

# ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SILICON LABORATORIES 

*Микроконтроллеры нового поколения  
на основе ядра 8051 с рекордной  
производительностью и прецизионными  
АЦП и ЦАП. Встроенные порты UART,  
I2C, SPI, CAN, USB.*

**C8051F120**

- 100 MIPS, 128K FLASH, 8K RAM
- DSP функция (16x16 умножение)
- 12 bit АЦП (200 KSPS), 12 bit ЦАП

**C8051F060**

- 25 MIPS, 64K FLASH, 4K RAM
- 16 bit АЦП (1000 KSPS)
- CAN порт, +/-60V Amplifier PGA



ЭЛЕКТРОСНАБ

[www.silabs.ru](http://www.silabs.ru) [www.electrosnab.ru](http://www.electrosnab.ru)

4(11)/2004

4(11)/2004

# ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

**Главный редактор**

М. Б. Сергеев,  
доктор технических наук, профессор

**Зам. главного редактора**

Г. Ф. Мощенко

**Редакционный совет:**

**Председатель А. А. Оводенко**,  
доктор технических наук, профессор  
**В. Н. Васильев**,  
доктор технических наук, профессор  
**В. Н. Козлов**,  
доктор технических наук, профессор  
**Ю. Ф. Подоплекин**,  
доктор технических наук, профессор  
**Д. В. Пузанков**,  
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

**Редакционная коллегия:**

**В. Г. Анисимов**,  
доктор технических наук, профессор  
**В. Ф. Мелехин**,  
доктор технических наук, профессор  
**А. В. Смирнов**,  
доктор технических наук, профессор  
**В. А. Фетисов**,  
доктор технических наук, профессор  
**В. И. Хименко**,  
доктор технических наук, профессор  
**А. А. Шалыто**,  
доктор технических наук, профессор  
**А. П. Шепета**,  
доктор технических наук, профессор  
**З. М. Юлдашев**,  
доктор технических наук, профессор

**Редактор:** Л. М. Манучарян

**Корректор:** Т. Н. Гринчук

**Дизайн:** М. Л. Черненко

**Компьютерная верстка:**

Т. М. Каргапольцева,

О. В. Васильева

**Ответственный секретарь:** О. В. Муравцова

**Адрес редакции:** 191023, Санкт-Петербург,

Инженерная ул., д. 6

Тел.: (812) 110-66-42, (812) 313-70-88

Факс: (812) 313-70-18

E-mail: asklab@aanet.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 распространяется по подписке. Подписку можно оформить в любом отделении связи по каталогам агентства «Роспечать»: «Газеты и журналы» — № 15385, «Издавания органов НТИ» — № 69291

**ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ**

**Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В.** Методы быстрого распознавания символов, пригодные для аппаратной реализации 2

**Осипов Л. А., Смирнов М. А.** Использование методов сжатия данных без потерь информации в условиях жестких ограничений на ресурсы устройства-декодера 7

**Розов А. К., Лось А. П., Зеялютдинов А. Р.** Новые возможности в обнаружении движущихся объектов 16

**Колесников Д. Н., Мендельсон А. М.** Нейронные сети в задачах функционального и тестового диагностирования управляемых динамических объектов 21

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ КАНАЛЫ И СРЕДЫ**

**Оводенко А. А., Красюк В. Н., Горбацкий В. В.** Метод расчета характеристик излучения апертурных антенн на летательных аппаратах из композитов 31

**Колбанёв А. М., Яковлев С. А.** Эволюция услуг сетей связи 36

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБРАЗОВАНИЕ**

**Никандров Н. Д., Советов Б. Я.** Развитие информационного общества и проблемы подготовки кадров в области информационных технологий 42

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Шепета А. П.** Моделирование социально-экономических показателей посредством многоканальных нелинейных дискретных формирующих фильтров 49

**ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ**

XII Общероссийская научно-техническая конференция «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации» 57

Научно-методическая конференция «Проблемы образования в области информационной безопасности» и Заседание Пленума учебно-методического объединения (УМО) вузов Российской Федерации по образованию в области информационной безопасности» 58

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

59

**АННОТАЦИИ**

62

ЛР № 010292 от 18.08.98.

Сдано в набор 03.07.2004. Подписано в печать 27.08.2004. Формат 60×90/8. Бумага офсетная. Гарнитура Pragmatica. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 1000 экз. Заказ 341.

Оригинал-макет изготовлен в отделе электронных публикаций и библиографии ГУАП, 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

Отпечатано с готовых диапозитивов в отделе оперативной полиграфии ГУАП, 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

УДК 621.865.8

## МЕТОДЫ БЫСТРОГО РАСПОЗНАВАНИЯ СИМВОЛОВ, ПРИГОДНЫЕ ДЛЯ АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

**И. Л. Ерош,**

доктор техн. наук, профессор

**М. Б. Сергеев,**

доктор техн. наук, профессор

**Н. В. Соловьев,**

старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения

*Рассматривается метод распознавания печатных символов, ориентированный на аппаратную реализацию в микропроцессорных системах учета и сортировки документов по их идентификационным номерам. Устанавливаются ограничения на число распознаваемых символов и виды шрифта. Формулируются требования к скорости и точности распознавания.*

*The method of recognition of printed symbols for microprocessor systems of the account and sorting of documents under their identification numbers is considered. Restrictions of symbols number and kinds of a font are defined. Requirements for speed and accuracy of recognition are formulated*

### Введение

Программные системы для персональных компьютеров (ПК), распознающие печатные символы по изображениям, известны уже давно. Примером может служить Fine Reader, позволяющий распознавать печатный текст с использованием ПК с достаточными скоростью и степенью точности. Он представляет собой сложный процесс, основанный на выявлении топологических признаков отдельных символов и построении семантических деревьев [1], требует большого объема памяти, высокого разрешения сканирующей линейки (не менее 300 dpi) для получения удовлетворительных (около 1 % ошибок) результатов распознавания и большого времени работы ПК. Попытка реализовать аппаратно указанный алгоритм и подобные ему в реальном масштабе времени, т. е. в темпе поступления сканируемого изображения, сталкивается с серьезными трудностями.

Следует отметить, что подобная задача вполне успешно была решена еще в 70-е годы прошлого века при автоматизации сортировки почтовых конвертов по цифровому коду почтового отделения адресата. Основные отличия данной системы от рассматриваемой далее заключаются в том, что, во-

первых, цифры кода на конверте заполнялись от руки по трафарету и имели стилизованный вид, специально приспособленный для автоматического распознавания, и, во-вторых, код на конверте состоял только из цифр, в то время как документ может иметь в номере как цифры, так и буквы.

### Постановка задачи

Каждый документ, подлежащий учету, имеет цифровой или цифробуквенный идентификационный номер, нанесенный в фиксированном месте документа печатным образом известным шрифтом.

Документы поступают на устройство сканирования с заранее известной ориентацией со скоростью не менее 20 м/с. По различным причинам документы могут поступать на устройство считывания со смещением, достигающим 10 % от ширины документа, и перекосом в пределах  $\pm 5^\circ$ .

Требуется в темпе сканирования документа распознавать символы идентификационного номера документа с вероятностью ошибки не более 0,01 % и отказом от распознавания не более 0,1 %.

В качестве документа, подлежащего учету по распознаваемым цифробуквенным номерам, будем



■ Рис. 1. Исходное изображение купюры

рассматривать денежные купюры. На рис. 1 приведено изображение десятирублевой купюры с наличием как яркостных, так и пространственных искажений.

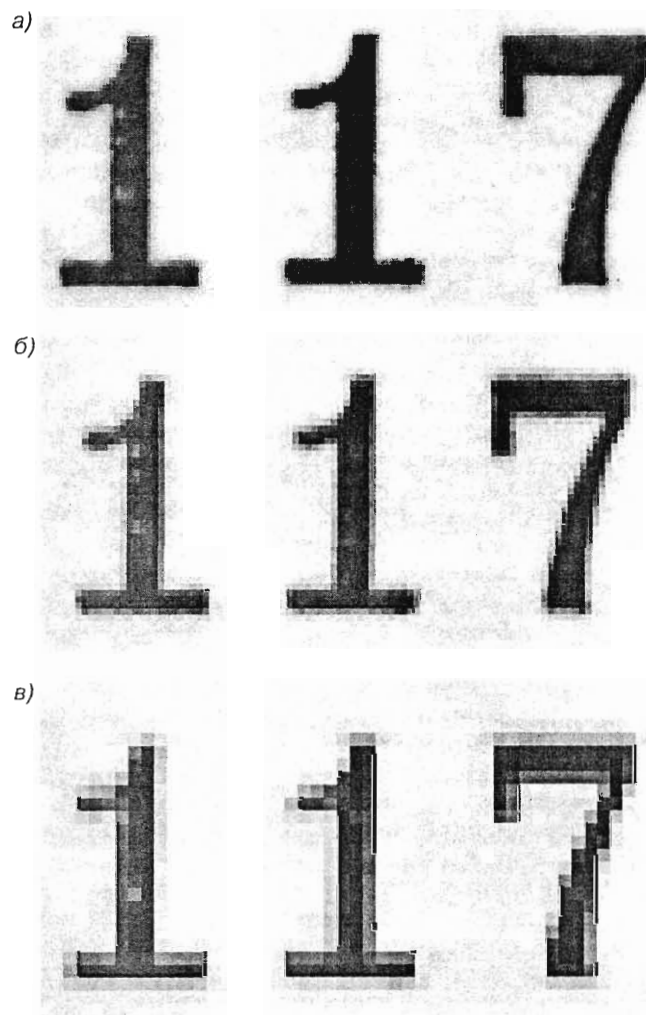
### Процедура распознавания символов

Анализ возможного быстродействия устройства сканирования купюр при заданной скорости их поступления показал, что размер распознаваемого символа не может превышать  $25 \times 11$  пикселей, что несколько меньше 150 dpi. Естественно, чем выше разрешающая способность устройства получения изображения, тем больше (в пикселях) размер распознаваемых символов, что позволяет применить более широкий спектр методов как предварительной обработки, так и собственно распознавания. На рис. 2, а–в показаны фрагменты номеров купюр, полученных при разрешении 600, 300 и 150 dpi соответственно.

Даже визуальное сравнение изображений с различным разрешением позволяет сказать, что, например, методы, основанные на выделении контурной линии, могут быть вполне успешно применены при разрешении 600 dpi, но вряд ли дадут положительный эффект на изображениях с разрешением 150 dpi. Однако увеличение разрешения изображения ограничено быстродействием устройства ввода, скоростью поступления купюр и требованием распознавания номеров в реальном масштабе времени.

Как известно [2], процедуру распознавания образов принято разделять на два этапа. На первом этапе в диалоговом режиме происходит обучение системы распознавания по репрезентативной выборке образов, относящихся к распознаваемым классам, на втором этапе обученная система в автоматическом режиме производит собственно распознавание предъявленного ей образа, т. е. отношение его к одному из известных ей классов или отказ от распознавания. Последнее тоже можно считать положительным результатом распознавания в отличие от ошибочной классификации распознаваемого образа.

Существует большое количество разнообразных методов классификации, причем большинство из



■ Рис. 2. Фрагменты номеров при разном разрешении: а – 600 dpi; б – 300 dpi; в – 150 dpi

них можно представить как поиск минимального расстояния в пространстве признаков между распознаваемым образом и известными классами. В рассматриваемом случае основная проблема связана с выбором метрики пространства признаков и собственно признаков, которые должны, с одной стороны, возможно дальше разнести классы в признаковом пространстве и иметь минимально возможный разброс значений, а с другой стороны, достаточно быстро вычисляться.

Система распознавания объектов по их изображениям, в том числе и символов идентификационного номера купюры (документа), предполагает наличие следующих операций:

- получение монохромного полутонового изображения в цифровой форме;
- подавление яркостных помех и компенсация пространственных искажений;
- бинаризация изображения, т. е. приведение его к черно-белому виду;
- сегментация, т. е. выделение на изображении номера отдельных символов;

— вычисление значений признаков и распознавание по ним каждого символа.

Для каждой из перечисленных операций известно множество алгоритмов [3], из которых необходимо отобрать подходящие по скорости выполнения. Следует отметить, что и при таком ограничении число возможных алгоритмов достаточно велико и дальнейший отбор следует проводить по результатам экспериментов с тестовыми изображениями.

### Выбор методов классификации

При отборе методов классификации образов в рассматриваемом случае распознавания символов основными критериями наряду с величиной ошибки распознавания, несомненно, являются скорость выполнения и возможность аппаратной реализации. Подобным ограничениям в первую очередь удовлетворяют различные модификации метода «маски». Действительно, аппаратная реализация метода «маски» имеет достаточно простое решение, а при отсутствии яркостных и пространственных помех метод дает исключительно высокую надежность распознавания.

Анализ изображений символов в идентификационных номерах купюр не позволяет говорить об отсутствии помех, т. е. различные изображения одного и того же символа существенно отличаются друг от друга по яркости и расположению относительно центра изображения, причем *даже на одной купюре*. Причины этих отличий следующие:

- наличие систематических и случайных погрешностей аппаратуры сканирования;
- изменение освещенности сканируемого документа;
- возможность смещения документа относительно эталонного положения при сканировании;
- неточность при печати символа и непостоянство расстояния между символами в номере;
- изменчивость отражательной способности бумажной основы документа.

Полностью компенсировать имеющиеся помехи не представляется возможным, поэтому наиболее перспективным представляется выбрать в качестве признаков те, которые в большей степени инвариантны к неустранимым яркостным и пространственным искажениям.

К последним можно отнести:

- метод гарантированной маски, при котором с пикселями бинарного изображения распознаваемого символа сравниваются на предмет их совпадения только те пиксели эталона, значения которых оставались постоянными на этапе обучения у всех изображений данного символа из выборки;
- метод статистической маски, при котором расстояние между распознаваемым образом и эталоном в пространстве признаков определяется по всем пикселям изображения с учетом для каждого пикселя распознаваемого символа вероятности появления данного значения у соответствующего пикселя сравниваемого эталона;

— метод построчной топологии, при котором пространство признаков определяется числом строк изображения, причем для каждой строки вычисляется топологический код, описывающий размер и расположение по строке участков символа;

— метод признакового пространства с Евклидовой метрикой, при котором признаком является число пикселей символа по строкам и столбцам.

После окончания этапа обучения, на котором определяются статистические характеристики классов распознаваемых образов для выбранных признаков пространств, желательно провести отбор наиболее информативных признаков в каждом пространстве по известным критериям, например, критерию Фишера [2]:

$$d_{ij}^n = \frac{(m_i - m_j)^2}{D_i + D_j}, \quad (1)$$

где  $d_{ij}^n$  — значение критерия по  $n$ -му признаку для пары классов  $i$  и  $j$ ;  $m_i, D_i, m_j, D_j$  — математические ожидания и дисперсии по  $n$ -му признаку для классов  $i$  и  $j$ .

Критерий (1) позволяет выбрать наиболее информативный признак для пары классов с учетом статистических характеристик разброса значений каждого признака для сравниваемых классов.

### Выбор методов предварительной обработки изображения

Анализ качества монохромных изображений символов номеров купюр, получаемых в цифровой форме, показал, что коррекция яркостных помех непосредственно после получения изображения не приводит к существенному повышению надежности распознавания. Временные затраты на обработку монохромного изображения медианным или усредняющим фильтром практически не окупаются повышением надежности распознавания.

Пространственные искажения, вызванные смещением купюры относительно эталонного положения при сканировании, необходимо компенсировать, так как они не позволяют надежно выделить на изображении область, содержащую распознаваемые символы, и эффективно применять выбранные методы распознавания. Известно [4], что подобные искажения описываются аффинной группой преобразования, включающей в себя подгруппы поворота и смещения:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $(x', y')$  и  $(x, y)$  — соответственно координаты точек преобразованного и исходного изображений;  $\alpha, b_1, b_2$  — соответственно угол поворота и смещение по осям  $X$  и  $Y$  изображения относительно эталонного положения.

Особенностью группового преобразования является то, что все соответствующие точки исходного и преобразованного изображений связаны уравнением (2), что позволяет найти параметры норма-

лизации  $\alpha$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ , если известны координаты двух характерных точек на искаженном изображении и их координаты при эталонном положении купюры. В качестве характерных точек можно выбрать вершины купюры, поступающие на сканирование первыми, что позволит проводить вычисление параметров нормализации параллельно со сканированием остальной части купюры. Для определения координат вершин можно использовать известные алгоритмы нахождения вершин многоугольника [5].

После нормализации пространственных искажений необходимо произвести бинаризацию изображения. Известно большое количество различных методов выбора порога бинаризации [3], отличающихся по сложности алгоритма и, соответственно, по времени выполнения. Следует отметить, что выбор конкретного метода бинаризации зависит от статистических характеристик функции яркости как конкретного изображения, так и всей совокупности обучаемой выборки.

Если яркость пикселей символов и фона практически постоянна на всех изображениях выборки и существенно отличается друг от друга, то вполне удовлетворительные результаты можно получить установкой постоянного порога, что позволяет проводить бинаризацию практически одновременно со сканированием. Данный метод следует признать наиболее эффективным с точки зрения быстродействия.

