно этому принципу, организация должна осознавать ключевые компетенции, которыми она обладает или должна обладать, состоящие из технологий, производственных мощностей, организационных способностей и корпоративной культуры;
- *оперативность* (agility). Этот принцип предполагает, что организация должна оперативно принимать решения и действовать, отвечая на изменения окружающей обстановки, а также предвидя их.

Ввиду того, что оперативности принятия решений и реализации управляющих воздействий сейчас уделяется пристальное внимание, возросла значимость технологий «организационного развития», формирующих способность предприятия быстро и эффективно перестраивать свою деятельность, отвечая на вызовы рынка [4, 5].

В настоящее время успешность бизнеса начинает определяться разнообразием и инновационностью предложений производителя, опережением спроса и формированием его, т. е. созданием положительного рыночного разрыва, о котором говорилось выше. Создание необходимого продукта в этих условиях приближается, по сути, к созданию некоей «услуги» или «виртуального продукта». Причем подобный виртуальный продукт должен быть изготовлен и адаптирован к запросам потребителя в кратчайшее время, в любом месте и в различной форме. Для этого он должен существовать в виде легко трансформируемой модели (скорее всего, компьютерной), которая служит базой для ее подстройки под требования конкретного клиента.

По аналогии с «виртуальным продуктом» можно говорить о необходимом для его выпуска «виртуальном предприятии», представляющем собой организационную структуру, объединяющую разнородные хозяйствующие субъекты, связанные между собой договорными отношениями и единым компьютерно-интегрированным производственным процессом. Отличие от обычной системы кооперированных поставок, появившейся на заре промышленного производства, когда была

решена проблема точности обработки деталей и, следовательно, их взаимозаменяемости, заключается именно в технологической интеграции и возможности быстро и гибко видоизменить выпускаемый продукт в соответствии с требованиями рынка. Таким образом, «виртуальное предприятие» имеет вид сетевой, жестко информационно связанной организационной структуры, состоящей из неоднородных компонентов, расположенных в пространственно разнесенных местах, создаваемой путем отбора требующихся организационно-технологических ресурсов различных предприятий и их интеграции с применением компьютерной сети. Такой подход позволяет создать гибкую и динамичную организационную систему, наиболее приспособленную для скорейшего выпуска и оперативной поставки новой продукции на рынок.

«Виртуальное предприятие» создается для реализации конкретного проекта, и продолжительность его существования определяется как степенью успешности и длительностью исполнения проекта, так и перспективностью развития этого проекта. Устойчивость рассматриваемой структуры, особенно с учетом того, что границы между взаимодействующими предприятиями претерпевают определенное размытие и становятся во многом более прозрачными, зависит от стиля корпоративной культуры отдельных предприятий и степени конкурентного давления рынка. Очевидно, что подобное метапредприятие (своеобразное предприятие над предприятиями) требует организации более «продвинутой» системы управления, поскольку при ориентации на заказчика исполнение его основных требований: быстрота выполнения заказа (minimum time-to-market) и полнота удовлетворения запросов — в условиях прохождения этого заказа вдоль всей цепи соисполнителей представляет собой весьма сложную задачу.

С точки зрения управления «виртуальное предприятие» представляет собой сеть свободно взаимодействующих пространственно разнесенных агентов. Эти агенты реализуют совместный проект (или ряд взаимосвязанных проектов), находясь между собой в отношениях партнерства, кооперации, сотрудничества, координации и т. п. Поэтому теоретической основой построения системы управления «виртуальным предприятием» могут служить многоагентные системы (multi-agent system), которые хорошо зарекомендовали себя в сфере сетевых и мобильных технологий, для обеспечения автоматического и динамического баланса нагруженности, расширяемости и способности к самовосстановлению [6].

При взаимодействии агентов создаются логически связанные структуры, которые отражают динамику их развития, причем в этом случае реализуются следующие свойства [7]:

- в возникающих структурах агенты преобразуются в некое целое, которое больше, чем просто сумма составляющих;

- простые правила могут генерировать логически связанное новое явление;

- при проектировании систем на базе агентов для слабо прогнозируемых ситуаций наиболее применим подход снизу вверх, а не традиционный подход сверху вниз. Это объясняется тем, что большинство систем возникают из популярности более простых систем;

- устойчивые возникающие структуры могут стать компонентами более сложных возникающих структур и приводят к иерархии возникающих структур и их масштабируемости;

- агенты и их взаимодействующие структуры могут формировать двунаправленную связь, что обеспечивает взаимное влияние структуры на агентов;

- имеет место явление возникновения, проявляющееся в возникновении устойчивых связей с меняющимися компонентами;

- множество агентов могут быть гомогенными или гетерогенными, причем большинство систем создается на основе гетерогенности с использованием действия различных видов агентов.

В настоящее время многоагентные системы рассматриваются уже не только как принципиально новая информационная технология, сформированная на базе слияния информационных и телекоммуникационных технологий, но и как новая парадигма моделирования, в какой-то мере альтернативная объектно-ориентированному программированию.

При формировании многоагентной модели необходимо учитывать проблемы построения межличностных и межкорпоративных коммуникаций, кооперации, взаимодействия и партнерства, т. е. всего того опыта, который был накоплен поколениями продюсеров, работавших, прежде всего, в сфере кинематографа. Концепция продюсирования бизнес-процессов (организации «виртуального предприятия») предполагает обеспечение необходимого уровня кооперации и взаимопонимания предприятий-соисполнителей без непосредственного вмешательства в их внутреннюю управленческую деятельность путем использования экономических и психологических рычагов для «настройки» сквозного бизнес-процесса. При продюсировании следует различать постановку задачи на создание нового продукта, в зависимости от которой продюсирование будет прямым и обратным.

В случае *прямого* продюсирования (так называемого start-up-подхода) имеет место инициатива компании-продюсера, которая порождает бизнес-процесс за счет своих или привлеченных средств. После достижения положительного ре-

зультата прибыль может быть получена за счет доходов от текущей деятельности, продажи доли участия в бизнесе или размещения акций. Последовательность действий в этом случае соответствует традиционной схеме разработки и продвижения на рынок нового продукта:

- мониторинг тенденций в референтных группах, анализ потребительских предпочтений и товаров-конкурентов, выбор перспективного продукта;

- разработка прототипа продукта, формирование сквозного бизнес-процесса его производства, определение бюджета проекта;

- сценарная отработка бизнес-процесса, согласование технологической схемы производства и координации поставок, организация системы контроля качества;

- разработка программы продвижения продукта, выбор каналов реализации и их логистического обеспечения;

- организация конвейера продаж: внедрение системы управления взаимодействием с клиентами (*Customer Relationship Management System — CRM*), сервисного обслуживания, стимулирования продаж.

Обратное продюсирование предполагает выполнение работы под заказ. Этот подход основывается на наиболее полном изучении запросов потребителей, которым предлагается самим принять непосредственное участие в процессе создания продукта. Для того чтобы по возможности снизить издержки при таком подходе и максимально уменьшить сроки выполнения заказа, выполняется глубокая сценарная проработка бизнес-процесса с целью выявить необходимые ограничения на изготовление продукта. При получении заказа сквозной бизнес-процесс конкретизируется и рассылается предприятиям-соисполнителям для реализации. Последовательность действий в этом случае выглядит так:

- сценарная отработка бизнес-процесса, определение ограничений на принимаемые заказы, составление портфеля типовых решений;

- формирование сквозного бизнес-процесса производства заказанного продукта, определение бюджета проекта;

- согласование технологической схемы производства и координации поставок;

- осуществление контроля качества продукта, логистическое обеспечение реализации;

- организация конвейера продаж: внедрение системы CRM, сервисного обслуживания, стимулирования продаж.