Больших временных затрат требует порог, определяемый как  $p = 0,5(f_{\min} + f_{\max})$ , где  $p$  — порог бинаризации;  $f_{\min}$ ,  $f_{\max}$  — соответственно минимальная и максимальная яркость изображения (поскольку значение  $p$  можно вычислить только после окончания сканирования всего изображения). Данный метод следует применять, если яркость пикселей символов и фона существенно отличаются на одном изображении, но сами значения яркости имеют значительный разброс на изображениях выборки.

Наибольших временных затрат требует метод, в котором порог бинаризации определяется для каждого пиксела изображения по гистограмме яркости некоторой окрестности данного пиксела. Этот метод при правильном подборе размера окрестности дает удовлетворительные результаты при плавном изменении яркости пикселей фона на изображении, причем яркость пикселей символов в одной области изображения может совпадать с яркостью пикселей фона в другой области этого изображения.

Для подавления случайных помех на бинаризованном изображении желательно провести логическую фильтрацию одиночных пикселей и сгладить контуры символов одним из известных методов [4]. Специфическая форма цифробуквенных символов, характеризующаяся в большинстве случаев высоким значением отношения длины контура к площади, требует обратить внимание на сохранение связности при проведении логической фильтрации.

Сегментация бинаризованного изображения (выделение на изображении фрагмента, содержа-

щего один символ) не вызывает в данном случае каких-либо затруднений. Регулярное расположение символов в строке и отсутствие перекрытия проекций символов на линию, параллельную строке, позволяет легко сегментировать символы обычным сканированием бинарного изображения с шириной, равной известной ширине символа.

После сегментации для каждого символа производится вычисление признаков и его классификация одновременно всеми изложенными выше методами с целью повышения вероятности правильного распознавания. Окончательное решение об отнесении символа к одному из известных классов производится методом конкурентного распознавания.

### Реализация конкурентного распознавания символов

Приведенные выше методы классификации изображений символов в цифробуквенном номере купюры были выбраны на основании обработки результатов распознавания на большой выборке сканированных номеров реальных купюр различного достоинства.

Оценка сложности методов позволяет считать их пригодными для аппаратной реализации в программируемой логике, универсальных или DSP-процессорах. Однако отсутствие гарантии правильной классификации символов в цифробуквенном коде купюры методами статической маски, построчной топологии, а также специфика методов гарантированной маски и признакового пространства с Евклидовой метрикой не позволяют однозначно выбрать существенно лучший по вероятности правильного распознавания метод.

Возможным решением, незначительно усложняющим реализацию устройства учета и сортировки документов, является применение для распознавания одновременно нескольких методов, перекрывающих по своим возможностям весь спектр основных помех.

Данная реализация может быть представлена в виде совокупности конкурирующих процессоров [6, 7], начинающих одновременно реализовывать каждый свой алгоритм распознавания изображения, полученного со сканера.

Конкурентная классификация изображений отдельных символов завершается решением арбитра по результатам классификации каждым из используемых методов с учетом весомости статистических характеристик, полученных для них в процессе обучения системы распознавания на тестовой выборке.

### Заключение

Анализ результатов применения перечисленных методов к тестовым изображениям цифровых символов показал, что ни один из них не дает 100%-ную гарантию распознавания всех цифр. В большинстве случаев наилучшие результаты дают методы

статистической маски и метод построчной топологии, но примерно для 5 % изображений символов более эффективными оказываются методы гарантированной маски и признакового пространства.

Экспериментального исследования требует и вопрос определения порога достоверности, т. е. максимально допустимого расстояния между распознаваемым образом и известными классами в пространстве признаков, при котором образ можно отнести к одному из имеющихся классов. Если

для какого-либо распознаваемого образа расстояние до ближайшего класса превышает порог достоверности, то данный образ следует отнести к нераспознанному.

Эксперименты на реальных изображениях денежных купюр показали приемлемые результаты распознавания цифровых символов конкурентным методом при правильном подборе объема обучающей выборки, порога бинаризации и порога достоверности.

## Литература

1. Харченко Н. В., Чезганцов Я. В. Современные технологии оптического распознавания текста в системе ABBY FINEREADER // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: Научные труды. Вып. 318. Российская академия естественных наук. — М., МГУЛ, 2002. — С. 162–172.
2. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978. — 411 с.
3. Катус Г. П., Катус П. Г. Системы распознавания визуальной информации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2001. — № 11. — С. 54–60.
4. Ерш И. Л., Игнатъев М. Б., Москалев Э. С. Адаптивные робототехнические системы: Методы анализа и системы обработки изображений. — Л.: ЛИАП, 1985. — 144 с.
5. Техническое зрение роботов / Под ред. А. П. Ю; Пер. с англ. Д. Ф. Мирнова. — М.: Машиностроение, 1987. — 320 с.
6. Байков В. Д., Сергеев М. Б. Конкурентные вычислительные системы // Тез. докл. X Всес. симпозиума по проблемам избыточности в информационных системах. — Л.: ЛИАП, 1989. — С. 96–97.
7. Байков В. Д., Сергеев М. Б., Мохаммед М. А. Архитектура вычислительной системы для решения систем линейных алгебраических уравнений // Управляющие системы и машины. — 1990. — № 4. — С. 33–35.

**Ю. П. Иванов, В. Г. Никитин, В. Ю. Чернов**

**Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов: Учеб. пособие / СПб.: СПбГУАП, 2004. — 98 с.: ил. ISBN 5-8088-0114-1**

Изложены основные понятия, задачи, методы и способы контроля и диагностики технического состояния измерительно-вычислительных комплексов летательных аппаратов. Описаны обобщенная структура и основные характеристики систем контроля, основные показатели достоверности контроля и ее составляющие, а также выбор допусков на параметры контроля и методы принятия решений в процессе контроля. Рассмотрены методы, аппаратные и программные средства цифровых измерительно-вычислительных комплексов с помощью систем встроенного контроля и диагностики.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 190300 «Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы», 131000 «Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов», а также магистров по направлению 5515 «Приборостроение» и бакалавров по направлению 5520 «Эксплуатация авиационной и космической техники».

Ю. П. Иванов  
В. Г. Никитин  
В. Ю. Чернов

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА  
ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ



УДК 621.391

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ДАННЫХ БЕЗ ПОТЕРЬ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЖЕСТКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ НА РЕСУРСЫ УСТРОЙСТВА – ДЕКОДЕРА

**Л. А. Осипов,**

доктор техн. наук, профессор

**М. А. Смирнов,**

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения

*Рассматривается задача эффективного сжатия данных при жестких ограничениях на ресурсы декодера, в первую очередь по памяти. Сравняется эффективность различных методов при адаптивном и статическом подходах. Для сравниваемых программ показывается взаимосвязь достигаемого коэффициента сжатия, скорости декодирования и требуемого для декодирования объема памяти (ОЗУ или ПЗУ). Основное внимание уделяется экономному кодированию текста на естественном языке.*

*The paper concerns the problem of effective data compression under the severe restrictions on decoder's resources, most of all memory consumption. The effectiveness of various methods is compared in adaptive and static modes. The relation between compression ratio, decoding speed and memory consumption (RAM or ROM) for decoding is shown for compared programs. The problem of text compression is specifically attended.*

## Введение

В настоящее время большое распространение получили мобильные вычислительные устройства и различная встраиваемая техника. Часто мобильное устройство взаимодействует с некоторым стационарным в рамках модели «клиент—сервер». Например, так может строиться работа электронных записных книжек, использующихся в качестве терминала для работы с удаленной базой данных. При этом серверу передаются главным образом запросы, а клиенту — требуемые данные, т. е. обмен асимметричен, и основная нагрузка ложится на канал связи от сервера к клиенту. Поэтому при организации информационного взаимодействия между мобильным и стационарным устройствами часто возникает проблема эффективного использования канала связи. Экономное кодирование пересылаемых сообщений (сжатие данных) может существенно увеличить реальную пропускную способность канала. Но применение сжатия данных затрудняется тем, что для мобильных или управляемых встраиваемых устройств характерно наличие сравнительно малых вычислительных ресурсов. Декоди-

рование должно требовать небольших затрат оперативной памяти и процессорного времени. При этом требования к алгоритму кодирования (сжатия) значительно менее жесткие.

Необходимо признать, что вопрос эффективности алгоритма с точки зрения используемого объема памяти (ОЗУ и/или ПЗУ) и скорости кодирования/декодирования нередко остается за рамками публикаций. Часто сравнение методов и алгоритмов производится только по коэффициенту (степени) сжатия  $K$ .

Проблема экономного декодирования кодов Хаффмана освещена в литературе сравнительно подробно. Среди разработанных алгоритмов наиболее эффективным по критериям размера используемой при декодировании памяти  $V$  и скорости декодирования является, по-видимому, способ декодирования канонического кода Хаффмана. Различные модификации этого алгоритма рассматриваются, например, в работах [4, 5].

В работах [6, 7] описываются варианты алгоритмов с PPM-моделированием низких порядков (порядок  $O \leq 3$ ), но не показана зависимость достигаемого значения  $K$  от  $V$ . Также практически отсутствует



сравнение по скорости кодирования/декодирования. Простые экономные схемы контекстного моделирования описаны в работах [8, 9], но при этом, опять же, не дается развернутого сравнения по значениям скорости  $V$  и  $K$ . В работе [10] рассматриваются способы ускорения RPPM-сжатия за счет увеличения  $K$ . Предложено кодировать не символ, а его позицию в ранжированном списке символов, встречаемых в контексте, а также использовать более быстрые, чем арифметическое сжатие, но менее эффективные по критерию  $K$  способы кодирования. Вопросу зависимости  $K(V)$  особого внимания не уделяется.

В статье приводятся результаты по оценке применимости разных методов сжатия без потерь информации при решении описанной задачи. Сравниваются так называемые «универсальные» методы сжатия данных, т. е. те, которые, как принято считать, не ориентированы на данные специального вида. Более подробно рассматривается вопрос эффективного сжатия текстовых данных, поскольку часто передается и обрабатывается информация именно такого типа. Основное внимание уделяется соотношению между объемом памяти, требуемым для декодирования, и коэффициентом сжатия.

### Сравниваемые методы сжатия данных

При сравнении использовались методы сжатия на основе предсказания по частичному совпадению (PPM), на основе преобразования Барроуза—Уилера (BWT), словарные методы семейств LZ77 и LZ78. При этом для статистического кодирования применялось арифметическое сжатие данных методов, интересующийся читатель может обратиться к работе [1].

Пусть кодируется последовательность  $S = \{s_i\}_N$  длины  $N$ , составленная из символов конечного алфавита  $A$ ,  $s_i \in A = (a_1, a_2, \dots, a_{N_A})$ . Мощность  $A$  будет обозначаться как  $N_A$ ,  $N_A = |A|$ . Конечная последовательность  $W_A = s_1 s_2 \dots s_l$ ,  $s_i \in A$ , называется словом в алфавите  $A$  ( $l$  — длина слова). Процесс кодирования заключается в отображении отдельных слов  $W_A$ , составляющих  $S$ , на множество слов  $W_B$  в кодовом алфавите  $B$ , или кодовых слов. Совокупность всех кодовых слов  $\{W_B\}$  образует код. Если для всех  $W_B$  длина  $l$  одинакова, то код называется равномерным, а  $l$  определяет длину кода. Иначе под длиной кода понимается средняя длина кодовых слов на основании вероятности их использования. При посимвольном кодировании все  $W_A$  имеют  $l = 1$ ; соответствующий код  $\{W_B\}$  часто называют неблочным.

Если исходные данные  $S$  могут быть однозначно восстановлены по массиву соответствующих  $W_B$ , то отображение  $W_A \rightarrow W_B$  не приводит к потере информации, т. е. является безущербным, без потерь.

Эффективность сжатия как характеристика сокращения размера представления информации относительно исходного будет определяться коэффициентом сжатия  $K$ . С учетом сложившейся традиции  $K$  будет измеряться в «битах на байт» (бит/байт). В этом случае показывается, с помощью ка-

кого количества битов в среднем представляется 1 байт исходных (несжатых) данных. Например,  $K = 4$  бит/байт соответствует сжатию в 2 раза. Чем значение  $K$  меньше, тем сжатие сильнее, «лучше».

Пусть осуществляется посимвольное кодирование  $s_i \in A = (a_1, a_2, \dots, a_{N_A})$ , и  $s_i$  представляются с помощью равномерного кода. Тогда длина такого кода  $l = \lceil \log_2 N_A \rceil$  битов.

В табл. 1 представлены оценки затрат памяти  $V$  при декодировании для различных методов. При расчете значений в байтах принималось, что исходные  $s_i$  представляются 1 байтом, т. е.  $l = 8$  битов, и ссылка на ячейку памяти (массива) занимает 2 байта. Это, в частности, предполагает, что ссылка на отдельный  $s_i$  занимает 2 байта. Ограничение размера различаемого фрагмента  $S$  до  $2^{16}$  элементов представляется разумным для интересующей задачи.

Приведем некоторые пояснения к табл. 1:

1. Оценка не включает расходы по хранению декодированной  $S$ . При необходимости такого учета следует добавить  $N \cdot l$  во всех случаях, исключая LZ77.

2. Для LZ77 выражение  $N \cdot (\lceil \log_2 N \rceil + l)$  соответствует варианту хранения  $N$  фраз. Можно дать верхнюю оценку размера словаря как  $(N - 1 + N_A) \times (\lceil \log_2 (N - 1 + N_A) \rceil + l)$ , поскольку в наихудшем случае к имеющимся по определению в словаре  $N_A$  фразам при обработке  $S$  длиной  $N$  может добавиться  $N - 1$  фраз.

3. Каноническое кодирование по Хаффману отличается тем, что, во-первых, кодовые слова  $W_B$  меньшей длины численно меньше  $W_B$  большей длины, и, во-вторых,  $W_B$  равной длины численно возрастают в алфавитном порядке соответствующих им символов алфавита  $a_j \in A$  [4].

4. Выбор разрядности счетчика частот при арифметическом сжатии зависит от  $N_A$  и предполагаемой функции распределения частот  $a_j \in A$ . Чем меньше разрядность, тем, в общем случае, грубее оценка и соответственно хуже сжатие. Как правило, при побайтовой обработке используются 16-разрядные счетчики или, реже, 8-разрядные.

### Описание программных реализаций сравниваемых методов

Сравнение эффективности разных методов производилось в двух режимах — адаптивном и статическом. В первом случае обработка адаптивна, и соответствующие структуры данных должны находиться в ОЗУ. Во втором случае модель (словарь) фиксирована и заранее задана, поэтому структуры данных могут размещаться в ПЗУ. Задача оптимизации алгоритмов и реализаций по скорости явным образом не ставилась и не решалась.

**PPM.** Использовалась авторская реализация PPM. Во всех случаях применялся априорный способ оценки вероятности ухода по методу  $D$  [1]. Применялись различные PPM-модели. Пусть  $CM^L$  — контекстная модель порядка  $L \leq O$ , соответствующая некоторому контексту  $C^L$  длины  $L$ . Пара-

■ Таблица 1. Оценки затрат памяти  $V$  при декодировании для различных методов

Структура данных	$V$ , бит	Наиболее вероятное значение $V$ , байт
<i>Сжатие при использовании BWT</i>		
1. Блок, полученный при преобразовании	$N \cdot l$	$N$
2. Массив для определения первого столбца отсортированной матрицы	$N_A \cdot l$	$N_A$
3. Вектор обратного преобразования	$N \cdot \lceil \log_2 N \rceil$	$2N$
4. Массив для декодирования «стопки книг». Структуру можно совместить с (2)	$N_A \cdot l$	–
<i>Итого</i>		$3N + N_A$
<i>LZ77-код</i>		
1. Собственно декодированный фрагмент	$N \cdot l$	$N$
<i>Итого</i>		$N$
<i>LZW-код</i>		
1. Словарь. Структура словаря: ссылка на родительскую фразу; последний символ фразы	$\approx N \cdot (\lceil \log_2 N \rceil + l)$	$3N$
2. Стек для формирования слова (слово формируется справа налево, т. е. последний $s_i$ определяется в первую очередь), $L_{\max}$ — максимальная длина фразы	$L_{\max} \cdot l$	$L_{\max}$
<i>Итого</i>		$3N + L_{\max}$
<i>Кодирование по Хаффману (каноническое)</i>		
1. $base[i]$ — число нелистовых элементов на уровне $i$ ; $L_{\max}$ — максимальная длина кодового слова в битах	$\left( \log_2 \frac{N_A}{2} \right) \cdot L_{\max}$	$L_{\max}$
2. $alph[i]$ — алфавит, упорядоченный по длине кодового слова и его числовому значению	$N_A \cdot l$	$N_A$
3. $offs[i]$ — индекс массива $alph[i]$ такой, что $alph[offs[i]]$ — первый листовой узел (символ) на уровне $i$	$L_{\max} \cdot l$	$L_{\max}$
<i>Итого</i>		$N_A + 2L_{\max}$
<i>Арифметическое сжатие</i>		
Набор счетчиков частот для каждого $s_i$	$N_A \cdot \lceil \log_2 N \rceil$	$2N_A$
<i>Итого</i>		$2N_A$

метр  $O$  — максимальный порядок контекстных моделей, определяющий порядок PPM-модели источника данных. PPM 2-0 обозначена модель, состоящая только из набора  $CM^2$  и одной  $CM^0$ . Аналогично PPM 3-0 включает совокупность  $CM^3$  и одну  $CM^0$ . Обозначения PPM 2-1-0 и PPM 3-1-0 расшифровываются сходным образом.

Были рассмотрены два варианта организации структур данных для PPM, именуемые далее как (A), (B). Для обоих вариантов поиск контекстной модели для  $s_i$  выполнялся с использованием хеширования. В случае (A) контекстная модель  $CM^L$  всегда соответствует ровно одному контексту  $C^L$ , в случае (B) — набору похожих  $C^L$ , где «похожесть» задается хеш-функцией. Для (A) значению хеш-функции может соответствовать хеш-цепочка контекстных моделей  $CM^L$ , для (B) хеш-цепочка вырождается в одну контекстную модель.

Для варианта (A) использовались структуры:

1) «контекст» (экземпляр создается для встреченного контекста  $CM^L$ ), имеет поля:

—  $snum$  — число различных символов, встреченных в контексте, 1 байт;

—  $sptr$  — указатель на массив описаний символов, встреченных в контексте, 2 байт;

—  $snext$  — указатель на следующий «контекст» в хеш-цепочке, 2 байт;

—  $cnt[]$  — собственно контекст как массив символов,  $L$  байт;

2) описание символа (экземпляр создается для символа, встреченного в контексте  $C^L$ ):

—  $sym$  — собственно символ  $s_i$ , 1 байт;

—  $freq$  — число появлений  $s_i$  в соответствующем контексте  $C^L$ , 1 байт.

В целях экономии памяти использовались 8-битовые счетчики. Если  $CM^L$  содержала 1 символ, то он описывался непосредственно в поле  $sptr$  структуры «контекст».

Для варианта (B) нет необходимости в полях  $snext$  и  $cnt[]$  структуры «контекст». Поэтому количество памяти, доступной для хранения описаний контекстов и описаний символов, больше. Это мо-

жет компенсировать возможное снижение точности оценки, обусловленное использованием одной  $CM^L$  для более чем одного контекста.

Во всех случаях требуется хеш-таблица, в ячейках которой записываются ссылки на хеш-цепочки контекстных моделей, имеющих одинаковое хеш-значение контекста. Для адаптивного режима требуются также структуры менеджеров контекстов и символов. Они должны обеспечивать выделение памяти при создании новых контекстных моделей (описаний символов) и сборку «мусора» при удалении. Структура менеджера должна включать, по крайней мере, массив (цепочку) указателей на свободные блоки памяти с указанием их размера. Поэтому каждый элемент структуры данных менеджера имел поля:

— ptr — ссылка на свободный блок памяти, 2 байт;

— size — размер свободного блока памяти, 2 байт.

Для обеспечения сборки мусора неиспользуемые элементы «контекст» помечались нулевым значением snum и sptr. Неиспользуемые описания символа — нулевым значением freq. При исчерпании памяти устранялись редко используемые  $CM^L$  и описания символов. При этом в качестве счетчика частоты употребления  $CM^L$  применялись старшие биты поля spext.

Для статического режима менеджеры не нужны. Не требуется и поле sptr, поскольку число встреченных в контексте символов известно и их описание может быть присоединено непосредственно к экземпляру структуры «контекст».

Собственно кодирование выполнялось с помощью интервального кодера (разновидности арифметического кодера) [1]. Для предотвращения переполнения разрядной сетки все счетчики  $CM^L$  делились на два при достижении максимального допустимой суммы значений всех счетчиков и при достижении счетчика некоторого символа значения  $2^8$ .

**LZW.** Использовалась авторская реализация LZW. Фразы кодировались равномерно, длина кода определялась текущим размером словаря. При достижении заданного максимального размера словарь очищался. Для декодирования использовался массив элементов с полями:

— parent — ссылка на родительскую фразу (родительский элемент), 2 байт;

— sym — последний символ фразы, 1 байт.

Максимальная длина фразы  $L_{max} = 128$ , что определило размер стека для декодирования. Поэтому для декодирования требовалось примерно  $3N + 128$  байт, где  $N$  — размер словаря во фразах.

**LZ77.** Применялась авторская реализация так называемого метода LZari, при котором кодовые слова LZ экономно представляются с помощью арифметического сжатия. Использовалась типовая схема, при которой длины совпадения  $len$  и литералы  $s_j$  кодировались адаптивно в одном алфавите. Старшие биты  $pos$  кодировались адаптивно, младшие — статически, равномерным кодом. Максимальная  $len = 256$ .

В статическом режиме использовались заранее построенные таблицы частот для старших битов  $pos$  и для алфавита  $len$  и  $s_j$ .

**Сжатие с использованием BWT.** Применялась авторская модификация программы bzip2, позволявшая гибко задавать размер блока для преобразования. В bzip2 для экономного представления результата преобразования используется кодирование «стопка книг» и кодирование по Хаффману. Следует заметить, что реализация кода Хаффмана в bzip2 не рассчитана на блок малой длины, что должно было систематически исказить оценки  $K$ .

Возможна такая модификация bzip2, что для декодирования будет требоваться примерно  $3N + 2N_A$  байт. Приведенные ниже экспериментальные результаты основываются на этом. Соответствующая программа помечена как bzip2\*.

**Словарное сжатие Dict.** Для статического сжатия текстов был разработан словарный алгоритм, именуемый ниже Dict. Фиксированный словарь Dict состоит из упорядоченных по частоте употребления слов, выделенных из опорного текста. При ограничениях на  $V$  в словарь вносятся такие слова, использование которых в качестве фраз, как ожидается, даст наименьший  $L \cdot W_A$ , не найденные в словаре, кодируются посимвольно с помощью арифметического кодера. Найденные  $W_A$  арифметически кодируются через номер в словаре, при этом старшие биты номера кодируются исходя из их частоты появления. Младшие биты номера кодируются как равновероятные. Предварительно выполняется обратимое устранение заглавных букв (см. ниже). Самые частые символы-разделители — пробелы — кодируются только при необходимости. По умолчанию считается, что перед словом стоит пробел.

**Обратимые преобразования текстовых данных.** Известно несколько обратимых преобразований (способов препроцессинга), позволяющих существенно улучшить сжатие текстовых данных.

1. Замена по фиксированному словарю часто встречающихся последовательностей символов. Если некоторый фрагмент последовательности  $S$  совпадает с фразой словаря, то он заменяется кодовым словом фразы. Для английского языка использовался словарь, предложенный в работе [1]. Он содержит 45 двухбуквенных фраз, 25 трехбуквенных и 16 четырехбуквенных. Для хранения такого словаря и собственно декодирования требуется примерно 300 байт. В качестве кодовых слов применялись незадействованные в ASCII байтовые значения.

2. Устранение заглавных букв. Если слово  $W_A$ , рассматриваемое как последовательность  $s_j$ , ограниченная некоторыми символами-разделителями (пробел, знаки препинания и т. п.), начинается с заглавной буквы  $a_j$ , то

$$W_A \rightarrow \langle \text{флаг} \rangle \langle \text{строчная } a_j \rangle \langle \text{остаток } W_A \rangle.$$

3. Модификация символов-разделителей. Перед символом-разделителем добавляется пробел, что позволяет улучшить сжатие при использовании PPM и, иногда, BWT.

## Результаты исследований при использовании адаптивного подхода

Отметим, что, безусловно, все приводимые сравнительные результаты целесообразно рассматривать как довольно грубую оценку: во-первых, характеристики существенно зависят от типа обрабатываемых данных; во-вторых, возможна модификация каждого алгоритма и реализации, позволяющая достичь лучших характеристик, и нет оснований считать, что в рамках проведенных экспериментов все методы «были в равных условиях»; в-третьих, равенство по использованию  $V$  было приближительным.

Сравнение проводилось на наборе файлов, традиционно используемых для сравнения программ сжатия данных без потерь. Тест был сформирован из файлов классического тестового набора Calgary Compression Corpus<sup>1</sup> и альтернативного набора VYTEST<sup>2</sup>. Описания файлов приведены в табл. 2.

При проведении экспериментов не учитывались затраты на хранение декодированной  $S$ . При необходимости этого надо учесть соответствующую поправку для всех реализаций, исключая LZari. Интегральный коэффициент сжатия  $\bar{K}$  в зависимости от объема  $V$  ОЗУ, доступного при декодировании, приведен для всего теста в табл. 3.  $\bar{K}$  рассчитывался как обычное среднее значение коэффициентов  $K$  для отдельных файлов.  $\bar{K}$  не указан для тестов, не проводившихся в силу их очевидной избыточности. Для сравнения приведены результаты для ар-

<sup>1</sup> <http://links.uwaterloo.ca/calgary.corpus.html>

<sup>2</sup> <http://www.compression.ru/ybs/>

хиватора PKZIP версии 2.04g, запускавшегося в режиме максимального сжатия (опция «-ex»). В PKZIP реализован метод LZH с блочной адаптацией кода Хаффмана, что обеспечивает высокую скорость декодирования. Возможна модификация декодера PKZIP, требующая немногим более 32 кбайт ОЗУ.

Из табл. 3 видно, что при  $V \geq 16$  кбайт преимущество по критерию  $\bar{K}$  имеют реализации PPM. Максимум достигается для PPM 3-1-0 (A). Следует отметить, что вариант реализации (A) стабильно обеспечивает лучшее сжатие, чем вариант (B). При  $V \approx 8$  кбайт и, очевидно, менее доминирует LZari, что можно было предположить заранее. В табл. 4 приведено сравнительное время декодирования  $T_{\text{дек}}$  всего набора, при этом время декодирования для PKUNZIP (декодер для PKZIP) принято за 1. Как следовало ожидать, декодирование для PPM в разы медленнее, чем для словарных методов.

В табл. 5 приведена детальная статистика для  $V = 64$  кбайт. LZari имеет преимущество над PPM только на высокоизбыточных файлах. С увеличением  $V$  отставание может быть устранено за счет использования PPM-модели большего порядка  $O$ .

На рис. 1 показана зависимость  $K$  от объема обработанных данных для book1. При небольшом размере текста разница между  $K$  для bzip2\*, PPM 3-1-0 (A) и PPM 2-1-0 (A) незначительная и составляет менее 10 %.

На примере book1 были рассмотрены варианты схем сжатия с использованием обратимых преобразований текстовых данных. В табл. 6 приведены значения  $K$  для вариантов без препроцессинга (далее «БП»). Значения  $\bar{K}$ , полученные при устранении заглавных букв и словарной замене (пре-

■ Таблица 2. Описание тестового набора

Название	Размер, байт	Описание
bib	111261	Библиографический список в формате UNIX «refer», ASCII.
book1	768771	Художественная книга на английском языке: Т. Hardy «Far from the madding crowd», неформатированный текст ASCII.
book2	610856	Техническая книга на английском языке: I. Witten «Principles of computer speech», формат UNIX «troff», ASCII.
fileware	427520	Руководство пользователя на английском языке к набору утилит Fileware версии 3.0, формат Microsoft Word; содержит разнородные данные.
os2	594821	Конфигурационный файл для операционной системы OS/2, содержит разнородные данные.
paper2	82199	Техническая статья на английском языке: I. Witten «Computer (in)security», формат UNIX «troff», ASCII.
paper4	13286	Техническая статья на английском языке: John G. Cleary «Programming byexample revisited», формат UNIX «troff», ASCII.
progc	39611	Программа на языке C, ASCII.
progp	49379	Программа на языке Паскаль, ASCII.
stand	1639139	Художественная книга на русском языке: С. Кинг «Армагеддон», форматированный текст ASCII.
trans	93695	Расшифровка терминальной сессии, формат редактора «EMACS», ASCII.
wcc386	536624	Исполнимый файл Watcom версии 10.0 (компилятор с языка C).

■ Таблица 3. Зависимость  $\bar{K}(V)$  для тестового набора

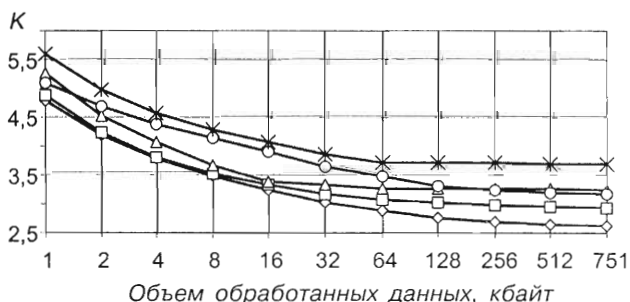
V, кбайт	PPM 3-0 (A)	PPM 3-0 (B)	PPM 3-1-0 (A)	PPM 2-0 (A)	PPM 2-0 (B)	PPM 2-1-0 (A)	bzip2*	LZW	LZari	PKZIP -ex (справочно)
8			3,29	3,40	3,55	3,20	3,89	4,28	<b>3,13</b>	
16	3,29	3,38	<b>2,91</b>	3,13	3,19	3,03	3,46	4,05	3,01	
32	3,05	3,20	<b>2,75</b>	3,00	3,14	2,94	3,11	3,90	2,93	2,74
64	2,84	3,08	<b>2,61</b>	2,98	3,10	2,93	2,87	3,77	2,89	
128			<b>2,55</b>			2,93	2,68	2,87		

■ Таблица 4. Зависимость  $\bar{T}_{дек}(V)$  для тестового набора

V, кбайт	PPM 3-0 (A)	PPM 3-0 (B)	PPM 3-1-0 (A)	PPM 2-0 (A)	PPM 2-0 (B)	PPM 2-1-0 (A)	bzip2*	LZW	LZari	PKZIP -ex (справочно)
8			26,3	16,5	16,0	14,8	3,89	3,0	<b>2,6</b>	
16	16,3	14,0	11,5	11,3	9,0	10,0	3,46	2,7	<b>1,7</b>	
32	13,8	11,0	9,8	8,5	8,5	7,5	3,11	2,5	<b>1,6</b>	1,00
64	12,0	10,3	8,3	8,5	9,0	6,8	2,87	2,2	<b>1,5</b>	
128			8,0			6,8	2,68		<b>1,5</b>	

■ Таблица 5. Значения K для отдельных файлов при V = 64 кбайт

Файл	PPM 3-0 (A)	PPM 3-0 (B)	PPM 3-1-0 (A)	PPM 2-0 (A)	PPM 2-0 (B)	PPM 2-1-0 (A)	bzip2*	LZW	LZari	PKZIP -ex (справочно)
bib	2,47	2,66	<b>2,17</b>	2,70	2,76	2,63	2,65	3,47	2,53	2,53
book1	2,75	2,86	<b>2,61</b>	2,95	2,96	2,93	3,24	3,68	3,17	3,25
book2	2,50	2,77	<b>2,37</b>	2,88	2,94	2,87	2,86	3,56	2,69	2,70
fileware	2,87	3,58	<b>2,65</b>	2,97	3,44	2,91	2,69	4,16	2,67	2,36
os2	2,49	2,81	2,35	2,61	2,75	2,57	1,92	2,91	<b>1,83</b>	1,60
paper2	2,64	2,79	<b>2,47</b>	2,88	2,89	2,85	2,87	3,45	2,94	2,88
paper4	3,17	3,29	<b>2,93</b>	3,27	3,29	3,19	3,12	4,06	3,59	3,31
progс	2,82	3,00	<b>2,55</b>	2,93	3,01	2,85	2,72	3,78	3,00	2,69
progр	2,08	2,32	<b>1,87</b>	2,33	2,38	2,26	2,03	3,05	2,08	1,81
станд	3,09	3,20	<b>2,86</b>	3,13	3,17	3,12	3,41	3,90	3,26	3,36
trans	2,04	2,32	1,83	2,37	2,49	2,32	2,12	3,23	<b>1,76</b>	1,66
wcc386	5,12	5,36	4,70	4,77	5,08	<b>4,61</b>	4,79	5,94	5,19	4,67
K	2,84	3,08	<b>2,61</b>	2,98	3,10	2,93	2,87	3,77	2,89	2,74
T <sub>дек</sub>	13,8	7,0	9,5	5,8	5,5	5,5	4,9	3,8	<b>2,9</b>	1,0



■ Рис. 1. Изменение K по мере обработки book1 при V = 64 кбайт:

—◇— PPM 3-1-0(A); —□— PPM 2-1-0(A); —△— bzip2; —○— LZari; —\*— LZW

процессинг 1, далее «П1»), представлены в табл. 7, полученные при устранении заглавных букв, словарной замене и модификации символов-разделителей (препроцессинг 2, далее «П2») — в табл. 8.

В табл. 9 показана зависимость  $T_{дек}(V)$  для book1 без препроцессинга. Табл. 10 иллюстрирует изменение  $T_{дек}(V)$  при использовании препроцессинга.

Использование препроцессинга в среднем существенно улучшает сжатие для всех алгоритмов. Наибольший эффект достигается для PPM 2 1 0 — в ряде случаев отмечено уменьшение значения K на 25 %. Но в рамках рассмотренных алгоритмов PPM и диапазона изменения V применение препроцессинга, как правило, замедляет декодирование в 1,1–1,9 раза.