Эффективность рассмотренной модели организации бизнеса зависит от степени смещения акцентов на перенасыщенном потребительском рынке от сферы индустриального производства к сфере обслуживания клиентов. Развитие бизне-

са в настоящее время направлено именно в сторону совершенствования деятельности сбытовых и сервисных подразделений. Это связано с тем, что производственная инфраструктура не может видоизменяться теми же темпами, что и информационная среда. Поэтому в ближайшее время загрузка производственных мощностей, а следовательно, доходы владельцев основных средств будут зависеть от объема привлеченных заказов на изготовление небольших партий весьма разнообразной продукции, причем, в первую очередь это относится к сфере производства товаров народного потребления и пищевой промышленности. В инфраструктурном плане это приведет к деконсолидации промышленной инфраструктуры, а именно к появлению в рамках одного предприятия значительного количества отдельных высокотехнологичных производственных участков, обслуживаемых небольшим количеством технического персонала и задействованных в выполнении проектов по кооперации (начиная от выпуска законченных изделий private label и кончая участием в комплексных проектах, о которых говорилось выше).

В заключение следует отметить те особенности развития рынка, которые могут оказаться определяющими при построении бизнес-процессов в рассмотренном выше «виртуальном предприятии» и сформировать его облик [3].

1. Резкое сокращение жизненного цикла продукта. Особенно это заметно на примере развития компьютерной техники и других электронных приборов. Учитывая тот факт, что в основе создания «виртуального предприятия» лежит нематериальный актив в виде «виртуального продукта», необходимо обращать пристальное внимание на его опережающую разработку и обновление по сравнению со среднеотраслевыми сроками.

2. Внедрение «распределенной» структуры бизнеса. При переходе к «виртуальному предприятию» организация управления бизнес-процессом видоизменяется от вертикально интегрированной структуры с жесткой иерархией к созданию большого количества динамических договорных связей между задействованными в проекте производственными предприятиями и их подразделениями. Отсутствие административных рычагов при управлении такой структурой неизбежно приводит к росту операционных рисков.

3. Возрастание роли PR-мероприятий в бизнес-процессе. Поскольку задачей «виртуального предприятия» служит создание такого «виртуального продукта», который должен привести к возникновению положительного рыночного разрыва, роль PR-мероприятий становится крайне важной. Их задачей является подготовка потенциальных потребителей к положительному

восприятию нового продукта путем формирования у них соответствующих потребностей и запросов еще до его появления на рынке.

4. Сочетание различных подходов к управлению. Продюсирование бизнес-процессов подразумевает использование достаточно широкого спектра подходов к управлению как в методической сфере, так и в сфере технической реализации. Как уже отмечалось, управление большим количеством независимых предприятий без использования административных рычагов требует от бизнес-продюсера не только опыта, но и известной доли искусства. Другой проблемой управления служит проблема полной информационной прозрачности связанных предприятий, которые должны иметь не только актуальный «виртуальный продукт», но и все дополнительные требования, относящиеся к нему при работе на конкретного заказчика. Бизнес-продюсер должен обладать текущей информацией о ходе выполнения проекта, сроках поставки, понесенных издержках и т. п., а также результатах рыночной реализации выпускаемого продукта.

Литература

1. Модер Дж., Филлипс С. Метод сетевого планирования в организации работ: пер. с англ. — М.; Л.: Энергия, 1966. — 303 с.
2. Мазур И. И., Шапиро В. Д. Управление проектами: справочник для профессионалов. — М.: Высш. шк., 2001. — 875 с.
3. Ларин Ф. Продюсирование бизнес-процессов. <http://www.md-management.ru/articles/html/article32604.html7799> (дата обращения 05.03.2011).
4. Орлов А. Р. Особенности управления коммерческой организацией в переходный период // Надежность и качество-2009: Тр. Междунар. симп., Пенза, 2010. Т. 2. С. 365–368.
5. Орлов А. Р. Организация экстремального управления бизнесом в современных рыночных условиях // Системные проблемы надежности, качества, информационно-телекоммуникационных и электронных технологий в инновационных проектах ИННОВАТИКА-2010: Материалы XV Междунар. конф., Москва, 2001. Ч. 3. С. 38–41.
6. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. — М.: Едиториал ЕРСС, 2002. — 352 с.
7. Чекинов Г. П., Чекинов С. Г. Применение технологии многоагентных систем для интеллектуальной поддержки принятия решения // Системотехника: сетевой электронный научный журнал. 2003. № 1. <http://systech.miem.edu.ru/2003/n1/Chekinov.htm> (дата обращения 27.03.2011).

УДК 519.17+515.162.8

АЛГОРИТМЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОЛИНОМА КОНВЕЯ ПО ДВУДОЛЬНОМУ ГРАФУ

С. В. Дужин,

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Санкт-Петербургское отделение Математического института им. В. А. Стеклова РАН

Предлагаются два различных алгоритма вычисления полинома Конвея для широкого класса узлов, имеющих парные диаграммы.

Ключевые слова — узел, парная диаграмма, двудольный граф, полином Конвея.

В этой работе речь пойдет о вычислении важного инварианта узлов в пространстве, а именно полинома Конвея (см., например, [1]), для широкого класса так называемых парных узлов. Узлы с малым числом перекрестков почти все оказываются парными. Например, среди 35 табличных узлов, имеющих на минимальной диаграмме не более 8 перекрестков, 34 узла являются парными, а про один узел — 8_{18} в обозначениях Рольфсена [2] — до сих пор не известно, является ли он парным. Гипотеза о существовании непарных узлов, сформулированная в 1987 г. [3], лишь недавно была доказана [4].

Полином Конвея

Узлы (замкнутые несамопересекающиеся кривые в пространстве, рассматриваемые с точностью до изотопий, т. е. непрерывных деформаций) обычно изучаются при помощи их плоских диаграмм, проекций узла на плоскость, на которых отмечено, какая ветвь проходит сверху, а какая снизу. Большой интерес для классификации узлов, которая полностью пока не получена, представляют разного рода инварианты узлов, т. е. величины (числа, многочлены и т. п.), которые не меняются при изотопиях. Один из классических инвариантов — полином Конвея — это многочлен ∇ от одной переменной z с целыми коэффициентами, который определяется по диаграмме следующими двумя правилами:

$$\nabla(\bigcirc) = 1;$$

$$\nabla(\begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array}) - \nabla(\begin{array}{c} \searrow \\ \nearrow \end{array}) = z \nabla(\begin{array}{c} \uparrow \\ \downarrow \end{array}).$$

Первое условие означает, что полином Конвея тривиального узла, т. е. узла, который можно

изотопией превратить в окружность (попросту говоря, распутать), равен 1. Второе условие требует введения на узле ориентации (направления обхода), но от конкретного выбора ориентации не зависит. Оно определяет, что значения полинома Конвея на трех диаграммах, отличающихся друг от друга лишь локально, внутри пунктирной окружности, связаны друг с другом указанным образом. Заметим, что если в левой части этого равенства фигурируют диаграммы узлов, то в правой части получится диаграмма двухкомпонентного зацепления, т. е. вложенной в трехмерное пространство пары замкнутых кривых. Поэтому полином Конвея необходимо определять сразу на совокупности всех зацеплений.

Приведем простой пример вычисления полинома Конвея согласно определению:

$$\nabla(\bigcirc \bigcirc) = \frac{1}{z} \nabla(\bigcirc \bigcirc) - \frac{1}{z} \nabla(\bigcirc \bigcirc) = 0,$$

ибо последние две диаграммы представляют собой изотопные (тривиальные) узлы. Обобщая этот пример, легко доказать, что $\nabla(L_n) = 0$ при любом $n > 1$, где L_n означает зацепление, состоящее из n незаузленных и незацепленных кривых. Этот факт пригодится нам в дальнейшем, при доказательстве теоремы 1.

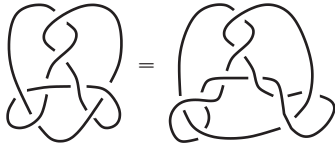
Парные диаграммы

Диаграмма узла называется парной, если ее перекрестки можно разбить на специальные пары вида

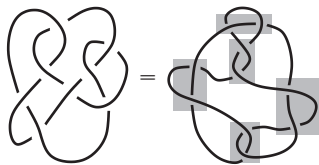


Пару, изображенную слева, будем называть отрицательной, а ту, что справа, — положительной.

Табличные диаграммы узлов редко бывают парными, но их часто удается привести к парному виду путем изотопии (непрерывной деформации в пространстве). Например, для табличного узла 8_{15} это делается очень просто:



(достаточно сделать две подкрутки в левой нижней и правой нижней частях диаграммы). Для табличного узла 8_{14} соответствующее преобразование менее тривиально:

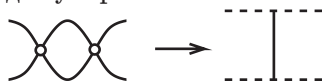


— и доказать эквивалентность этих двух диаграмм можно, например, при помощи компьютерной программы Knotscape [5]. На последней диаграмме серыми прямоугольниками отмечены специальные пары перекрестков.

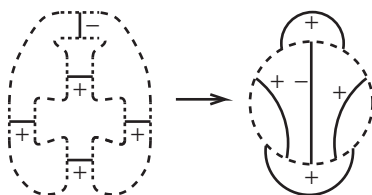
Целью настоящей статьи является формулировка и обоснование двух алгоритмов вычисления полинома Конвея для узла, заданного парной диаграммой.

Двудольный граф парного узла

Рассмотрим парную диаграмму D узла K . Заменим каждую пару перекрестков на два параллельных отрезка, направленных так же, как и соответствующие участки узла, и соединенных общим перпендикуляром:



Параллельные отрезки соединяются оставшимися фрагментами диаграммы в простую замкнутую кривую. Если расправить эту кривую в окружность, то упомянутые общие перпендикуляры перейдут в набор непересекающихся хорд, расположенных частью внутри, а частью вне окружности, например, для приведенной выше парной диаграммы узла 8_{14} мы получим

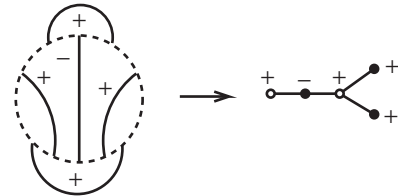


Хорды снабжены знаками, отвечающими знакам соответствующих специальных пар перекрестков.

Исходный узел легко восстанавливается по такой оснащенной диаграмме: хорды следует удвоить и в середину каждой хорды встроить специальную пару перекрестков соответствующего знака.

Значительная часть информации о хордовой диаграмме заключается в ее *графе пересечений*. Как и все графы, о которых здесь идет речь, это неориентированный граф без кратных ребер и петель. Чтобы его получить, нужно каждой хорде поставить в соответствие вершину графа, причем ребрами соединяются те и только те вершины, для которых соответствующие хорды пересекаются, если их провести в виде прямых отрезков внутри круга (выражаясь на чисто комбинаторном языке, это значит, что их концы при обходе окружности перемежаются).

Вот пример построения графа по хордовой диаграмме:



Граф пересечений является двудольным, и его вершины отмечены белым и черным цветом в соответствии с принадлежностью к определенной доле.

Заметим, что обратная операция не вполне однозначна: одному и тому же графу могут отвечать неэквивалентные хордовые диаграммы и, по-видимому, неэквивалентные узлы (явных примеров последнего у автора нет, поскольку они могут возникать только при достаточно большом количестве вершин). Замечательно, что при этом для вычисления полинома Конвея получаемого узла вполне достаточно знания только графа пересечений (со знаками).

Основные результаты

Теорема 1. Полином Конвея парного узла вычисляется по соответствующему оснащеному двудольному графу G как сумма мономов εz^n по всем подграфам графа G , которые состоят из связанных компонент с четным числом вершин, причем для каждой компоненты матрица смежности имеет ненулевой определитель по модулю 2. Здесь n — порядок подграфа, т. е. число вершин в нем, а $\varepsilon = \pm 1$ — произведение знаков всех вершин.

Доказательство: Применим основное соотношение, определяющее полином Конвея, к узлу, изображенному в виде парной диаграммы. Мы получим, что $\nabla(K)$ — это сумма 2^k слагаемых, где k — число хорд в диаграмме, причем в каждом слагаемом стоит степень переменной z со знаком « \pm », умноженным на значение ∇ на тривиальном зацеплении, состоящем из некоторого числа ком-

понент. Как мы уже замечали ранее, это значение равно 1 для узла, состоящего из одной компоненты, и 0 — для зацепления, состоящего из большего числа компонент.

Остается воспользоваться критерием связности, доказанным в статье [6].

Между прочим, двудольные графы, дающие связную кривую при удвоении хорд в соответствующей хордовой диаграмме, представляют собой довольно интересный класс графов. Их число для 2, 4, 6 и 8 вершин равно соответственно 1, 2, 6 и 24. Будет ли эта последовательность и дальше факториальной? Было бы любопытно изучить свойства таких графов и получить для них более явное описание, не требующее вычисления определителя по модулю 2.

Заметим, что при удвоении хорд в хордовой диаграмме получается всегда кривая, число компонент в которой имеет четность, противоположную четности числа вершин графа пересечений. Именно поэтому мы оставляем в результате только графы с четным числом вершин.

Например, для узла 8_{14} и графа, изображенного выше, у нас получается 4 слагаемых с двумя вершинами и со знаками «-», «-», «+», «+», что даст коэффициент 0 при z^2 , и два слагаемых степени 4, отвечающих линейным подграфам порядка 4, оба со знаком «-». Итого, полином Конвея данного узла получается $1 - 2z^4$.

Теорема 2. Полином Конвея можно вычислить по двудольному графу еще таким способом. Выбираем одну из двух долей, допустим, в ней k вер-

шин, и составляем матрицу A размера $k \times k$, в которой элемент a_{ij} равен сумме чисел ± 1 всех вершин из второй доли, смежных с вершинами i и j . Тогда полином Конвея будет равен определителю матрицы, полученной сложением единичной матрицы размера k и матрицы A , умноженной на z^2 , в которой строки, отвечающие вершинам со знаком минус, помножены на -1 .

Доказательство: Это утверждение является прямым следствием леммы 2 из статьи [7].

Любопытно, что последняя теорема может применяться двойным образом как к первой доле графа, так и ко второй. При этом матрицы будут иметь, вообще говоря, разный размер, но одинаковый определитель. Например, для нашего примера 8_{14} если выбрать долю, состоящую из двух вершин, то получится матрица порядка 2, а если выбрать другую долю, то матрица порядка 3. Определители этих матриц равны между собой и совпадают с найденным выше полиномом:

$$\begin{aligned} & \det \begin{pmatrix} 1 - z^2 & -z^2 \\ -z^2 & 1 + z^2 \end{pmatrix} = \\ & = \det \begin{pmatrix} 1 - 2z^2 & -z^2 & -z^2 \\ z^2 & 1 + z^2 & z^2 \\ z^2 & z^2 & 1 + z^2 \end{pmatrix} = 1 - 2z^4. \end{aligned}$$

Таким образом, в статье приведены и обоснованы два способа нахождения полинома Конвея для узлов, задаваемых парными диаграммами.