■ Таблица 6. Значения  $K(V)$  для book1 без препроцессинга

V, кбайт	PPM 3-0 (A)	PPM 3-1-0 (A)	PPM 2-0 (A)	PPM 2-1-0 (A)	bzip2*	LZW	LZari	PKZIP-ех (справочно)
8		3,46	3,41	<b>3,28</b>	4,20	4,34	3,62	3,25
16	3,50	3,13	3,07	<b>3,04</b>	3,81	4,09	3,44	
32	3,11	<b>2,85</b>	2,95	2,94	3,49	3,88	3,29	
64	2,75	<b>2,61</b>	2,95	2,93	3,24	3,68	3,17	
128		<b>2,49</b>		2,93	3,02		3,08	

■ Таблица 7. Значения  $K(V)$  для book1 при препроцессинге 1

V, кбайт	PPM 3-0 (A)	PPM 3-1-0 (A)	PPM 2-0 (A)	PPM 2-1-0 (A)	bzip2*	LZW	LZari	PKZIP-ех (справочно)
8		3,34	3,47	<b>3,27</b>	4,14	4,18	3,59	3,04
16	3,65	3,24	3,17	<b>3,01</b>	3,73	3,93	3,45	
32	3,42	3,06	2,80	<b>2,68</b>	3,38	3,71	3,29	
64	3,11	2,77	2,55	<b>2,51</b>	3,10	3,50	3,14	
128		2,52		<b>2,38</b>	2,89		3,02	

■ Таблица 8. Значения  $K(V)$  для book1 при препроцессинге 2

V, кбайт	PPM 3-0 (A)	PPM 3-1-0 (A)	PPM 2-0 (A)	PPM 2-1-0 (A)	bzip2*	LZW	LZari	PKZIP-ех (справочно)
8		3,29	3,43	<b>3,19</b>	4,25	4,28	3,59	3,12
16	3,56	3,11	3,03	<b>2,92</b>	3,79	4,01	3,43	
32	3,29	2,92	2,71	<b>2,65</b>	3,41	3,77	3,27	
64	2,92	2,64	<b>2,49</b>	<b>2,48</b>	3,13	3,57	3,13	
128		<b>2,41</b>		2,43	2,91		3,02	

■ Таблица 9. Значения  $T_{дек}(V)$  для book1 без препроцессинга

V, кбайт	PPM 3-0 (A)	PPM 3-1-0 (A)	PPM 2-0 (A)	PPM 2-1-0 (A)	bzip2*	LZW	LZari	PKZIP-ех (справочно)
8		41,0	23,8	30,0	5,2	4,8	<b>3,8</b>	1,0
16	31,3	21,0	11,0	12,5	5,5	4,7	<b>3,3</b>	
32	21,0	12,0	6,3	6,8	5,7	4,2	<b>3,1</b>	
64	13,8	9,5	5,8	6,3	5,8	3,8	<b>2,9</b>	
128		9,0		6,0	6,0		<b>2,4</b>	

■ Таблица 10. Значения  $T_{дек}(V)$  для book1 при препроцессинге

V, кбайт	PPM 3-1-0(A)			PPM 2-1-0(A)			PKZIP -ех (справочно)
	БП	П1	П2	БП	П1	П2	
8	41,0	<b>37,3</b>	39,0	<b>30,0</b>	33,3	32,8	1,0
16	21,0	<b>20,8</b>	21,8	<b>12,5</b>	20,0	18,3	
32	<b>12,0</b>	14,8	14,8	<b>6,8</b>	13,0	11,0	
64	<b>9,5</b>	11,5	11,5	<b>6,3</b>	9,5	7,8	
128	<b>9,0</b>	11,3	11,3	<b>6,0</b>	7,5	6,8	

### Результаты исследований при использовании статического подхода

Статический режим предполагает хранение и использование фиксированной модели (словаря). Это специфическая задача, которая, по-видимому, должна решаться с максимальным учетом специфики данных, имеющихся ресурсов, особенностей аппаратного и, возможно, программного обеспечения. Поэтому здесь приводятся результаты, полученные на примере сжатия только текстового файла book1. Сжатие на основе обычного BWT в статическом режиме невозможно, метод LZW не рассматривался в силу сравнительно плохих характеристик. Во всех случаях первые 512 кбайт исходного файла использовались для создания и настройки модели (словаря), которая затем применялась без адаптации при сжатии оставшейся части файла размером  $751 - 512 = 239$  кбайт. Результаты исследований для вариантов без препроцессинга приведены в табл. 11, с препроцессингом — в табл. 12 (для Dict препроцессинг не имеет смысла, поэтому вариант не рассматривался).

Алгоритмы PPM 2-1-0 и PPM 3-1-0 обеспечивают лучшее сжатие. При использовании препроцессин-

га любого типа сжатие, как правило, улучшается (соответствует уменьшению значения  $K$ ). В табл. 13 показано, как при этом изменяется значение  $T_{дек}(V)$ . За 1 принято  $T_{дек}$  при использовании PKUNZIP. Видно, что, как и при адаптивном подходе, значение  $T_{дек}$  при использовании препроцессинга может увеличиваться на десятки процентов.

Следует отметить, что в реализации Dict словарь представлялся в исходном виде, без сжатия. За счет компактного представления словаря возможно уменьшение значения  $K$  для Dict при  $V = const$ . Скорость при этом, вероятнее всего, уменьшится, так как потребуются декодировать фразы словаря при каждой словарной подстановке.

### Выводы

При адаптивном сжатии в случае наличия до 16 кбайт ОЗУ в общем случае целесообразно применять алгоритм типа LZ77. При большем значении  $V$  возможны варианты, и выбор зависит от типа данных и требований к  $T_{дек}$ . Если нет очень жестких ограничений по  $T_{дек}$  и обрабатываются текстовые данные, целесообразно использовать алгоритм

■ Таблица 11. Значения  $K(V)$  в статическом режиме без препроцессинга

V, кбайт	PPM 3-0(A)	PPM 3-1-0(A)	PPM 2-0(A)	PPM 2-1-0(A)	LZari	Dict
8		3,44	3,46	<b>3,34</b>	3,59	3,39
16	3,47	3,17	3,03	<b>2,99</b>	3,40	3,17
32	3,04	2,98	2,92	<b>2,91</b>	3,24	3,00
64	2,65	<b>2,61</b>	2,91	2,90	3,10	2,85
128		<b>2,41</b>		2,90	2,99	2,73

■ Таблица 12. Значения  $K(V)$  в статическом режиме с препроцессингом

V, кбайт	PPM 3-0(A)		PPM 3-1-0(A)		PPM 2-0(A)		PPM 2-1-0(A)		LZari	
	П1	П2	П1	П2	П1	П2	П1	П2	П1	П2
8			3,61	3,33	3,47	3,43	3,25	<b>3,19</b>	3,58	3,58
16	3,66	3,59	3,14	2,97	3,10	3,00	2,94	<b>2,88</b>	3,42	3,40
32	3,38	3,24	2,92	2,78	2,88	2,77	2,67	<b>2,64</b>	3,25	3,23
64	2,97	2,80	2,62	2,53	2,53	<b>2,44</b>	2,51	<b>2,44</b>	3,08	3,07
128			2,35	<b>2,27</b>			2,31	2,38	2,93	2,93

■ Таблица 13. Значения  $T_{дек}(V)$  в статическом режиме

V, кбайт	PPM 3-1-0(A)			PPM 2-1-0(A)			LZari			Dict
	БП	П1	П2	БП	П1	П2	БП	П1	П2	БП
8	8,5	7,7	8,1	6,2	6,9	6,8	3,5	3,7	3,7	3,9
16	9,1	9,0	9,4	5,4	8,6	7,9	2,9	3,2	3,2	3,1
32	7,5	9,2	9,2	4,2	7,8	6,8	2,7	2,9	2,9	2,8
64	5,9	7,2	7,2	3,9	5,9	5,3	2,4	2,6	2,7	2,5
128	5,5	7,0	7,0	4,4	5,5	5,1	2,0	2,2	2,3	2,1

сжатия на основе контекстного моделирования типа PPM. При объеме  $V < 64$  кбайт разумно применять модель с длинами контекстов 2, 1, 0 (PPM 2-1-0), при  $V \geq 64$  имеет смысл рассмотреть PPM 3-1-0 или даже более сложные схемы. Разница в значениях коэффициента сжатия  $K$  для алгоритмов типа LZ77 и PPM может составлять при этом 25 % и более.

При статическом подходе, предполагающем хранение модели источника данных (словаря) в ПЗУ и минимальное использование ОЗУ, наблюдается в целом сходная картина в случае сжатия текстовых данных. В случае жестких ограничений на  $T_{дек}$  и доступный объем ПЗУ  $V$  следует применять словарные алгоритмы. В противном случае целесообразно про-

анализировать оправданность использования алгоритма на основе PPM. Но вероятнее всего, даже при тщательном построении алгоритма и эффективной реализации скорость декодирования для PPM будет в разы меньше, чем для словарных схем. Перспективным является словарный алгоритм, при котором фразами являются естественные слова языка.

Как при адаптивном, так и при статическом подходе использование специальных обратимых преобразований совместно с основным алгоритмом сжатия может существенно улучшить сжатие текстовых данных — отмечается уменьшение значения  $K$  на 5–25 %. Но, как правило, это замедляет декодирование в 1,1–1,9 раза.

## Литература

1. **Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. — 384 с.
2. **Gallager R. G.** Variations on a theme by Huffman // IEEE Transactions on Information Theory. — 24(6): 668–674. — Nov. 1978.
3. **Burrows M., Wheeler D. J.** A Block-sorting Lossless Data Compression Algorithm // SRC Research Report 124, Digital Systems Research Center, Palo Alto. — May 1994.
4. **Moffat A., Turpin A.** On the Implementation of Minimum Redundancy Prefix Codes // IEEE Transactions on Communications. — 45(10):1200–1207. — Oct. 1997.
5. **Hirschberg D., Lelewer D.** Efficient decoding of prefix codes // Communications of the ACM. — 33(4):449–459. — 1990.
6. **Lelewer D. A., Hirschberg D. S.** Streamlining Context Models for Data Compression // Proceedings of IEEE Data Compression Conference, Snowbird, Utah. — Apr. 1991. — P. 313–322.
7. **Lelewer D. A., Hirschberg D. S.** An Order-2 Context Model for Data Compression With Reduced Time and Space Requirements // Technical Report N 90–33, Department of Information and Computer Science.— University of California, Irvine, 1990.
8. **Langdon G., Rissanen J.** A Double-Adaptive File Compression Algorithm. IEEE Transactions on Communications. — 31(11):1253–1255. — Nov. 1983.
9. **Bell T., Witten I., Cleary J.** Modeling for Text Compression // ACM Computing Surveys. — 21(4):557–591. — Dec. 1989.
10. **Howard P. G.** The design and analysis of efficient lossless data compression systems // PhD thesis.— Brown University, Providence, Rhode Island, 1993.

**Н. Н. Красильников, О. И. Красильникова**

**Мультимедиа технологии в информационных системах. Методы сжатия и форматы записи графической информации: Учеб. пособие / СПб.: СПбГУАП, 2004. — 68 с.: ил. ISBN 5-8088-00104-4**

В учебном пособии изложены вопросы, связанные с теоретическими предпосылками сжатия графической информации, описаны наиболее распространенные и перспективные методы сжатия изображений, а также проблема накопления ошибок, возникающая при многократной перезаписи изображения с применением методов сжатия с потерями, приведены сведения о ряде форматов, предназначенных для графической записи и видеoinформации.

Учебное пособие предназначено для студентов старших курсов, изучающих мультимедиа технологии в рамках технических специальностей.





УДК 681.516.7.015.2

# НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ОБНАРУЖЕНИИ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

**А. К. Розов,**

доктор техн. наук

Военно-Морская академия им. адмирала Н. Г. Кузнецова

**А. П. Лось,**

доктор техн. наук

**А. Р. Зеялютдинов,**

канд. техн. наук

Федеральное Государственное унитарное предприятие

«Первый Центральный научно-исследовательский институт  
Министерства обороны России»

*Обосновывается целесообразность использования аппарата стохастических дифференциальных уравнений для составления алгоритмов построения систем обнаружения сигналов.*

*The purpose of this paper is to ground of advise stochastic difference equation to using for compose algorithm of signal discover systems. The example of appli-cability is considered.*

## Введение

Еще во второй половине прошлого столетия было обращено внимание на то, что аналитические методы изучения случайных процессов следует дополнить вероятностными методами. Аналитические методы, оперирующие с распределениями случайных величин, используют для их изучения различный аналитический аппарат — производящие функции, характеристические функции и др. Вероятностные методы, основанные на оперировании с самими случайными величинами, позволяют использовать потраекторное представление случайных процессов и вести их изучение аппаратом стохастических дифференциальных уравнений.

Дополнение аналитических методов вероятностными радикальным образом изменило теорию статистики случайных процессов. Появились алгоритмы линейной нестационарной фильтрации Калмана—Бьюси [2], нелинейная фильтрация с помощью стохастических дифференциальных уравнений К. Ито [1], теория оптимальных правил остановки [3, 4] и многое другое.

Однако при разработке помехоустойчивых систем до сих пор используются практически только аналитические методы, в частности корреляционно-спектральные. Их узость не позволяет учитывать случайный характер обстановки и, что важно, негауссовский характер сигналов, обусловленный слу-

чайностью их параметров. Корреляционно-спектральные методы не способны дать рецепт процедуры последовательного во времени вычисления апостериорной вероятности момента появления сигнала, являющейся достаточной статистикой в задачах обнаружения сигналов. Корреляционные методы не позволяют также учесть предназначение процедуры обнаружения, ее завершающий характер.

Потраекторный метод, использующий аппарат стохастических дифференциальных уравнений, наоборот, позволяет в результате последовательного во времени их решения находить текущие значения апостериорных вероятностей и с помощью теории оптимальных правил остановки учесть завершающий характер процедуры обнаружения.

## Байесовский подход

Байесовский подход, само его название, предполагает, что должна быть задана априорная информация об обстановке, должно быть определено распределение дистанции, направления, элементов движения обнаруживаемого объекта —  $F_t(d, \varphi, v, q)$ , характеризующее случайность этих величин. Такое распределение может быть пересчитано в распределение задержки сигнала  $\theta$  и его параметров  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  —  $F_t(\theta, \lambda_1, \dots, \lambda_n)$ . Последнее имеет явно вы-

раженную неравномерность, что является первопричиной того, что для составления алгоритма обнаружения целесообразно использовать байесовский подход.

Эта неравномерность становится особенно выраженной при использовании повторных зондирующих сигналов, когда результаты наблюдений на предшествующем цикле используются для создания более благоприятных условий обнаружения сигнала в следующем цикле. В этом случае формой учета проведенных наблюдений является пересчитываемое от цикла к циклу апостериорное распределение.

Далее мы покажем, как с помощью  $F_t(\theta, \lambda_1, \dots, \lambda_n)$  можно определить коэффициенты, входящие в стохастические уравнения для апостериорных вероятностей.

### Правило остановки

Байесовский подход должен учитывать завершающий характер процедуры обнаружения объекта, предусматривающий остановку наблюдений в момент поступления сигнала. При отсутствии помех остановка наблюдений совпадает с задержкой сигнала  $\theta$ . Когда же присутствуют помехи, в определении момента появления сигнала неизбежно возникает неопределенность. Задача обнаружения заключается в том, чтобы своевременно подать команду о появлении сигнала и тем самым как бы приблизиться к обстановке, когда помехи отсутствуют. При байесовском подходе составить алгоритм такой процедуры позволяет теория оптимальных правил остановки [3, 4].

Оптимальное правило остановки играет ключевую роль, поскольку определенный с ее помощью момент означает одновременно начало тех или иных действий, ради которых и ведется обнаружение.

При байесовском подходе наблюдения должны продолжаться до момента времени  $v^*$ , когда выигрыш от остановки  $U_t(\eta_0^t)$  сравняется с выигрышем от продолжения наблюдений  $U_t^T(\eta_0^t)$ , т. е.

$$v^* = \min\{t : U_t(\eta_0^t) = U_t^T(\eta_0^t)\}.$$

Из этого условия можно определить статистику  $\sigma_t$ , выраженную через апостериорные вероятности появления сигнала на временной оси  $\omega$ , и границу областей принятия решения  $\Gamma$ .

Реализация байесовского подхода возможна при представлении сигнала и помехи аппаратом стохастических дифференциальных уравнений.

Воздействие сигнала  $\theta_t$  задается процессом  $\chi_t$  в виде

$$\chi_t = \begin{cases} 0, & t < \theta, \\ \theta_t, & t \in [\theta, \theta + h], \\ 0, & t > \theta + h, \quad h \leq \infty, \end{cases}$$

где  $\theta$  (начало воздействия сигнала) — случайная величина;  $h$  (продолжительность сигнала) — посто-

янная или также случайная величина;  $\theta_t$  — сигнал, представляемый стохастическим дифференциальным уравнением

$$d\theta_t = a_0(\lambda_1, \dots, \lambda_n)dt + a_1(\lambda_1, \dots, \lambda_n)\theta_t dt + bdw_t^{(s)},$$

в котором  $w^{(s)}$  — винеровский процесс.

Наблюдаемое воздействие представляется дифференциалом

$$d\eta_t = \chi_t dt + \sqrt{c_2}dw_t^{(n)}.$$

Можно показать, что выигрыши  $U_t(\eta_0^t)$  и  $U_t^T(\eta_0^t)$  могут быть определены путем вычисления апостериорных вероятностей:

$$\begin{aligned} \pi_t^{(-)} &= P(\theta < t - h | \eta_0^t); \quad \pi_t^{(0)} = P(\theta \in [t - h, t] | \eta_0^t); \\ \pi_t^{(+)} &= P(\theta > t | \eta_0^t) \end{aligned}$$

и что решение о поступлении сигнала должно приниматься по достижении статистикой  $\sigma_t$  в виде

$$\sigma_t = \pi_t^{(-)} + 2\pi_t^{(0)}$$

границы  $\Gamma = 1$  областей принятия решений.

### Уравнения для $\pi_t^{(-)}$ , $\pi_t^{(0)}$ и $\pi_t^{(+)}$

Исходным моментом для составления уравнений является соотношение, определяющее апостериорную плотность распределения сигнала  $\theta$  и продолжительности воздействия сигнала  $h$

$$\begin{aligned} f(\theta, h | \eta_0^t) &= \frac{dP(\eta_0^t, \theta, h)}{dP(\eta_0^t)} = \frac{dP(\eta_0^t | \theta, h)f(\theta, h)}{dP(\eta_0^t)} \times \\ &\times \frac{P(\theta > t | \eta_0^t)}{P(\theta > t | \eta_0^t)} = \frac{dP(\eta_0^t | \theta, h)}{dP(\eta_0^t | \theta > t)} (1 - \pi_t) \frac{f(\theta, h)}{P(\theta > t)} = \\ &= \begin{cases} \varphi_{\theta}^{\theta+h} \frac{1 - \pi_t}{P(\theta > t)} f(\theta, h), & \theta < t - h, \\ \varphi_{\theta}^t \frac{1 - \pi_t}{P(\theta > t)} f(\theta, h), & \theta \in [t - h, t], \\ \frac{1 - \pi_t}{P(\theta > t)} f(\theta, h), & \theta > t, \end{cases} \quad (1) \end{aligned}$$

где  $\frac{dP(\eta_0^t | \theta, h)}{dP(\eta_0^t | \theta > t)}$  — производная меры процесса

$\eta_0^t$ , содержащего сигнал, по мере процесса, не содержащего сигнала (отношение правдоподобия).

Составление дифференциальных уравнений для  $\pi_t^{(-)}$ ,  $\pi_t^{(0)}$  и  $\pi_t^{(+)}$  осложняется тем обстоятельством, что используемая для этого апостериорная плотность  $f(\theta, h | \eta_0^t)$  вычисляется по-разному, в зависи-

мости от интервала, к которому принадлежит начало воздействия сигнала. Чтобы учесть это обстоятельство, вводятся вспомогательные статистики  $\alpha_t$  и  $\beta_t$ , первая из которых характеризует наличие сигнала в прошлом, а вторая — присутствие сигнала в наблюдаемый момент времени.

В качестве статистик  $\alpha_t$  и  $\beta_t$  принимаются интегралы

$$\alpha_t = \int_0^t d\theta \int_0^{t-\theta} \varphi_0^{\theta+h} f(\theta, h) dh;$$

$$\beta_t = \int_0^t d\theta \int_{t-\theta}^{\infty} \varphi_0^t f(\theta, h) dh.$$

Теперь, используя выражение (1), получим

$$\pi_t^{(-)} = \frac{\alpha_t}{\alpha_t + \beta_t + P(\theta > t)};$$

$$\pi_t^{(0)} = \frac{\beta_t}{\alpha_t + \beta_t + P(\theta > t)};$$

$$\pi_t^{(+)} = \frac{P(\theta > t)}{\alpha_t + \beta_t + P(\theta > t)}.$$

При составлении дифференциальных уравнений для  $\alpha_t$  и  $\beta_t$  сначала составляются рекуррентные соотношения с малым временным шагом  $\Delta = t_{k+1} - t_k$ , а затем в результате предельного перехода (при  $\Delta \rightarrow 0$ ) получаются стохастические дифференциальные уравнения. Особенностью такой процедуры является то, что учитываются получающиеся при разложении  $\varphi_t^{t+\Delta}$  в ряд члены вида  $(\Delta w_t)^2$ , поскольку они имеют порядок  $\Delta$  (в среднеквадратическом смысле).

Уравнение для  $\alpha_t$ .

Для моментов времени  $t + \Delta$  значение статистики может быть представлено в виде

$$\alpha_{t+\Delta} = \int_0^t d\theta \int_0^{t-\theta} \varphi_0^{\theta+h} f(\theta, h) dh +$$

$$+ \int_0^t d\theta \int_{t-\theta}^{t+\Delta-\theta} \varphi_0^{\theta+h} f(\theta, h) dh + o(\Delta) =$$

$$= \alpha_t + \Delta \int_0^t \varphi_0^t f(\theta, t-\theta) d\theta + o(\Delta) = \alpha_t + \mu_t \Delta + o(\Delta),$$

где

$$\mu_t = \int_0^t \varphi_0^t f(\theta, t-\theta) d\theta.$$

Устремляя  $\Delta$  к нулю, получим уравнение для  $\alpha_t$  в виде

$$d\alpha_t = \mu_t dt.$$

В случае, когда распределение для  $h$  имеет вид

$$f_2(h) = \begin{cases} 0, & h < 0; \\ \delta e^{-\delta h}, & h \geq 0, \end{cases}$$

можно показать, что  $\mu_t = \delta \beta_t$  и поэтому в этом случае

$$d\alpha_t = \delta \beta_t dt.$$

Уравнение для  $\beta_t$ . Для момента времени  $t + \Delta$  значение статистики может быть представлено в виде

$$\beta_{t+\Delta} = \varphi_t^{t+\Delta} \left[ \int_0^t d\theta \int_{t-\theta}^{\infty} \varphi_0^t f(\theta, h) dh + \int_t^{t+\Delta} d\theta \int_{t-\theta}^{\infty} \varphi_0^t f(\theta, h) dh - \right.$$

$$\left. - \int_0^t d\theta \int_{t-\theta}^{t+\Delta-\theta} \varphi_0^t f(\theta, h) dh + o(\Delta) \right] =$$

$$= \varphi_t^{t+\Delta} \left[ \beta_t + f(t) \Delta - \Delta \int_0^t \varphi_0^t f(\theta, t-h) d\theta + o(\Delta) \right].$$

В случае, когда помехой является белый шум, т. е. дифференциал наблюдаемого воздействия имеет вид

$$d\eta_t = \chi_t dt + \sqrt{c_2} dw_t^{(n)},$$

$\varphi_t^{t+\Delta}$  может быть представлено в виде

$$\varphi_t^{t+\Delta} = e^{\frac{1}{c_2} m_0(t) \Delta \eta_t - \frac{1}{2c_2} m_0^2(t) \Delta} \approx$$

$$\approx 1 + \frac{1}{c_2} m_0(t) \Delta \eta_t - \frac{1}{2c_2} m_0^2(t) \Delta +$$

$$+ \frac{1}{2c_2^2} [m_0(t) \Delta \eta_t]^2 + o(\Delta) \approx 1 + \frac{1}{c_2} m_0(t) \Delta \eta_t.$$

Здесь вместо  $(\Delta \eta_t)^2$  взято его среднее значение  $c_2 \Delta$ , которое не зависит от того, содержит  $\eta_t$  сигнал или нет.

Теперь, пренебрегая членами порядка  $o(\Delta)$  и устремляя  $\Delta$  к нулю, получим стохастическое дифференциальное уравнение для  $\beta_t$  в виде

$$d\beta_t = [f_1(t) - \mu_t] dt + \frac{1}{c_2} m_0(t) \beta_t d\eta_t,$$

где

$$\mu_t = \int_0^t \varphi_0^t f(\theta, t-\theta) d\theta.$$

В частном случае, когда  $f_2(h)$  имеет вид

$$f_2(h) = \begin{cases} 0, & h < 0; \\ \delta e^{-\delta h}, & h \geq 0, \end{cases}$$

можно показать, что уравнение для  $\beta_t$  будет следующим:

$$d\beta_t = [f_1(t) - \delta \beta_t] dt + \frac{1}{c_2} m_0(t) \beta_t d\eta_t.$$

Значения оценки текущих значений сигнала  $m_0(t)$  определяются в результате решения уравнений Калмана—Бьюси.

Когда параметр сигнала случаен и дискретен, условные апостериорные вероятности  $\pi_i^{(-)}(t)$ ,  $\pi_i^{(0)}(t)$  и  $\pi_i^{(+)}(t)$  определяются соотношениями:

$$\pi_i^{(-)}(t) = \frac{\alpha_i(t)}{[\cdot]}; \quad \pi_i^{(0)}(t) = \frac{\beta_i(t)}{[\cdot]};$$

$$\pi_i^{(+)}(t) = \frac{P(\lambda_i|t)P(\theta > t)}{[\cdot]},$$

где  $[\cdot] = \sum_{j=1}^n \alpha_j(t) + \sum_{j=1}^n \beta_j(t) + P(\theta > t)$ .

С помощью  $\alpha_i(t)$  и  $\beta_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , получаемых в результате решения соответствующих уравнений, определяются  $\pi_i^{(-)}(t)$ ,  $\pi_i^{(0)}(t)$ ,  $\pi_i^{(+)}(t)$  и затем вычисляются  $\pi_t^{(-)}$ ,  $\pi_t^{(0)}$ ,  $\pi_t^{(+)}$  по формулам:

$$\pi_t^{(-)} = \sum_{i=1}^n \pi_i^{(-)}(t); \quad \pi_t^{(0)} = \sum_{i=1}^n \pi_i^{(0)}(t); \quad \pi_t^{(+)} = \sum_{i=1}^n \pi_i^{(+)}(t).$$

Наряду с двухэтапным способом вычисления апостериорных вероятностей возможен и одноэтапный способ их нахождения. Такую возможность открывает формула замены переменных (формула Ито), позволяющая уравнения для многомерного вектора  $x_t$  [в нашем случае  $\alpha_i(t)$  и  $\beta_i(t)$ ] с

$$dx_t = a(x_t, t)dt + b(x_t, t)dw_t$$

трансформировать в уравнения для  $y(x, t)$  [в нашем случае  $\pi_i^{(-)}(t)$ ;  $\pi_i^{(0)}(t)$ ;  $\pi_i^{(+)}(t)$ ]:

$$dy = \left( \frac{\partial y}{\partial t} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} a_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 y}{\partial x_i \partial x_j} b_i b_j \right) dt + \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} b_i dw_t.$$

Выполнив соответствующие подстановки, получим уравнения для  $\pi_i^{(-)}(t)$ ;  $\pi_i^{(0)}(t)$ ;  $\pi_i^{(+)}(t)$ .

В частном случае, когда продолжительность сигнала  $h$  имеет экспоненциальное распределение,

$$f(h) = \begin{cases} 0, & h < 0; \\ \delta e^{-\delta h}, & h \geq 0, \end{cases}$$

уравнения имеют вид:

$$d\pi_i^{(-)}(t) = P(\lambda_i|t)\delta\pi_i^{(0)}(t)dt - \frac{1}{c_2} \pi_i^{(-)}(t) \sum_{j=1}^n m_{\theta}(\lambda_j|t) \pi_j^{(0)}(t) \left[ d\eta_t - \sum_{j=1}^n m_{\theta}(\lambda_j|t) \pi_j^{(0)}(t) dt \right];$$

$$d\pi_i^{(0)}(t) = P(\lambda_i|t) \frac{f(t)}{P(\theta > t)} \sum_{j=1}^n \pi_j^{(+)}(t) dt - P(\lambda_i|t) \delta\pi_i^{(0)}(t) dt + \frac{1}{c_2} \pi_i^{(0)}(t) \left[ m_{\theta}(\lambda_i|t) - \sum_{j=1}^n m_{\theta}(\lambda_j|t) \pi_j^{(0)}(t) \right] \times \left[ d\eta_t - \sum_{j=1}^n m_{\theta}(\lambda_j|t) \pi_j^{(0)}(t) dt \right];$$

$$d\pi_i^{(+)}(t) = -P(\lambda_i|t) \frac{f(t)}{P(\theta > t)} \sum_{j=1}^n \pi_j^{(+)}(t) dt + \frac{1}{c_2} \pi_i^{(+)}(t) \sum_{j=1}^n m_{\theta}(\lambda_j|t) \pi_j^{(0)}(t) \times \left[ d\eta_t - \sum_{j=1}^n m_{\theta}(\lambda_j|t) \pi_j^{(0)}(t) dt \right];$$

$$\pi_i^{(-)}(0) = \pi_i^{(0)}(0) = 0; \quad \pi_i^{(+)}(0) = P(\lambda_i|0).$$

Здесь плотность  $f(t)$  — распределение начала воздействия сигнала  $\theta$ ;  $P(\lambda_i|t)$  — распределение параметра сигнала;  $m_{\theta}(\lambda_j|t)$  — оценка текущих значений сигнала, вычисляемая по Калману—Бьюси.

Уравнения для апостериорных вероятностей описывают динамику изменения  $\pi_i^{(-)}(t)$ ;  $\pi_i^{(0)}(t)$ ;  $\pi_i^{(+)}(t)$  во времени. Их последовательное во времени решение позволяет находить значения апостериорных вероятностей для текущего момента времени.

В приведенных уравнениях наблюдаемое воздействие  $\eta_t$  входит в виде дифференциала  $d\eta_t$ , а при их решении с помощью рекуррентных соотношений — в виде  $\Delta\eta_t = \eta_{t_{k+1}} - \eta_{t_k}$ . Такой характер считывания обусловлен тем, что

$$\eta_t = \int_0^t \theta_s ds + \sqrt{c_2} w_t^{(n)}$$

нестационарен, в то время как приращение

$$\Delta\eta_t = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \theta_s ds + \sqrt{c_2} (w_{t_{k+1}}^{(n)} - w_{t_k}^{(n)})$$

стационарно, хотя и требует интегрирования наблюдаемых воздействий за время шага дискретизации  $\Delta = t_{k+1} - t_k$ .

Необходимые значения  $c_2$ , входящие в уравнение в виде коэффициентов  $1/c_2$ , определяются в результате вычисления математического ожидания  $M(\Delta\eta_{t_k})^2$  и приравнивания его к  $c_2\Delta$ .

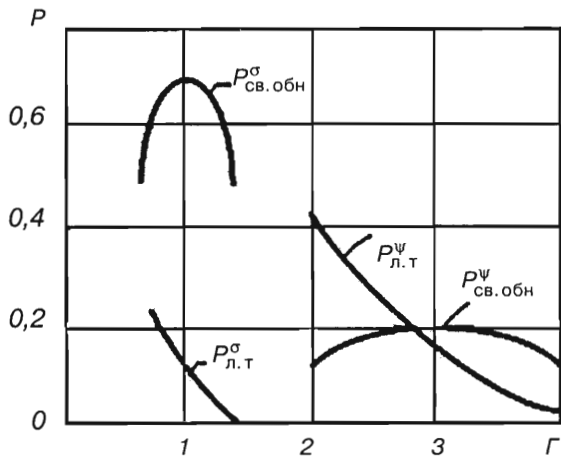
**Пример.** Рассмотрим случай, когда носитель системы обнаружения со скоростью  $v_H = 30$  м/с начинает движение в направлении цели, отстоящей от него на 6 км. Цель движется со случайными значениями скорости  $v$  и курса  $q$ , распределенными равномерно  $v \approx R [0, 15$  м/с] и  $q \approx R [0, 180$  град].

В этом случае, когда локатор пройдет 4 км, двухмерная гистограмма распределения  $F(\theta, v)$  в зависимости от значений интервалов задержки эхосигнала  $\theta$  (скорость звука — 1,5 км/с) и относительной величины сигнала  $r = 1/R$  (где  $R$  — расстояние между носителем и целью) будет иметь вид, представленный в таблице (значения вероятностей увеличены в 10 раз).

Наличие нулей в гистограмме технически означает целесообразность запираения в соответствующие моменты каналов, стробированных по дальности. Это позволит снизить мешающее воздействие помех. Математически эту роль выполняют переменные во времени коэффициенты  $P(\lambda_i|t)$ , входящие

■ Таблица

$\Delta r$ \ $\Delta \theta$	1,07 1,50	1,50 1,93	1,93 2,35	2,35 2,78	2,78 3,21	3,21 3,64	3,64 4,07	4,07 4,49	4,49 4,92	4,92 5,35
0,03 0,09	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,56	0,28
0,09 0,15	0	0	0	0	0	0,39	0,91	0,18	0	0
0,15 0,20	0	0	0	0	0,87	0,73	0	0	0	0
0,20 0,26	0	0	0	1,08	0,75	0	0	0	0	0
0,26 0,32	0	0	0	0,92	0	0	0	0	0	0
0,32 0,37	0	0	0,51	0,05	0	0	0	0	0	0
0,37 0,43	0	0	0,37	0	0	0	0	0	0	0
0,43 0,49	0	0,02	0,22	0	0	0	0	0	0	0
0,49 0,54	1,0	0,19	0	0	0	0	0	0	0	0
0,54 0,60	0,01	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0



■ Вероятности ложных тревог и своевременного обнаружения сигналов

в дифференциальные уравнения для  $\pi_i^{(-)}(t)$ ;  $\pi_i^{(0)}(t)$  и  $\pi_i^{(+)}(t)$ .