Литература

1. **Прасолов В., Сосинский А.** Узлы, зацепления, косы и трехмерные многообразия / МЦНМО. — М., 1997. — 352 с.
2. **Rolfsen D.** Knots and links. — Berkeley: Publish or Perish, 1976. — 439 p.
3. **Przytycka T. M., Przytycki J. H.** Signed dichromatic graphs of oriented link diagrams and matched diagrams: Preprint. — University of British Columbia, 1987. — 16 p.
4. **Дужин С. В.** Доказательство гипотезы Пшитыцкого о парных диаграммах // Докл. Российской академии наук. Сер. Математика. 2011. В печати.
5. **Hoste J., Thistlethwaite M.** Knotscape: computer program. www.math.utk.edu/~morwen/knotscape.html (дата обращения: 27.04.2011).
6. **Moran G.** Chords in a circle and linear algebra over $GF(2)$ // J. Combin. Theory. Ser. A. 1984. Vol. 37. P. 239–247.
7. **Duzhin S., Shkolnikov M.** Bipartite knots. <http://arxiv.org/abs/1105.1264> (дата обращения: 10.05.2011).

XI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ» — ПИМ-2011

26–30 сентября 2011 г.

Место проведения: Украина, Ялта

Организаторы

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины

Национальная академия наук Украины

НТУ «Харьковский политехнический институт»

Факультет компьютерных и информационных технологий НТУ «Харьковский политехнический институт»

Крымский гуманитарный университет

Белорусский государственный университет

ООО «Сосны» (Минск)

Магнитогорский государственный университет

Направления работы конференции

Информационные технологии

Вычислительные сети и системы, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Программное обеспечение

Применение математического моделирования в технике, медицине и экономике

Диагностика, контроль и надежность цифровых устройств и систем

Нейрокомпьютеры и нейронные сети

Распознавание образов и обработка изображений

Мягкие вычисления в информатике, моделировании и управлении

Телекоммуникационные системы и сети

Интеллектуальные медицинские системы поддержки принятия решений и их компоненты

Информационные системы и технологии в экономике и управлении

Перспективы и проблемы преподавания информационных дисциплин в сфере образования

Контрольные сроки

Предоставление оргкомитету готовых к печати тезисов докладов объемом 1 страница — 15.06.2011 г.

Сообщение о включении доклада в программу конференции — 30.06.2011 г.

Предоставление готовых к печати докладов объемом от 4-х до 6-ти страниц — 30.06.2011 г.

Оплата организационного взноса — 20.07.2011 г.

Последний день подачи заявки — 30.06.2011 г.

Дополнительная информация и справки

61002, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21,

НТУ «ХПИ», кафедра вычислительной техники и программирования

Сергей Леонов

Тел.: 8 – 58-38-057-911-86-51,

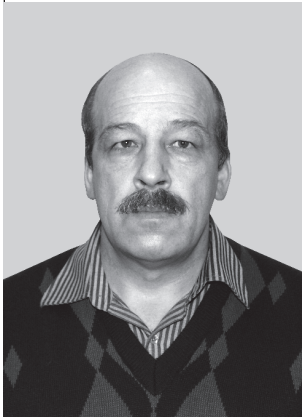
8 – 58-38-057-707-61-65

Эл. почта: serleomail@gmail.com

<http://www.kpi.kharkov.ua/?main=scplan.html>

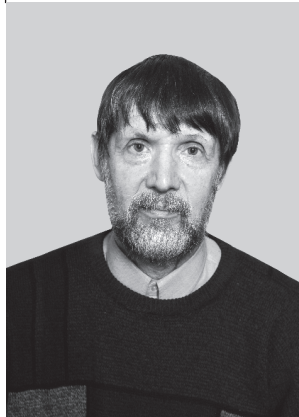
<http://www.konferencii.ru/info/id/65132>

АНДРЕЕВ
Евгений
Николаевич



Ведущий инженер кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1979 году окончил Ленинградский политехнический институт по специальности «Электромеханика». Является автором 57 научных публикаций и семи запатентованных изобретений. Область научных интересов — сверхпроводимость, нанотехнологии, электрические машины. Эл. адрес: kaf_32@aanet.ru

БАБЕНКОВ
Александр
Николаевич



Доцент кафедры бизнес-информатики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1972 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина) по специальности «Радиоэлектронные устройства». В 1985 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 12 научных публикаций. Область научных интересов — математическое моделирование технологических процессов, автоматизированное структурно-логическое моделирование рисков. Эл. адрес: babenkovan@yandex.ru

ВОЛКОВ
Владимир
Юрьевич



Профессор кафедры радиотехнических систем Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. В 1972 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 200 научных и учебно-методических работ и 20 изобретений. Область научных интересов — цифровая обработка сигналов, прием сигналов в условиях априорной неопределенности, адаптивные, инвариантные и робастные алгоритмы различения и фильтрации, негауссовы модели случайных сигналов и полей. Эл. адрес: vladimi-volkov@yandex.ru

ВОРОБЬЁВ
Станислав
Николаевич



Доцент кафедры информационно-сетевых технологий Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1962 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1971 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных публикаций. Область научных интересов — моделирование систем и процессов. Эл. адрес: vsn@k53.guap.ru

ВОЛКОВ
Дмитрий
Александрович



Ассистент кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 2006 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Электромеханика». Является автором 26 научных публикаций и одного запатентованного изобретения. Область научных интересов — сверхпроводимость, нанотехнологии, электрические машины, возобновляемая энергетика. Эл. адрес: kaf_32@aanet.ru

ГЕЙДА
Александр
Сергеевич



Доцент, старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. В 1987 году окончил Военную инженерно-космическую академию им. А. Ф. Можайского. В 1992 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 70 научных публикаций. Область научных интересов — теория эффективности, моделирование функционирования социально-экономических систем в условиях риска, автоматизация моделирования, теория потенциала систем, функционирующих в условиях риска. Эл. адрес: geida@iiias.spb.su

ДУЖИН
Сергей
Васильевич



Старший научный сотрудник Санкт-Петербургского отделения Института математики им. В. А. Стеклова РАН. В 1978 году окончил Московский государственный университет по специальности «Математика». В 1983 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Является автором 33 научных публикаций. Область научных интересов — топология, комбинаторика. Эл. адрес: duzhin@pdmi.ras.ru

ДЯТЛОВА
Ольга
Сергеевна



Инженер отдела разработки БРЭО ЗАО «Трансас Авиация». В 2006 году окончила Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы». Является автором пяти научных публикаций. Область научных интересов — методы проектирования систем технического зрения с расширенными возможностями визуализации. Эл. адрес: Olga.Dyatlova@transas.com

КАВАЛЕРОВ
Борис
Владимирович



Доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского государственного технического университета. В 1991 году окончил Пермский политехнический институт по специальности «Электропривод и автоматизация промышленных установок». В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных публикаций. Область научных интересов — математическое моделирование электроэнергетических систем, автоматизация газотурбинных электростанций. Эл. адрес: kbv@pstu.ru

КАЗАНЦЕВ
Владимир
Петрович



Профессор кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского государственного технического университета. В 1976 году окончил Пермский политехнический институт по специальности «Электропривод и автоматизация промышленных установок». В 2001 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 80 научных публикаций и 18 запатентованных изобретений. Область научных интересов — системы автоматизации технологических процессов, включая автоматизацию испытаний изделий авиационной и ракетной техники. Эл. адрес: kvppgtu@mail.ru

КИПЯТКОВА
Ирина
Сергеевна



Младший научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. В 2008 году окончила Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Роботы и робототехнические системы». Является автором 20 научных публикаций. Область научных интересов — автоматическое распознавание речи. Эл. адрес: kipyatkova@iias.spb.ru

КИРИЛЛОВ
Александр
Николаевич



Ведущий научный сотрудник Института прикладных математических исследований Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, почетный работник высшего профессионального образования РФ. В 1976 году окончил Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова по специальности «Прикладная математика». В 2009 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Является автором более 80 научных публикаций. Область научных интересов — теория управления нелинейными динамическими системами, гибридные системы и др. Эл. адрес: krllvalexandr@rambler.ru

**ЛЫСЕНКО
Игорь
Васильевич**



Профессор, заведующий лабораторией информационно-аналитических технологий в экономике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН.