Практическая значимость предлагаемой процедуры обнаружения определяется возможностью увеличения дальности обнаружения по сравнению с системами обнаружения, построенными без учета обстановки и использующими статистику в виде логарифма отношения правдоподобия

$$\Psi_{t-h}^t(\lambda_i) = \frac{1}{c_2} \int_{t-h}^t m_{\theta}(s|\lambda_i) d\eta_s - \frac{1}{2c_2} \int_{t-h}^t m_{\theta}^2(s|\lambda_i) ds.$$

Результаты моделирования приведены на рисунке. Графиками показаны вероятности своевременного обнаружения сигнала для предлагаемого метода ( $P_{св.обн}^{\sigma}$ ) и традиционного ( $P_{св.обн}^{\psi}$ ). Приведены также вероятности ложных тревог  $P_{л.т}^{\sigma}$  и  $P_{л.т}^{\psi}$ . Видно, что предлагаемый метод по сравнению с традиционным увеличивает вероятность обнаружения сигнала  $P_{св.обн}$  с 0,22 до 0,73.

Для достижения в аналогичных условиях вероятности своевременного обнаружения  $P_{св.обн} = 0,73$  традиционным методом потребуется увеличение сигнала в 2,5–3,0 раза. При квадратичной зависимости величины сигнала от дистанции это значит, что предлагаемый метод обеспечивает увеличение дальности действия систем обнаружения в 1,5 раза и более.

### Литература

1. Ито К., Маккини Г. Диффузионные процессы и их траектории. — М.: Мир, 1968. — 396 с.
2. Калман Р. Е., Бьюси Р. С. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказания. Техническая механика. Сер. 83. Д 1. — М., 1961. — С. 95–107.
3. Роббинс Г., Сигмунд Д., Чао И. Теория оптимальных правил останова. — М.: Наука, 1975. — 168 с.
4. Ширяев А. Н. Статистический последовательный анализ. — М.: Наука, 1976. — 272 с.

УДК 681.518

# НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЗАДАЧАХ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО И ТЕСТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Д. Н. Колесников,**

доктор техн. наук

**А. М. Мендельсон,**

аспирант

Санкт-Петербургский государственный технический университет

*В работе рассмотрены возможности использования различных моделей нейронных сетей для решения задач тестового и функционального диагностирования динамических объектов. Обсуждаются достоинства и недостатки указанного подхода, а также возможные области применения. Приведены примеры использования нейронных сетей для диагностирования систем управления.*

*In this paper are reviewed a possibilities of different neural network models for detection abrupt changes in deterministic and stochastic dynamical systems. Advantages and disadvantages of this method and areas of industrial implementation are discussed. Representative practical examples illustrate the efficiency of the considered approaches.*

## Введение

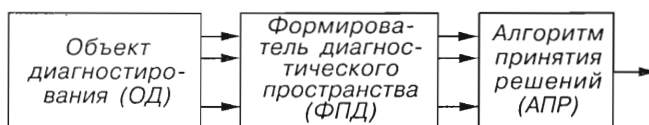
Задача обнаружения и локализации дефектов приобретает все большее значение с ростом уровня сложности автоматических систем управления и повышения требований к ним. Обнаружение дефектов и неисправностей в функционировании объектов очень важно с точки зрения обеспечения надежности и безопасности технических процессов, в связи с чем методы технической диагностики находят широкое применение в различных электромеханических системах (электрических двигателях, моторах), в бортовых летательных и судовых системах управления, в системах управления энергетическими объектами (устройствах релейной защиты), в управлении химическими реакторами и химическими процессами и др.

В самом общем виде структура системы диагностирования представлена на рис. 1. Система состоит из трех подсистем: собственно объекта диагностирования (ОД), формирователя диагностического пространства, или ФДП (*residual generation*) и алгоритма принятия решений, или АПР (*residual evaluation*). ФДП осуществляет функциональное преобразование пространства сигналов объекта диагностирования в пространство диагностических признаков, анализируя которые посредством АПР,

можно делать выводы о правильности функционирования ОД.

Научные исследования в области технической диагностики систем управления ведутся на основе методов аналитической избыточности [1–4], наблюдателей состояния [1,5], теории чувствительности [6,7], теории идентификации [8] и теории инвариантов [1,2] для формирования диагностического пространства, методов анализа временных рядов и алгоритмов обнаружения разладки случайных процессов [9,10], для принятия решения о наличии дефекта и многих других. В последние годы предложены и разработаны различные подходы для интеллектуализации систем диагностирования, основанные на распознавании образов, экспертных системах, искусственных нейронных сетях и нечёткой логике [11–13].

Широкое применение в диагностировании технических процессов находят методы на основе ис-



■ **Рис. 1.** Структура системы диагностирования

пользования модели (*model-based fault diagnosis*), главными преимуществами которых являются наглядность и универсальность. В этом случае для принятия решения используются невязки в виде разницы между выходами объекта и его модели [14, 15]. Очень часто в виде модели выступают наблюдатели Люенбергера (*observer-based fault diagnosis*) [16, 17]. В зависимости от выбора параметров наблюдателя различают системы диагностирования, построенные с использованием наблюдателя состояния, фильтра Калмана или обнаруживающих фильтров. Обнаруживающий фильтр (*detector filter*, *Beard-Jones filter*) является наблюдателем полной размерности, параметры которого выбраны таким образом, чтобы увеличить чувствительность к дефектам датчиков и приводов [5].

Методы аналитической избыточности (*analytical redundancy*) [18] основаны на проверке аналитических зависимостей (*parity space*), существующих между измеряемыми входами и выходами в системе управления. Одним из первых и хорошо разработанных методов этой группы является метод избыточных переменных [1, 2]. В работе [19] показано, что любой генератор невязок, основанный на использовании модели, может быть представлен в виде системы соотношений, т. е. сведен к аналитической избыточности. Таким образом, рассматриваемые методы также относят к методам диагностирования с использованием моделей.

Методы диагностирования с использованием модели построены на идеализированном представлении о том, что модель точно отражает динамику объекта или исследуемого процесса. Естественно, что известна модель нормального функционирования. Хорошо известно, что для большого класса систем эти допущения невозможно соблюсти на практике, так как полное и точное математическое описание часто недоступно или является достаточно сложным, что особенно верно для систем с ярко выраженными нелинейностями [20]. Нельзя, однако, не отметить, что попытки синтеза нелинейных наблюдателей существуют и для некоторых классов систем дают достаточно хорошие результаты (например, обзор и сравнение детерминированных нелинейных наблюдателей приводятся в работе [21]).

Группа алгоритмов принятия решений для случая, когда состояние объекта изменяется в процессе диагностирования, представляет интенсивно развивающуюся область построения алгоритмов обнаружения и разладки случайных процессов. Здесь наиболее интересными с точки зрения практического применения в задачах диагностирования систем управления являются алгоритм Пейджа, алгоритм кумулятивных сумм, алгоритм сигнального отношения, алгоритм, основанный на принципе невязок, и др. [10]. Использование этих методов основывается на следующих допущениях:

1) последовательность измерений может быть представлена как независимая последовательность или зависимая последовательность с определенной корреляционной функцией, т. е. круг моделей ограничен;

2) разладка проявляется скачком и заключается в изменении математического ожидания и/или дисперсии, т. е. сужается поле рассматриваемых разладок.

В общем случае в качестве алгоритма принятия решений используются различные алгоритмы классификации, такие как статистические или геометрические классификаторы.

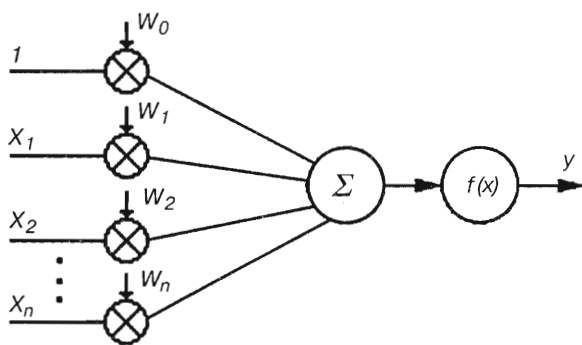
Альтернативой указанным выше подходам являются методы, основанные на приемах искусственного интеллекта. Стоит заметить, что в зарубежной литературе различаются понятия искусственного интеллекта (*artificial intelligence*) и теории интеллектуальных вычислений (*computational intelligence*). Разница заключается в том, что первый термин используется для аппаратной, а второй — для программной реализации алгоритмов. В группу этих методов входят методы диагностирования на основе нейросетевых моделей, нечеткой логики и экспертных систем.

В настоящий момент нейронные сети находят широкое применение при решении различных задач теории управления — от систем идентификации и регулирования до систем управления роботами. В этом смысле прекрасный обзор областей применения нейросетей в управлении и автоматизации дает сборник [22], название которого в переводе — «Теория интеллектуальных вычислений для моделирования, управления и автоматизации» — говорит само за себя. В работе [23] также приведен обзор применения нейронных сетей для решения задач моделирования, идентификации и контроля нелинейных систем. Нейронные сети являются инструментом, позволяющим создать более глубокую иерархию принятия решений с учетом места, вида и уровня возникшего в системе управления дефекта, вследствие чего они находят применение и в диагностировании [12, 19, 22, 24–27].

В том случае, если известна априорная информация о дефектах или существует возможность составления базы знания о дефектах и причинах, их вызывающих, возможно применение нечетких и экспертных систем диагностирования. В работе [28] нечеткая логика используется совместно с аналитической избыточностью (*fuzzy model-based parity equation*) для определения места дефекта. В работе [29] приводится пример организации диагностирования на основе нечетких экспертных систем (*fuzzy-based experts system*). Перспективным также является применение нечеткой логики для совместного использования качественной и количественной информации в системе АПР в задачах диагностирования.

## Основные положения теории нейронных сетей

Нейрон (нервная клетка) является основным элементом нервной системы, который обрабатывает информацию. МакКаллок и Питтс [30–32] предложили в качестве модели искусственного нейрона использовать бинарный пороговый элемент.



■ Рис. 2. Модель нейрона

Этот математический нейрон (рис. 2) вычисляет взвешенную сумму нескольких входных сигналов, сравнивает полученный сигнал с пороговым значением и подает результирующий сигнал на вход блока, реализующего активационную функцию нейрона.

Нейронная сеть (НС) определяется как взаимосвязанный набор нейронов. Разнообразие моделей нейронных сетей определяется существованием различных активационных функций, а также топологией их соединения и взаимодействия [10, 30–32]. Знание приобретается сетью в процессе обучения. Под обучением нейронной сети понимают целенаправленный процесс изменения значений весов, итеративно повторяемый до тех пор, пока сеть не приобретет необходимые свойства. В основе процесса обучения лежит набор тренировочных данных, представляющий собой набор векторов входных сигналов и соответствующих им векторов выходных сигналов. В процессе обучения на вход нейронной сети последовательно подаются данные из тренировочного набора, после чего вычисляется мера отклонения между желаемым и фактическим выходами сети. Далее с помощью определенного алгоритма происходит изменение весов нейронной сети в направлении уменьшения ошибки. Среди алгоритмов обучения нейронных сетей можно выделить группы ньютоновских алгоритмов, в том числе метод Левенберга—Марквардта, и методов наискорейшего спуска и сопряженных градиентов. Как показывают исследования [30], при малом количестве межнейронных связей наиболее эффективными оказываются методы первой группы, а уже при 1000 связей наилучшие результаты, как правило, дает метод сопряженных градиентов. Указанные группы методов являются локальными. Для достижения глобального минимума разработаны эволюционные алгоритмы обучения нейронных сетей, ярким представителем которых являются генетические алгоритмы. Таким образом, процедура обучения может начинаться с генетического алгоритма [30], а при достижении определенного порога генетический алгоритм сменяется локальным алгоритмом.

Благодаря обучению сеть приобретает возможность правильно реагировать не только на тренировочные данные, но также хорошо справляться с

другими данными из допустимого множества. В этом смысле говорят, что нейронная сеть обладает способностью к обобщению [30–32]. Ошибка в обучении обусловлена недостаточным качеством аппроксимации, выполняемой сетью конечных размеров, и неполнотой информации, предъявленной в процессе обучения.

Наибольшее распространение для решения задач распознавания образов, классификации и прогнозирования получили следующие типы нейронных сетей:

- сеть прямого распространения (*multilayer feedforward network*);
- сеть радиальных базисных функций (*radial basis network*);
- сеть Хопфилда (*Hopfield network*);
- нейронные сети с самоорганизацией (*self-organizing neural networks*).

Сеть прямого распространения сигнала или обратного распространения ошибки может использовать нейрон с любой дифференцируемой передаточной функцией. Наиболее часто используются нейроны с сигмоидальной передаточной функцией вида

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}}$$

либо

$$f(x) = \tanh(\beta x).$$

Сеть состоит из слоев, причем каждый нейрон предыдущего слоя обычно соединен со всеми нейронами предыдущего слоя. При распознавании образов эта сеть строит разделяющие поверхности в виде нелинейных поверхностей в многомерном пространстве.

Сеть радиальных базисных функций использует нейрон с так называемой потенциальной передаточной функцией, в роли которой чаще всего выступает гауссова функция  $f = e^{-(x - c)^2}$ . Такие сети особенно эффективны, когда доступно большое количество обучающих векторов.

Сеть Хопфилда относится к классу рекуррентных нейронных сетей. Выходы последнего слоя сети являются входами первого слоя. Такая структура за конечное число тактов времени обеспечивает сходимость к одному из заданных классов, т. е. это сеть без учителя (*unsupervised learning*). Иногда ее называют сетью с ассоциативной памятью.

Сети с самоорганизацией используют специальный соревновательный механизм. Это также сеть без учителя. Технология обучения получила название «Победитель получает все» («*Winner takes all*») или «Победитель получает больше» («*Winner takes most*»). Согласно ей только победивший в соревновании нейрон либо нейрон и группа соседних нейронов получают возможность адаптировать свои веса [30]. Такие сети осуществляют кластеризацию данных, так как после обучения при подаче на вход сети входного вектора будет активирован нейрон, отвечающий за группу наиболее похожих обучающих векторов.

Описание других нейронных сетей и более подробное описание рассмотренных сетей можно найти,



например, в монографии [30]. Там же приведены примеры использования различных структур сетей для решения задач обработки информации.

### Нейронные сети в диагностировании

В работах [33–35] показано, что обычная многослойная нейронная сеть прямого распространения сигнала с произвольной функцией активации может аппроксимировать любую функцию с заданной точностью при условии наличия достаточного числа нейронов в скрытом слое. В работе [36] приведены возможности аппроксимации функций радиальными базисными сетями. В соответствии с тем, что задача диагностирования подразумевает отображение пространства признаков в пространство состояний или классов дефектов, в технической диагностике наибольшее распространение получили многослойные нейронные сети прямого распространения, радиальные базисные сети и нейронные сети с самоорганизацией.

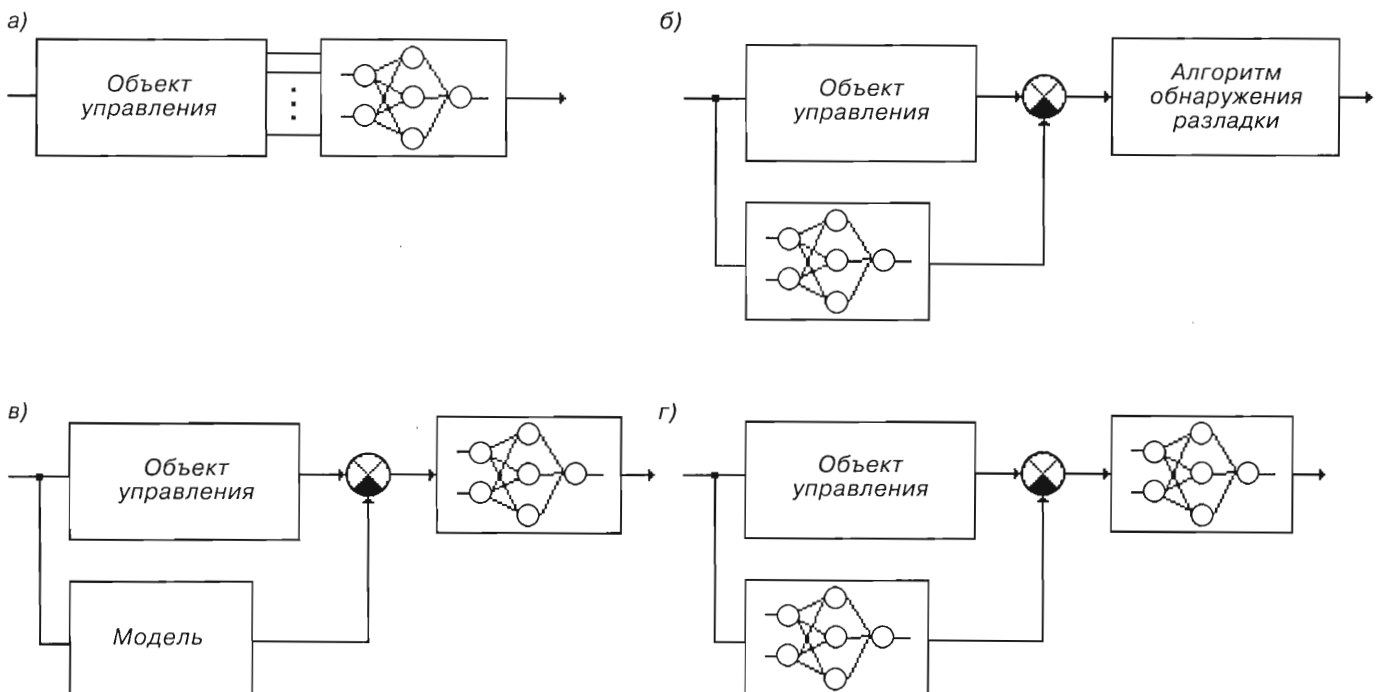
В системе диагностирования нейронные сети можно использовать в качестве модели динамической системы для генерации невязок и для классификации невязок, т. е. отображения пространства невязок в пространство классов дефектов. В зависимости от места и способа использования нейронной сети получаем различные структуры систем диагностирования (рис. 3).

Структура, изображенная на рис. 3, а, в качестве пространства признаков использует измеряемые параметры объекта (например, выходные сигналы). Также под эту структуру подходит использование для диагностирования тех или иных инвариантов

управляемого объекта. Нейронная сеть здесь используется в качестве устройства принятия решения. В структуре, представленной на рис. 3, б, нейронная сеть используется в качестве модели динамической системы, а в качестве алгоритма принятия решений используется любой алгоритм классификации (например, алгоритм обнаружения разладки). Следует отметить, что в последнем случае система диагностирования будет только обнаруживать дефекты, но не будет локализовать. Структура, представленная на рис. 3, в, использует стандартный подход с использованием модели для генерации невязок, в то время как нейронный классификатор решает задачу обнаружения и локализации дефектов. И наконец, система диагностирования, приведенная на рис. 3, г, использует нейронную сеть и как модель динамической системы и как классификатор класса дефекта. Заметим, что в структурах, изображенных на рис. 3, б и 3, в, происходит совмещение аналитических методов с нейросетевым подходом для решения связанных между собой задач генерации признаков и принятия решений. В литературе совместное применение различных методов и моделей для обработки информации получило название *гибридизации* [30].

В случае использования нейронной сети в качестве алгоритма классификации в независимости от структуры (если нейронная сеть имеет два выхода) обычно решается задача обнаружения. В противном случае, т. е. когда выходов больше двух, решается задача обнаружения и локализации дефектов и, возможно, определения величины дефекта.

**Нейронные сети как модели динамических систем.** Для применения методов диагностирования к классу нелинейных систем в общем случае



■ Рис. 3. Структуры диагностирования на основе нейронных сетей

необходимо линеаризовать модель. Однако линеаризованная модель не вполне отражает свойства систем с ярко выраженными нелинейностями. Хорошо известно, что качество диагностирования с использованием модели определяется качеством этой модели. Если модель ведет себя неадекватно объекту, то система диагностирования неработоспособна. Одним из преимуществ нейронных сетей является способность аппроксимировать любую нелинейную функцию, используя соответствующую архитектуру сети. Таким образом, на основе нейронной сети может быть построена модель динамической системы или сетевой наблюдатель (рис. 4). Невязки между выходами объекта и выходами сети будут представлять собой пространство диагностических признаков.

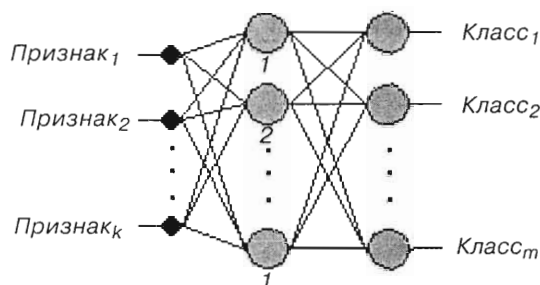
В частности, в работе [37] реализован наблюдатель на основе нейронной сети, правда, безотносительно к задаче технической диагностики, где в качестве изучаемого процесса использовалось уравнение Ван Дер Поля. Такой подход также представлен в работе [24]. В работе [38] для создания модели функционирования нелинейного химического процесса используются радиальные базисные сети со сплайном типа тонкой пластинки (сплайн-поверхность), потенциальная функция которого имеет вид

$$f(x) = (x - c)^2 \log(x - c).$$

Сплайн-поверхность позволяет гладко восстанавливать функцию нескольких переменных на произвольной конечной сетке точек. В работе [39] она предлагается для использования в виде модели.

**Нейронные сети как классификаторы.** Наибольшее распространение в задаче обнаружения и локализации дефектов нейронные сети получили как алгоритм принятия решений (рис. 5). Здесь уже решается типичная задача распознавания образов (*pattern recognition*). Главная задача — отнести вектор диагностических признаков к соответствующему классу, т.е. найти взаимосвязь между диагностическим пространством и возможными состояниями ОД.

Нейронная сеть как классификатор для обнаружения дефектов используется в работах [12, 20, 24–27, 30, 40–51]. При этом для диагностирования чаще



■ Рис. 5. Нейронные сети для классификации

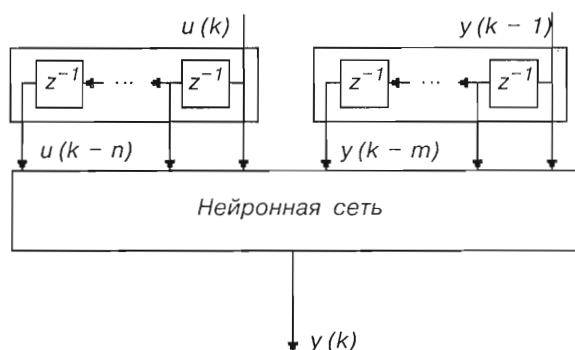
всего применяют нейронные сети прямого распространения сигнала и нейронные сети с самоорганизацией, хотя существуют и работы, где используются радиальные нейронные сети.

В работе [20] нейронная сеть с одним скрытым слоем используется для построения системы тестового диагностирования пневматическим клапаном. Входами сети являются различные параметры переходной функции системы (перерегулирование, задержка отклика, статическая ошибка, время достижения максимального значения и др.). Заметим, что сеть имеет три выхода. Нестандартность заключается в том, что выходы индицируют не наличие какого-либо класса дефекта, как в большинстве работ (только один из выходов является индикатором класса нормального функционирования), а величину определенного дефекта (в данном случае утечка в диафрагме и блокирование клапана). Таким образом, здесь решается задача обнаружения, локализации и определения величины дефекта. В работе [40] многослойная нейронная сеть используется для обнаружения дефектов датчиков системы управления. Входами сети являются 24 коэффициента Фурье-преобразования выходного сигнала системы. В качестве желаемых выходов использовалась пара (0,95 0,05). Удовлетворительное решение было получено только после двух часов обучения и тестирования. В работе [41] для диагностирования используется многослойная нейронная сеть с эллипсоидальной активационной функцией, имеющей следующий вид:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-E(x)}},$$

$$E(x) = -(x - m)^T (D^T D)^{-1} (x - m) + 1,$$

где  $m$  — центр многомерного эллипсоида;  $D$  — диагональная матрица полудлин осей эллипсоида. Нейронную сеть предлагается разбивать на несколько подсетей согласно количеству распознаваемых классов и обучать эти сети независимо. Натренированная сеть используется для поиска и локализации дефектов в системе управления каталитическим реактором, причем сеть тренируется на 15 классах дефектов, а тестирование проводится на 31 классе дефектов. В работе также сравниваются результаты с радиальными сетями и сетями прямого распространения. В работе [42] для диагностирования системы управления прокаткой



■ Рис. 4. Нейронная сеть как модель динамической системы

стали применены нейронные сети, в которых в качестве функции активации используются вейвлеты. В работе [43] для диагностирования энергетического объекта используются многослойные нейронные сети и радиальные сети. Нейронная сеть имеет 15 входов, характеризующих собой физические параметры объекта, такие как, например, температура и давление. Результаты, представленные в работе, свидетельствуют о том, что многослойные нейронные сети позволяют добиться большего обобщения в отличие от радиальных сетей. Такой же результат приведен в работах [12] и [27]. При этом в работе [27] показано, что, хотя радиальные сети не дают таких результатов, как сети прямого распространения, их преимуществом является скорость обучения. Работы [44–48], представленные на проводимой регулярно конференции SAFEPROCESS по диагностике динамических систем, используют многослойные нейронные сети для поиска неисправности. В работе [49] предложена процедура диагностирования на основе нечеткой нейронной сети ANFIS (*Artificial Neuro-Fuzzy Interference System*).

В работах [30, 50, 51] для диагностирования применяются самоорганизующие нейронные сети (*self-organizing neural networks*), известные также как карты Кохонена (*Kohonen maps*) — по имени их изобретателя. В работе [30] нейронная сеть с самоорганизацией используется для диагностирования неисправностей оборудования. При этом используется способность сети к сжатию данных, т. е. к представлению множества точек вектором весов единственного нейрона. Как и везде, основополагающим здесь является предположение о том, что каждый класс дефектов порождает специфическое изменение характеристик устройства. Нейрон, побеждающий в конкуренции, представляет либо нормальный режим работы, либо определенную неисправность. Нейронные сети с самоорганизацией активизируют единственный нейрон, что позволяет локализовать поврежденный элемент независимо от состояния остальных. В работе [50] для об-

наружения дефектов датчиков используется самоорганизующая нейронная сеть с ограничениями на значения весов (*constrained Kohonen network*). Это, с точки зрения авторов, позволяет правильно классифицировать дефекты, даже если выход системы зависит от состояния системы или при дрейфе нуля датчиков. В работе [51] нейронная сеть Кохонена используется для диагностики химического процесса плавки металла.

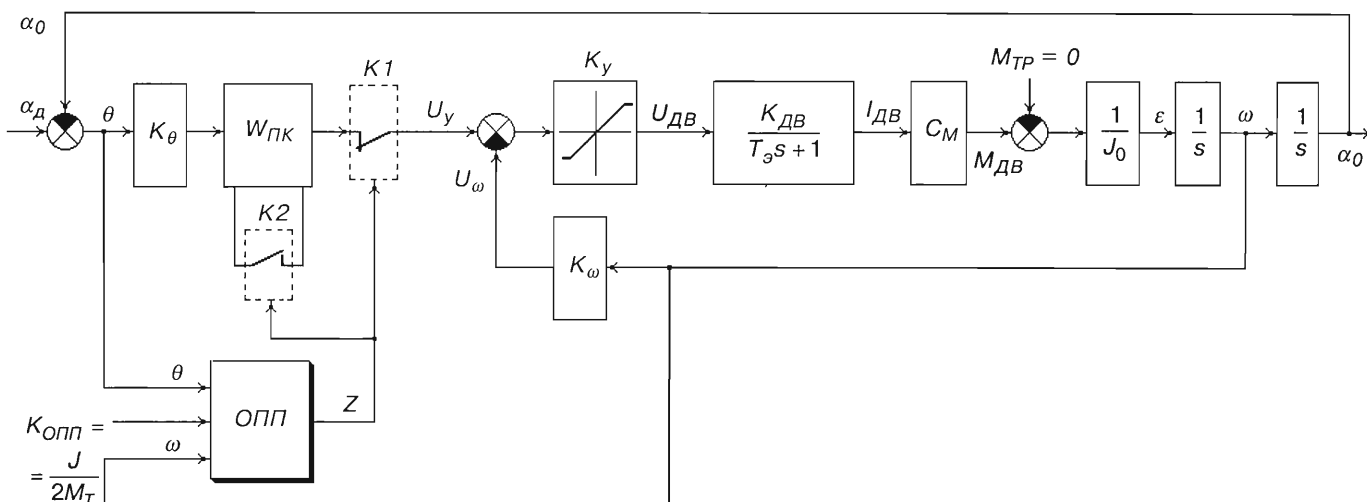
### Примеры

Рассмотрим два иллюстративных примера. В первом из них нейронные сети используются для создания диагностического пространства дискретной системы управления в режимах перебора и наведения, а во второй — для тестового диагностирования системы управления курсом судна. Все расчеты были выполнены в математическом пакете MATLAB на компьютере AMD Athlon 1.7 GHz.

#### Пример 1. Дискретная система управления

Структурная схема рассматриваемой системы управления представлена на рис. 6. Система является нелинейной с переменной структурой, управление которой осуществляется так называемым оптимизатором переходного процесса (ОПП). ОПП предназначен для отработки больших перегласований и обеспечивает минимальное перерегулирование при максимально возможном быстродействии. Алгоритм функционирования ОПП рассмотрен в работе [52].

Для создания системы диагностирования будем использовать модельный подход, при этом реализуем модель системы управления на основе нейронной сети прямого распространения с задержками с одним скрытым слоем. Модель должна в точности повторять поведение системы, для того чтобы при правильном функционировании системы отклонения выходов объекта от модели отсутствовали или были незначительными. В случае



■ Рис. 6. Структурная схема дискретной системы управления

■ Таблица 1. Классы дефектов

№	Класс дефекта
1	Дефект обратной связи по скорости ( $K_w$ )
2	Дефект ОПП ( $K_{ОПП}$ )
3	Дефект коэффициента усиления двигателя ( $K_{дв}$ )
4	Дефект электромагнитной постоянной двигателя ( $T_3$ )

наличия неисправности поведение невязок должно меняться таким образом, чтобы обнаружить дефект. Исследуемые классы дефектов представлены в табл. 1.

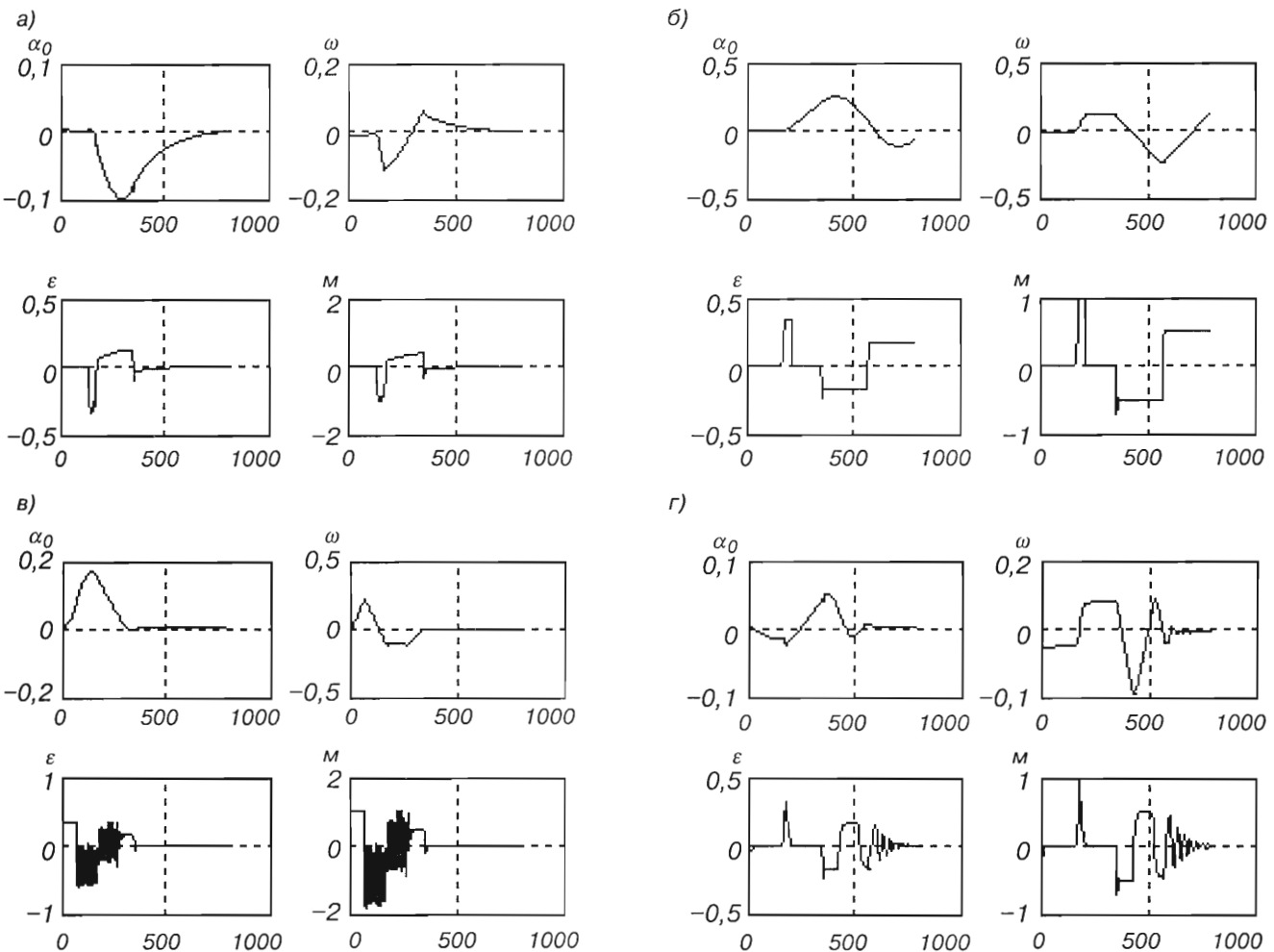
Будем считать, что система имеет четыре датчика, позволяющих измерять текущие значения координаты, скорости, ускорения и момента двигателя. В простейшем случае, когда на систему в рабочем режиме подается единичная функция, будем синтезировать нейросетевую наблюдатель в виде структуры, входами которой являются по два предыдущих измерения выходов системы. Таким образом, синтезированная нейронная сеть будет представлять собой предсказатель (*predictor*) те-

кущего выходного сигнала по двум предыдущим, что эквивалентно использованию в качестве наблюдателя нелинейной модели авторегрессии второго порядка:

$$y(t) = f(y(t-1), y(t-2)).$$

Количество нейронов скрытого слоя обычно определяется варьированием структуры сети и выбором структуры, дающей наилучший результат. В эксперименте использовалась сеть вида 8-30-4 с 30 нейронами в скрытом слое. Сеть обучалась с помощью алгоритма Левенберга—Марквардта. Для обучения использовались 800 отсчетов выходного сигнала, представляющего собой переходную характеристику системы. Тестовое подмножество также состояло из 800 отсчетов выходного сигнала, сдвинутых на половину интервала дискретизации. Полученные в результате невязки для рассматриваемых классов дефектов имеют вид, изображенный на рис. 7.