В 1976 году окончил Военную инженерно-космическую академию им. А. Ф. Можайского по специальности «Энергетические и двигательные установки космических аппаратов».

В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 120 научных публикаций.

Область научных интересов — алгебра нечетких чисел, системология, моделирование систем, математическое программирование, теория эффективности. Эл. адрес: ilyas@iias.spb.su

**ЛЯМИН
Андрей
Владимирович**



Доцент кафедры компьютерных образовательных технологий, директор Центра дистанционного обучения Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.

В 1994 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики по специальности «Управление и информатика в технических системах».

В 1997 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 90 научных публикаций.

Область научных интересов — методы и средства проектирования и анализа автоматизированных систем в образовании и науке. Эл. адрес: lyamin@mail.ifmo.ru

**МАЛЬЦЕВ
Георгий
Николаевич**



Профессор, начальник кафедры космических радиотехнических систем Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского.

В 1980 году окончил Ленинградский инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского.

В 1994 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 200 научных публикаций и 26 запатентованных изобретений.

Область научных интересов — обработка сигналов в радиотехнических и оптико-электронных информационных системах и др. Эл. адрес: georgiy_maltsev@mail.ru

**ОРЛОВ
Алексей
Руфимович**



Заведующий лабораторией кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1986 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Электрооборудование летательных аппаратов».

Является автором 15 научных публикаций и четырех запатентованных изобретений.

Область научных интересов — математическое моделирование электромеханических и электроэнергетических систем и комплексов, в том числе со сверхпроводниковым оборудованием. Эл. адрес: kaf_32@aanet.ru

**ОРЛОВ
Арсений
Романович**



Коммерческий директор компании ООО «ESSE Group», аспирант кафедры электронной коммерции и маркетинга Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 2000 году окончил физико-механический факультет Санкт-Петербургского политехнического университета по специальности «Механика и деформация твердых машин», в 2007 году — экономический факультет Санкт-Петербургского государственного университета по специальности «Антикризисное управление».

Является автором пяти научных публикаций. Область научных интересов — системный анализ, проектное управление предприятиями и отраслевыми программами и др. Эл. адрес: a.orlov@pgrp.spb.ru

**ОСИПОВ
Василий
Юрьевич**



Профессор, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН.

В 1981 году окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова по специальности «Радиотехнические средства».

В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов — интеллектуальные системы, моделирование, информационная безопасность.

Эл. адрес: osipov_vasily@mail.ru

САЛАНГИН
Алексей
Александрович



Доцент кафедры физики Псковского государственного политехнического института. В 1975 году окончил Горьковский государственный университет им. Н. И. Лобачевского по специальности «Физика». В 1983 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 40 научных и учебно-методических публикаций. Область научных интересов — математические методы моделирования проектируемых технических систем.
Эл. адрес: alsalan@yandex.ru

СКШИДЛЕВСКИЙ
Антон
Алексеевич



Аспирант кафедры компьютерных образовательных технологий, программист центра дистанционного обучения Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. В 2008 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики по специальности «Информационные системы и технологии». Является автором семи научных публикаций. Область научных интересов — информационные системы, автоматизация, моделирование.
Эл. адрес: anton@cde.ifmo.ru

СОЛОЖЕНЦЕВ
Евгений
Дмитриевич



Заведующий лабораторией интегрированных интеллектуальных систем автоматизированного проектирования Института проблем машиноведения РАН. В 1960 году окончил Харьковский политехнический институт. В 1983 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором около 200 научных публикаций, в том числе восьми монографий. Область научных интересов — моделирование, анализ и управление риском на стадиях проектирования, испытаний и эксплуатации банковских, организационных, экономических и технических систем.
Эл. адрес: karsol@sapr.ipme.ru

СИЛЛА
Евгений
Петрович



Доцент, старший научный сотрудник лаборатории информационно-аналитических технологий в экономике Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН. В 1976 году окончил Пермское высшее военное командное училище по специальности «Инженер-электрик». В 1989 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата военных наук. Является автором более 50 научных публикаций. Область научных интересов — теория принятия решений, моделирование функционирования социально-экономических систем в условиях неопределенности и риска, автоматизация процесса принятия управленческих решений в сложных организационно-технических системах.
Эл. адрес: silla@oogis.ru

СОЛОВЬЕВ
Николай
Владимирович



Доцент кафедры вычислительных систем и сетей Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, почетный работник высшего профессионального образования РФ. В 1979 году окончил Ленинградский политехнический институт по специальности «Автоматизация и комплексная механизация машиностроения». В 2004 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 40 научных публикаций и четырех запатентованных изобретений. Область научных интересов — распознавание образов, компьютерная обработка и анализ изображений, техническое зрение роботов.
Эл. адрес: famsol@yandex.ru

ТИМОФЕЕВ
Сергей
Сергеевич



Старший преподаватель кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 2004 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Электромеханика». Является автором 28 научных публикаций и двух запатентованных изобретений. Область научных интересов — электромеханика, сверхпроводимость, нанотехнологии, электрические машины.
Эл. адрес: kaf_32@aanet.ru

ТУРНЕЦКИЙ
Леонид
Сергеевич



Начальник отдела проектирования перспективных радиоэлектронных систем ОАО «НПП «Радар ммс». Заслуженный изобретатель РФ.

В 1970 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения.

В 1984 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 460 научных работ, в том числе двух монографий и 100 изобретений. Область научных интересов — комплексные радиоэлектронные информационно-управляющие системы навигационных комплексов летательных аппаратов, статистическая радиотехника и радиолокация.

Эл. адрес: tournetsky@radar-mms.com.

ТУРУБАНОВ
Михаил
Александрович



Аспирант кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

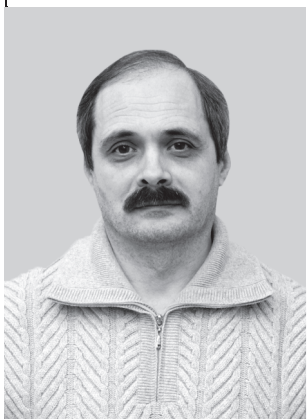
В 2010 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Роботы и робототехнические системы».

Является автором восьми научных публикаций и двух запатентованных изобретений.

Область научных интересов — сверхпроводимость, нанотехнологии, оптимизация процессов, силовая электроника.

Эл. адрес: kaf_32@aanet.ru

ЧЕЖИН
Михаил
Сергеевич



Доцент кафедры систем управления и информатики, заместитель директора Центра дистанционного обучения Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. В 1982 году окончил Ленинградский институт точной механики и оптики по специальности «Автоматика и телемеханика».

В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных публикаций.

Область научных интересов — системы автоматического управления, автоматизированные системы в образовании.

Эл. адрес: msch@cde.ifmo.ru

ЧЕРНЯВСКИЙ
Евгений
Валерьевич



Начальник отделения Научно-исследовательского института точных приборов.

В 1989 году окончил Ленинградский военный инженерный институт им. А. Ф. Можайского по специальности «Радиотехнические системы комплексов».

Является автором десяти научных публикаций.

Область научных интересов — космические радиотехнические комплексы управления сбора и передачи информации.

Эл. адрес: cherny67@yandex.ru

ЧУБРАЕВА
Лидия
Игоревна



Профессор, заведующая кафедрой информационных технологий в электромеханике и робототехнике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, член-корреспондент РАН, академик Академии электротехнических наук РФ.

В 1970 году окончила Ленинградский институт авиационного приборостроения.

В 1992 году защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 180 научных публикаций, четырех монографий, 15 изобретений.

Область научных интересов — электромеханика, нетрадиционная электромеханика, прикладная сверхпроводимость.

Эл. адрес: kaf_32@aanet.ru

ШИФРИС
Геннадий
Владимирович



Ведущий специалист департамента банковских технологий ЗАО «Специализированные корпоративные решения».

В 2007 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети».

Является автором четырех научных публикаций.

Область научных интересов — цифровая обработка изображений, системы видеонаблюдения.

Эл. адрес: GShifris@gmail.com

ШИШЛАКОВ
Владислав
Федорович



Профессор кафедры информационных технологий в электромеханике и робототехнике Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1982 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 2002 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 100 научных и учебно-методических публикаций, в том числе трех монографий. Область научных интересов — синтез нелинейных систем автоматического управления с различными видами модуляции сигнала.
Эл. адрес: kaf_32@aanet.ru

ШМИДТ
Игорь
Альбертович



Доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского государственного технического университета. В 1980 году окончил Пермский государственный университет по специальности «Физика». В 1991 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 40 научных публикаций. Область научных интересов — системное программирование, распределенные информационные системы, сервис-ориентированная архитектура.
Эл. адрес: shmidt@msa.pstu.ac.ru

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи.

Процедуры согласования текста статьи могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (80x@mail.ru).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию, при необходимости доработать статью — рецензию. Рукописи не возвращаются.

Редакция журнала напоминает, что ответственность за достоверность и точность рекламных материалов несут рекламодатели.

УДК 004.932.4

Применение предварительного масштабирования при сжатии видеопотока в реальном времени

Соловьев Н. В., Шифрис Г. В. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 2–8.

Анализируется возможность применения предварительного масштабирования кадров видеопотока, сжимаемых по алгоритму JPEG, для улучшения качества восстановленного изображения. Определяется количественная зависимость качества изображения от соотношения степени сжатия алгоритмом JPEG и коэффициента масштабирования. Оценивается симметричность метода при работе в режиме реального времени.

Ключевые слова — видеопоток, сжатие в реальном времени, алгоритм JPEG.

Список лит.: 10 назв.

УДК 681.51

Двухэтапная оценка показателя функционирования проектируемых систем с пересчетом результатов испытаний

Салангин А. А. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 9–12.

Приводится один из подходов к оценке показателя функционирования проектируемых систем в условиях изменения их применения — метод значимой информативной выборки. Осуществлено обобщение метода для произвольной функции распределения и доказана эффективность его применения для понижения дисперсии оценки показателя функционирования.

Ключевые слова — метод значимой информативной выборки, оценка дисперсии, показатель функционирования.

Список лит.: 4 назв.

УДК 621.397:621.396.96

Выделение прямолинейных кромок на зашумленных изображениях

Волков В. Ю., Турецкий Л. С., Онешко А. В. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 13–17.

Предложен новый метод обнаружения и выделения признаков для описания объектов на изображении с использованием кромок. Он полезен для сравнения различных изображений, описания и распознавания категорий объектов, автоматического выделения строений и нахождения общих областей при сравнении изображений. Метод включает ориентированную фильтрацию и поиск прямолинейных сегментов для каждого направления и масштаба кромки с учетом знака градиента. Прямолинейные сегменты упорядочиваются в соответствии с их ориентацией и средним значением градиента в рассматриваемой области. Они используются для построения иерархической системы дескрипторов объектов. Проведен сравнительный анализ эффективности для зашумленной модели и для реальных аэро- и спутниковых изображений.

Ключевые слова — фильтрация, сегментация, выделение объектов.

Список лит.: 4 назв.

УДК 004.932.4

Using Pre-Scaling for Video Compression in Real Time

Solovyev N. V., Shifris G. V. IUS, 2011. N 4. P. 2–8.

We analyze the possibility of using pre-scaling for video frames compressed with the JPEG algorithm to improve the quality of reconstructed images. The dependence of the image quality on the compression ratio of the JPEG algorithm and on the scaling factor is determined. The symmetry of the method in real time is estimated as well.

Keywords — Video, Compression in Real Time.

Refs: 10 titles.

УДК 681.51

Two-Phase Estimation of the Functioning Index of Designed Systems with Recalculation of the Tests Result

Salangin A. A. IUS, 2011. N 4. P. 9–12.

A method of the meaningful information excerption as one of the approaches to the evaluation of the performance index of developing systems under changing operating conditions is given. Generalization of the method for arbitrary distribution function has been performed, and the efficiency of its application for lowering the dispersion of the evaluation of the performance index has been proved.

Keywords — Method of Meaningful Information Excerption, Dispersion Evaluation, Performance Index.

Refs: 4 titles.

УДК 621.397:621.396.96

Straight Line Edge Extraction in Noisy Images

Volkov V. Yu., Tournetsky L. S., Oneshko A. V. IUS, 2011. N 4. P. 13–17.

An advanced edge-based method of feature detection and extraction is developed for object description in digital images. It is useful for comparison of different images of the same scene in an imagery, for description and recognition of categories, for automatic buildings extraction, and for localization of mutual regions in image matching. The method includes directional filtering and search for straight edge segments in every direction and scale, taking into account the edge gradient signs. The line segments are ordered in relation to their orientation and average slopes in the processed region. These segments are used to build an object descriptor. A hierarchical set of feature descriptors is developed, taking into consideration the proposed straight line segment detector. Comparative performance is evaluated on the noisy model and in a real aerial and satellite imagery.

Keywords — Filtering, Segmentation, Objects Extraction.

Refs: 4 titles.

УДК 519.2

Потенциальная эффективность обнаружения импульсных сигналов при неравномерной дискретизации во времени

Воробьев С. Н. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 18–23.

Рассматривается неравномерная дискретизация сигнала оптимальной формы смещением одного из отсчетов в окрестности точки, в которой минимальное собственное значение корреляционной матрицы шума равно нулю. Показано, что при проверке простых гипотез на выходе дискретного согласованного фильтра этим смещением достигается сколь угодно большое отношение сигнал/шум при конечных энергии сигнала и мощности шума. Обсуждаются некоторые аспекты плохой обусловленности задачи и априорной неопределенности.

Ключевые слова — обнаружение, собственное значение, отношение сигнал/шум.

Список лит.: 6 назв.

УДК 629.7.066.3

К вопросу информационного обеспечения экипажа воздушного судна

Дятлова О. С. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 24–29.

Приводится описание разрабатываемых систем информационного обеспечения экипажа, в частности наиболее перспективные системы технического видения с расширенными возможностями визуализации. Формулируются первоочередные задачи, возникающие при их разработке, а именно задача контроля работы алгоритма наведения воздушного судна в целевую точку и задача повышения достоверности изображения, формируемого на коллиматорном индикаторе, путем комплексной обработки видеоизображения и цифровой модели рельефа. Предлагаются методы их решения.

Ключевые слова — система технического видения, директорная информация, подстилающая поверхность, видеоизображение, цифровая модель рельефа.

Список лит.: 8 назв.

УДК 004.8

Нейронная сеть с прошедшим, настоящим и будущим временем

Осипов В. Ю. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 30–33.

Предложен подход к наделению нейронной сети возможностью оперировать прошедшим, настоящим и будущим временем. Показано, что управление внутренним временем сети позволяет также улучшить распознавание сигналов. Разработана архитектура такой сети. Приведены результаты математического моделирования.

Ключевые слова — нейронная сеть, структура, управление временем, сигналы, интеллектуальная обработка.

Список лит.: 6 назв.

УДК 519.2

Potential Efficiency of Impulse Signals Detection with Non-Uniform Time Quantization

Vorobiev S. N. IUS, 2011. N 4. P. 18–23.

Non-uniform time quantization of the optimal form signal by displacing one of the references to the neighborhood of the point where the minimal eigenvalue of the correlation matrix is equal to zero is discussed. While testing simple hypotheses, it has been shown that the SNR for signals of finite energy and power, obtained at the output of the discrete matched filter using this displacement, can reach the most possible value. Some aspects of bad task conditionality and a priori uncertainty are considered.

Keywords — Time Quantization, Eigenvalue, SNR.

Refs: 6 titles.

УДК 629.7.066.3

On the Issue of the Aircraft Crew Information Provision

Diatlova O. S. IUS, 2011. N 4. P. 24–29.

A description of information provision systems, now under development, including Enhanced Flight Vision Systems, is presented. The paper enunciates the first-priority development problems and offers solution procedures; these are the testing of the aircraft guidance algorithm problem and the head-up-display image credibility enhancement problem (using complementary treatment of the sensor image and the database of the terrain).

Keywords — Synthetic Vision System, Guidance Symbols, Terrain, Sensor Image, Terrain Database.

Refs: 8 titles.

УДК 004.8

The Neural Network with Past, Present and Future Time

Osipov V. Yu. IUS, 2011. N 4. P. 30–33.

An approach to empowering the neural network ability to handle the past, present and future time is described. It is shown that the management of internal time of the network also allows for improved detection of signals. The architecture of the network is developed. The results of mathematical modeling are presented.

Keywords — Neural Network, Architecture, Time, Management, Signals, Intelligent Processing.

Refs: 6 titles.

УДК 621.311.001.57:681.51

Компьютерные и полунатурные испытания средств управления энергетических газотурбинных установок

Кавалеров Б. В., Казанцев В. П., Шмидт И. А. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 34–41.

Описывается методика компьютерных и полунатурных испытаний на основе моделирования электроэнергетической системы. Перечислены и кратко описаны основные алгоритмические модули, обеспечивающие комплексные испытания и настройку средств управления газотурбинных агрегатов электростанций малой мощности.

Ключевые слова — моделирование, испытания, электроэнергетическая система, газотурбинная установка.

Список лит.: 10 назв.

УДК 517.977

Моделирование динамики структур гибридных систем

Кириллов А. Н. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 42–46.

Предлагается структурный подход к исследованию динамики гибридных систем. Вводятся понятия структурных движений и орбит, соответствующих различному объему информации о начальном состоянии системы. Рассмотрены геометрические методы описания динамики структур.

Ключевые слова — гибридная система, структурное движение, структурная орбита, динамическая система.

Список лит.: 15 назв.

УДК 621.313.32

Физическое моделирование процессов в ВТСП-проводах и изделиях

Андреев Е. Н., Волков Д. А., Орлов А. Р., Тимофеев С. С., Турубанов М. А., Чубраева Л. И., Шишляков В. Ф. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 47–52.

Рассмотрены вопросы, связанные с поведением высокотемпературных сверхпроводников ленточного типа при питании постоянным и переменным током. Выполнено физическое моделирование различных типов электрических соединений высокотемпературной сверхпроводниковой ленты и определены наиболее перспективные варианты для изготовления высокотемпературных сверхпроводниковых устройств. Проведена серия физических экспериментов из соленоидальных высокотемпературных сверхпроводниковых катушек. Получены принципиально новые данные, которые могут быть использованы при изготовлении высокотемпературных сверхпроводниковых электрических машин, трансформаторов, ограничителей тока, накопителей энергии.

Ключевые слова — высокотемпературный сверхпроводник, критические параметры, электрические соединения, соленоиды.

Список лит.: 3 назв.

УДК 621.311.001.57:681.51

Simulator and Semi-Nature Testing of Gas-Turbine Power Units Control Systems

Kavalerov B. V., Kazantsev V. P., Shmidt I. A. IUS, 2011. N 4. P. 34–41.

In this paper, a method of simulating and semi-nature testing on the basis of power system simulating is described. The paper contains a brief overview of the principal modules of the algorithm that provides for complex testing and control system settings of gas-turbine mini power plants.

Keywords — Simulation, Testing, Power System, Gas-Turbine Unit.

Refs: 10 titles.

УДК 517.977

Modeling of Hybrid Systems Structure Dynamics

Kirillov A. N. IUS, 2011. N 4. P. 42–46.

A structural approach to hybrid systems dynamics research is proposed. The notions of structural movements and orbits that correspond to different information volume of the system initial state are introduced. Geometric methods of structure dynamics are considered.

Keywords — Hybrid System, Structural Movement, Structural Orbit, Dynamic System.

Refs: 15 titles.

УДК 621.313.32

Physical Simulation of the Processes in HTSC Wires and Devices

Andreev E. N., Volkov D. A., Orlov A. R., Timofeyev S. S., Turubanov M. A., Chubraeva L. I., Shyshlakov V. F. IUS, 2011. N 4. P. 47–52.

The problems related to the performance of the tape-type high temperature superconductors (HTSC) with AC/DC supply are discussed. Physical simulation of different types of HTSC wire electrical joints have been performed, and the most promising variants of joints for HTSC devices development are specified. The series of physical experiments in solenoidal coils have been carried out. As a result, the principally new data which can be used for the development of the HTSC electrical machines, transformers, current limiters and energy storages, have been obtained.

Keywords — High Temperature Superconductor, Critical Parameters, Electrical Joints, Solenoids.

Refs: 3 titles.

УДК 004.522

Комплекс программных средств обработки и распознавания разговорной русской речи

Кипяткова И. С. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 53–59.

Представлен программный комплекс для обработки и распознавания разговорной русской речи. В него входят блоки обучения моделей акустических единиц речи, предварительной обработки текстового материала, создания транскрипций слов, выбора лучших транскрипций, создания n -граммной модели русского языка, автоматического распознавания речи. Дается детальное описание программных модулей, входящих в каждый из этих блоков.

Ключевые слова — распознавание, русская речь, обучение, системы распознавания речи, n -граммная модель языка, автоматическое фонематическое транскрибирование.

Список лит.: 18 назв.

УДК 621.391

Кодирование сообщений в системах радиоуправления без обратного информационного канала

Мальцев Г. Н., Чернявский Е. В. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 60–65.

Рассмотрены особенности применения блочных помехоустойчивых кодов в системах командного радиоуправления без обратного информационного канала. Характер процесса управления требует осуществлять выбор кода исходя из компромисса между вероятностями пропуска и ошибочного приема сообщения при однократной передаче. Показано, что в зависимости от характеристик радиоканала и требований к достоверности передачи сообщений возможны различные варианты использования кодов с обнаружением и исправлением ошибок. Оценивается выигрыш при переходе от однократной передачи к повторению сообщений с принятием решения по заданному числу совпадений.

Ключевые слова — система радиоуправления, помехоустойчивое кодирование, обнаружение и исправление ошибок, достоверность передачи сообщений.

Список лит.: 9 назв.

УДК 004.522

A Software Complex for Conversational Russian Speech Processing and Recognition

Kipyatkova I. S. IUS, 2011. N 4. P. 53–59.

In the paper, a software complex for processing and recognition of conversational Russian speech is presented. The complex includes the following blocks: training of models of speech units, preliminary processing of text material, creation of word transcriptions, selection of the best transcriptions, creation of n -gram model of the Russian language, speech recognition. A detailed description of software modules that are included in each of these blocks is given in the paper.

Keywords — Russian Speech Recognition, Speech Recognition Systems Training, N -Gram Language Model, Automatic Phonemic Transcribing.

Refs: 18 titles.

УДК 621.391

Coding of Messages in Radio Control Systems without Reverse Information Channel

Maltsev G. N., Chernyavskiy E. V. IUS, 2011. N 4. P. 60–65.

The features of block error-correcting codes application in the command radio control systems without a reverse information channel are discussed. The nature of the control process requires to make code choices based on the compromise between the probabilities of missing and erroneous message reception in a single transmission. It is shown that, depending on the characteristics of radio channel and transmission reliability requirements, various options of using codes with the detection and correction of errors are possible. The gain in reliability during the transition from a single transmission to repetition of messages with adoption of the solution on the given number of matches is estimated.

Keywords — Radio Controlling Systems, Error-Correcting Coding, Detection and Correction of Errors, Reliability of Messages Transmission.

Refs: 9 titles.

УДК 007.51

Система управления работой компьютерного класса общего доступа

Лямин А. В., Скушдлевский А. А., Чежин М. С. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 66–69.

Описана система управления работой компьютерного класса общего доступа, предназначенного для электронного контроля результатов обучения в информационно-образовательной среде системы дистанционного обучения. Система управления автоматизирует процесс распределения ограниченного количества рабочих мест класса между большим количеством пользователей, позволяет повысить эффективность использования компьютерного класса и снизить затраты, связанные с контролем регламента работы пользователей. Основные положения иллюстрируются данными, полученными при эксплуатации системы управления компьютерным классом общего доступа, построенным на основе терминальной системы.

Ключевые слова — электронный контроль, результаты обучения, компьютерный класс, общий доступ, система управления.

Список лит.: 7 назв.

УДК 330.101.5

К вопросу построения ЛВ-модели риска неуспеха комплексной структурно-сложной экономической системы

Бабенков А. Н., Соложенцев Е. Д. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 70–76.

Обоснована актуальность задачи построения логико-вероятностных моделей риска неуспеха комплексных структурно-сложных экономических систем. Предложен ряд правил построения логико-вероятностных моделей риска: выделение внешних и внутренних иницирующих событий, свертывание иницирующих событий в узлах «И» и «ИЛИ», декомпозиция сложного сценария риска неуспеха и др. Приведены примеры построения логико-вероятностных моделей риска неуспеха с использованием предложенных правил, показавшие практическую возможность их выполнения и достаточно высокую эффективность.

Ключевые слова — правила, построение, модель, риск, экономика, система, события, логика, вероятность, программные средства.

Список лит.: 5 назв.

УДК 007.51

Computer-Based Classroom Management System with Public Access

Lyamin A. V., Skshidlevsky A. A., Chezhin M. S. IUS, 2011. N 4. P. 66–69.

A computer-based classroom management system with public access is described. This classroom is used for assessment of students in the learning management system environment. The system automates the distribution of workplaces between students, allows to increase the efficiency and to reduce the cost of classroom operation. The main postulates are illustrated by the data that has been obtained during the operation of classroom that is based on the terminal system.

Keywords — Electronic Assessment of Learning Results, Computer-Based Classroom with Public Access, Management System.

Refs: 7 titles.

УДК 330.101.5

On Constructing a Logic-Probabilistic Model of Risk-Failure Structurally Complex Economic Systems.

Babenkov A. N., Solojentsev E. D. IUS, 2011. N 4. P. 70–76.

In this article, we establish a basis for the urgency of building logic-probabilistic risk-failure models of integrated structurally complex economic system. We offer a number of rules to build logic-probabilistic risk models, such as detecting external and internal initiating events, convolution of initiating events at the «AND» and «OR» nodes, decomposition of the complex risk-failure scenario, and others. Examples of building logic-probabilistic risk-failure models are provided.

Keywords — Rules, Construction, Model, Risk, Economy, System, Events, Logic, Probability, Software.

Refs: 5 titles.

УДК 004.05

Задачи исследования качества и потенциала систем реализации целевых программ

Гейда А. С., Лысенко И. В., Силла Е. П. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 77–83.

Исследуется функционирование систем реализации целевых программ в условиях риска. Рассмотрены задачи исследования потенциала таких систем. Для их решения предложена концептуальная модель, основанная на использовании комплекса предложенных концептов и принципов. Приведено определение потенциала, предложены количественные показатели его оценивания, рассмотрены их отношения с аналогичными показателями. Раскрыты связи этих показателей с показателями качества системы и эффективности ее функционирования в условиях риска. Разработаны требования к моделям и процессу моделирования для решения задач исследования потенциала.

Ключевые слова — социально-экономическая система, потенциал, потенциал системы, задачи, эффекты, эффективность, цели, системология, риск.

Список лит.: 20 назв.

УДК 338.246.2

Продюсерское управление — инновационное развитие проектного управления бизнесом

Орлов А. Р. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 84–88.

Рассмотрены проблемы ограниченности традиционного проектного управления бизнесом в условиях конкурентных рынков. Проанализированы пути повышения конкурентоспособности бизнеса. Показано, что наиболее эффективным инструментом совершенствования корпоративного менеджмента служит методика продюсерского управления.

Ключевые слова — проектное управление, конкурентоспособность бизнеса, продюсерское управление.

Список лит.: 7 назв.

УДК 519.17+515.162.8

Алгоритмы вычисления полинома Конвея по двудольному графу

Дужин С. В. Информационно-управляющие системы, 2011. № 4. С. 89–91.

Предлагаются два различных алгоритма вычисления полинома Конвея для широкого класса узлов, имеющих парные диаграммы.

Ключевые слова — узел, парная диаграмма, двудольный граф, полином Конвея.

Список лит.: 7 назв.

УДК 004.05

Quality and Capabilities Research of Conceptual Models of Special Public Programs Realization Systems under Risk Conditions

Geida A. S., Lysenko I. V., Silla E. P. IUS, 2011. N 4. P. 77–83.

Special public programs realization systems under risk conditions are explored in this article. The problems of such systems capability research are discussed. A conceptual model of specified problems decision is offered. The model is based upon the concepts and principles offered for the decision of systems capability research problems. A system capability definition is presented. Quantitative capability indicators are offered, capability indicators related to similar ones are considered. The connections of these indicators with the quality and efficiency of the system functioning indicators are explained. The models requirements and process of modeling requirements for capability research problems decision are developed.

Keywords — Socio-Economic Systems, Capabilities, System Capabilities, Problem, Effects, Efficiency, Objectives, Systemology, Risk.

Refs: 20 titles.

УДК 338.246.2

Producer Management — Innovation Extension of Project Business Administration

Orlov A. R. IUS, 2011. N 4. P. 84–88.

The problem of the traditional business project control limitations on the competitive markets has been reviewed. The tendency of business competitiveness growth has been analyzed. It is shown that the most effective tool for corporative management enhancement is the producer management methodology.

Keywords — Project Control, Business Competitiveness, Producer Management.

Refs: 7 titles.

УДК 519.17+515.162.8

Algorithms for the Computation of the Conway Polynomial from a Bipartite Graph

Duzhin S. V. IUS, 2011. N 4. P. 89–91.

In this paper we prove two algorithms for the computation of the Conway polynomial for a wide class of knots that have matched diagrams.

Keywords — Knot, Matched Diagram, Bipartite Graph, Conway Polynomial.

Refs: 7 titles.

EXPONET

ВЫСТАВКИ РОССИИ, СНГ и МИРА



**Проект
EXPONET.RU
является ведущим
выставочным
порталом в рунете.**

На его страницах информация о более 4000 предстоящих торгово-промышленных выставках с подробным описанием, условиями участия, более 2000 каталогов участников всевозможных выставок.

Прямо на сайте можно:

- Оформить участие в выставке
- Заказать строительство стенда
- Взять в аренду выставочное оборудование
- Разместить рекламу в СМИ
- Заказать рекламные услуги
- Получить приглашение для посещения выставки

Партнерами портала являются более 230 крупнейших фирм - организаторы выставок из более чем сорока городов России и СНГ, изготовители выставочного оборудования, производители бизнес-сувениров, гостиничные и туристические операторы, рекламные и консалтинговые фирмы, типографии и издательства.

www.exponet.ru

ISSN 1684-8853



9 771 684 885 009



Bakutel

17-я Азербайджанская Международная Выставка и Конференция
“ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ”

23-26 Ноября 2011
Баку, Азербайджан

Генеральный спонсор

Microsoft

Присоединяйтесь к нам:
facebook

<http://www.facebook.com/BakuTel>

Поддержка



Министерство Связи и
Информационных Технологий
Азербайджанской Республики

Организаторы



Тел.: +994 12 447 47 74
Факс: +994 12 447 89 98
E-mail: telecoms@iteca.az

Место проведения



www.bakutel.az