Видно, что при наличии рассматриваемых дефектов невязки отличны от нуля и проявляют себя по-разному, что является главным требованием для различимости дефектов.



■ Рис. 7. Диагностическое пространство системы: а — дефект ОС по скорости; б — дефект ОПП; в — дефект коэффициента усиления; г — дефект постоянной времени

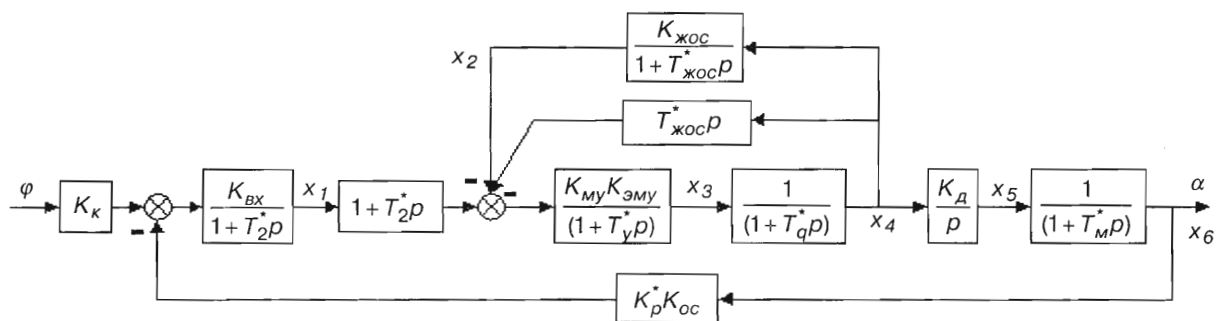


Рис. 8. Структурная схема следящей системы управления рулем

**Пример 2. Система управления курсом судна**

Структурная схема системы управления курсом судна представлена на рис. 8 (φ — угол поворота штурвала, град; α — угол отклонения пера руля, град).

Система обеспечивает изменение положения руля в соответствии с воспроизводящим воздействием штурвала. Полное описание системы и ее параметры приведены в монографии [53]. Небольшие отклонения параметров системы, как правило, приводят к ухудшению ее качественных показателей. В связи с этим встает задача обеспечения диагностирования возможных параметрических дефектов (табл. 2); при этом под параметрическим дефектом понимается отклонение параметра от номинального значения не более, чем на 5 %.

Анализ возможных методов формирования диагностического пространства показал, что большой чувствительностью к параметрическим дефектам обладают ганкелевы сингулярные числа [2, 54, 55]. Ганкелевы сингулярные числа передаточной функции системы  $W(s)$  являются квадратными корнями собственных чисел матрицы произведения грамианов управляемости  $P$  и наблюдаемости  $Q$  и характеризуют энергии переменных состояния при импульсном возбуждении системы:

$$\sigma_i(W(s)) = \sqrt{\lambda_i(PQ)}.$$

Существующий итерационный алгоритм [2, 54, 55] позволяет получить все ганкелевы числа системы при заранее неизвестном описании системы. Зависимость ганкелевых чисел от параметров системы является существенно нелинейной, что дает

Таблица 2. Классы дефектов

№	Класс дефекта
0	Нормальное функционирование
1	Дефект главной ОС ( $K_p$ или $K_{oc}$ )
2	Дефект коэффициента усиления на участке под главной ОС ( $K_{вх}$ или $K_d$ )
3	Дефект общего коэффициента усиления ( $K_k$ )
4	Дефект локальной ОС ( $K_{жос}$ )
5	Дефект коэффициента усиления на участке под локальной ОС ( $K_{му}$ или $K_{эму}$ )

основание использовать в качестве алгоритма классификации нейронную сеть. Таким образом, в рассматриваемой системе диагностирования, согласно рис. 1, диагностическое пространство состоит из ганкелевых чисел системы, а алгоритм принятия решения о наличии и месте дефекта реализуется нейронной сетью. Будем использовать нейронную сеть прямого распространения с одним скрытым слоем как наиболее удачно зарекомендовавшую себя для решения задач классификации [12, 27, 43]. Для определения размерности входного слоя используем метод главных компонент (*principal component analysis*). Для рассматриваемой системы и классов дефектов существует четыре линейных комбинации ганкелевых чисел, вклад которых в формирование выходного сигнала составляет более 1 %. Таким образом, получаем нейронную сеть 4-1-6. В качестве алгоритма обучения был выбран метод на основе регуляризации. Для обучения сети использовалась выборка из 900 образов — по 150 образов на каждый класс. Критерием останова сети являлся проход 300 итераций. Выбор количества нейронов в скрытом слое осуществлялся методом моделирования различных структур нейронной сети. Полученная зависимость вероятности верной локализации от числа нейронов в скрытом слое представлена в табл. 3.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что наибольшая вероятность верной локализации достигается при числе нейронов от 16 до 24. Здесь для выбора количества нейронов скрытого слоя можно использовать следующее эвристическое правило: число нейронов скрытого слоя определяется как удвоенная сумма количества входных и выходных нейронов.

Тестирование сети осуществлялось в режиме малых, средних и больших дефектов. Объем выборки в каждом режиме также составлял 900 образов. Результаты моделирования для  $l = 20$  представлены в табл. 4, при этом первое число в каждой ячей-

Таблица 3. Зависимость вероятности верной локализации от числа нейронов

$l$	8	12	16	20	24	28
$P_{вл}$	0,84	0,87	0,90	0,91	0,90	0,72

■ Таблица 4. Результаты моделирования для  $l = 20$

Класс	Любые дефекты	5 %-10 %	10 %-20 %	Более 20 %
0	134 / 89 %	—	—	—
1	135 / 90 %	76 / 51 %	150 / 100 %	149 / 99 %
2	133 / 89 %	70 / 47 %	149 / 99 %	150 / 100 %
3	127 / 85 %	81 / 54 %	149 / 99 %	150 / 100 %
4	142 / 95 %	130 / 87 %	150 / 100 %	150 / 100 %
5	144 / 96 %	106 / 71 %	150 / 100 %	149 / 99 %
<i>Итого</i>	829 / 91 %	463 / 62 %	748 / 99,7 %	748 / 99,7 %

ке показывает количество правильно распознанных дефектов, а второе отражает процент правильно распознанных дефектов из общего количества дефектов данного класса.

### Заключение

В работе были подробно рассмотрены возможности использования нейронных сетей для обнаружения и локализации дефектов в системе управления. Применение нейросетевых моделей позволяет отойти от фиксированного порога и от аналитической модели класса, что может уменьшить вероятность ложных срабатываний. Нейронные сети имеют также и существенные недостатки, к которым, безусловно, относятся отсутствие методики определения структуры сети, количества нейронов в скрытом слое и параметров активационной функции. Также стоит отметить трудоемкость

обучения сети. Отсутствие какой-либо гарантии из-за неполного спектра представленных данных и невозможность извлечения знания являются серьезными препятствиями на пути внедрения нейронных сетей для диагностирования критически важных динамических систем. Доводом к использованию нейросетевого аппарата является тот факт, что нейронные сети просто адаптируются к изменяющимся условиям окружающей среды и менее требовательны к точности априорной информации о характере сигналов и величине дефекта.

Приведенные в работе результаты показывают, что совместное применение методов формирования диагностического пространства и нейросетевых систем для принятия решений открывает новые перспективы для решения широкого класса задач в области технической диагностики. Таким образом, методы искусственного интеллекта могут занять свое место в теории функционального и тестового диагностирования динамических систем.

### Литература

1. **Игнатъев М. Б., Мироновский Л. А., Юдович В. С.** Контроль и диагностика робототехнических систем: Учеб. пособие. — Л.: ЛИАП, 1985. — 160 с.
2. **Мироновский Л. А.** Функциональное диагностирование динамических систем. — М.; СПб.: МГУ—ГРИФ, 1998. — 256 с.
3. **Гришин Ю. П., Казаринов Ю. М.** Динамические системы, устойчивые к отказам. — М.: Радио и связь, 1985. — 176 с.
4. **Isermann R.** Process fault detection based on modeling and estimation methods. A survey // Automatica. — 1984. — Vol. 20. — N 4. — P. 387–404.
5. **Beard R. V.** Failure accomodation in linear systems through self-reorganization. — NASA. — Rep. CR — 118314, 1971.
6. **Воробьев В. В.** Модифицированные методы идентификации отказов в динамических системах // Автоматика и телемеханика, 2000. — №11. — С. 165–178.
7. **Акимов А. Н.** Метод идентификации отказов динамических систем // Автоматика и телемеханика. — 1992. — № 2. — С. 161–166.
8. **Современные методы идентификации** / Под ред. Эйкхоффа. — М.: Мир, 1983. — 400 с.
9. **Никифоров И. В.** Последовательное обнаружение свойств временных рядов. — М.: Наука, 1983. — 199 с.
10. **Бендерская Е. Н., Колесников Д. Н., Пахомова В. И.** Функциональная диагностика систем управления. — СПб.: СПбГТУ. — 2000. — 144 с.
11. **Баршдорф Д.** Нейронные сети и нечеткая логика. Новые концепции для технической диагностики неисправностей // Приборы и системы управления. — 1996. — № 2. — С. 48–52.
12. **Sorsa T., Koivo H. N., Koivisto H.** Neural Networks in process fault diagnosis. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, 21(4):815–825, 1991.
13. **Тоценко В. Г.** Обобщенная концепция экспертных систем диагностирования // Электронное моделирование. — 1995. — Т. 17. — № 5. — С. 26–33.
14. **Isermann R.** Fault Diagnosis of Machines via Parameter Estimation and Knowledge Processing // Automatica. — V. 29. — N 4. — P. 815–835.
15. **Isermann R.** Supervision, Fault-detection and Fault-diagnosis Methods — an Introduction // Control Engineering Practice. — Vol. 5. — 1997. — N 5. — P. 639–652.

16. **Patton R. J., Chen J.** Observer-based Fault Detection and Isolation: Robustness and Applications // *Control Engineering Practice*. — Vol. 5. — 1997. — N 5. — P. 671–682.
17. **Frank P. M., Ding X.** Survey of robust residual generation and evaluation methods in observer-based fault detection systems // *Journal of Process Control*. — Vol. 7. — 1997. — N 6. — P. 403–424.
18. **Getler J.** Fault Detection and Isolation Using Parity Relations // *Control Engineering Practice*. — Vol. 5. — 1997. — N 5. — P. 653–661.
19. **Getler J.** Analytical redundancy methods in fault detection and diagnosis // *Proceedings IFAC SAFEPROCESS Symposium*. — 1991. — P. 9–21.
20. **Karpenko M., Sepehri N., Scuse D.** Diagnosis of Process valve Actuator Faults Using a Multilayer Neural Network // *Control Engineering Practice*. — Vol. 11. — 2003. — N 11. — P. 1289–1299.
21. **E. Alcorta Garcia, Frank P. M.** Deterministic Non-linear observer-based approaches to fault diagnosis: A survey // *Control Engineering Practice*. — Vol. 5. — 1997. — N 5. — P. 663–670.
22. **Neural Networks and Advanced Control Strategies.** Vol. 54. Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, IOS Press, Amsterdam, 1999.
23. **Hunt K. J., Sbarbaro D.** Neural Networks for Control Systems — A Survey // *Automatica*. — Vol. 28. — 1992. — N 6. — P. 1083–1112.
24. **Patton R.J., Chen J.** Neural Networks in Fault Diagnosis of Nonlinear Dynamic Systems // *Электронное моделирование*. — 1995. — Т. 17. — N 6. — С. 3–12.
25. **Suewatanakul W., Himmelblau D. M.** Fault Detection Via Artificial Neural Networks // *Электронное моделирование*. — 1995. — Т. 17. — N 6. — С. 34–43.
26. **Dubuisson B., Masson M., Frelicot C.** Some topics in using pattern recognition for system diagnosis // *Электронное моделирование*. — 1995. — Т. 17. — N 5. — С. 76–88.
27. **Tzafestas S., Dalianis P.** Artificial Neural Networks in the Fault Diagnosis of Technological Systems: A Case Study in Chemical Engineering Process // *Электронное моделирование*. — 1995. — Т. 17. — N 6. — С. 21–27.
28. **Balle P.** Fuzzy-model-based parity equations for fault isolation // *Control Engineering Practice*. — 1999. — Vol. 7. — P. 261–270.
29. **Carrasco E. F., Rodriguez J., Punal A., Roca E., Lema J.M.** Diagnosis of acidification states in an anaerobic wastewater treatment plant using a fuzzy-based expert system // *Control Engineering Practice*. — 2004. — Vol. 12. — P. 59–64.
30. **Осовский С.** Нейронные сети для обработки информации. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.
31. **Заенцев И.** Нейронные сети: Основные модели: Учеб. пособие. — Воронеж: ВГУ, 1999. — 76 с.
32. **Уоссермен Ф.** Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. — М.: Мир, 1992. — 184 с.
33. **Субенко G.** Approximations by superpositions of a sigmoidal function // *Math. of Control Signals and Systems*. — Vol. 2. — 1989. — P. 303–314, 1989.
34. **Funahashi K.** On the approximate realization of continuous mappings by neural networks. — Vol 2. — 1982. — P. 183–192.
35. **Hornik K., Stinchcombe M., White H.** Multilayer feed-forward networks are universal approximators, *Neural Networks*. — Vol. 2. — 1989. — P. 359–366.
36. **Leonard J. A., Kramer M. A., Ungar L. H.** Using radial basis functions to approximate a function and its error bounds // *IEEE Transaction on Neural Networks*. — Vol. 3. — N 4. — 1992.
37. **Ahmed M. S., Riyaz S. H.** Design of dynamic neural observers // *IEE Proceedings Control Theory Application*. — Vol. 147. — 2000. — N 3. — P. 257–266.
38. **Yu D.L., Gomm J.B., Williams D.** Sensor fault diagnosis in a chemical process via RBF neural networks // *Control Engineering Practice*. — Vol. 7. — 1999. — N 1. — P. 49–55.
39. **Chen S., Billings S., Cowan C.F., Grant, P.M.** Practical identification of NARMAX models using radial basis functions // *International Journal of Control*. — Vol. 52. — 1990. — P. 1327–1350.
40. **Naidu S.R., Zafiriou E., McAvooy T. J.** Use of neural networks for sensor failure detection in a control system // *IEEE Control System Magazine*. — Vol. 10. — 1990. — P. 49–55.
41. **Kavuri S. N., Venkatasubramanian V.** Neural network decomposition strategies for large-scale fault diagnosis // *Int. J. of Control*. — Vol. 59. — N 3. — 1994.
42. **Bissessur Y., Martin E. B.** Fault detection in hot steel rolling using neural networks and multivariate statistics // *IEE Proceedings Control Theory Application*. — Vol. 147. — 2000. — N 6. — P. 633–640.
43. **Guglielmi G., Parisini T., Rossi G.** Fault diagnosis and neural networks: a power plant application // *Control Engineering Practice*. — Vol. 3. — 1995. — N 5. — P. 601–620.
44. **Bonfert J. P.** Using Neural Networks in Nuclear Power Plants for State Diagnosis // *Proceedings IFAC SAFEPROCESS Symposium*. — 1994. — P. 613–617.
45. **Ayoubi M.** Fault Diagnosis with Dynamic Neural Structure and Application to a Turbocharger // *Proceedings IFAC SAFEPROCESS Symposium*. — 1994. — P. 618–623.
46. **Jumma T., Parkkinen R.** Application of a Neural Network to Condition Monitoring and Fault Diagnosis in a Pressure System // *Proceedings IFAC SAFEPROCESS Symposium*. — 1994. — P. 624–630.
47. **Roehli N., Pedreira C., Fialho M.** Incipient Fault Detection in Rotating Machinery by Using Artificial Neural Networks // *Proceedings IFAC SAFEPROCESS Symposium*. — 1994. — P. 631–636.
48. **Daley S., Wang H.** A Neural Network Approach to the Detection and Diagnosis of Faults in a Hydraulic Test Rig // *Proceedings IFAC SAFEPROCESS Symposium*. — 1994. — P. 637–642.
49. **Al-Jarrah O.M., Al-Rousan M.** Fault detection and accommodation in dynamic systems using adaptive neurofuzzy systems // *IEE Proceedings Control Theory Application*. — Vol. 148. — 2001. — N 4. — P. 283–290.
50. **Chan C. W., Hong Jin, Cheung K. C., Zhang H. Y.** Fault detection of systems with redundant sensors using constrained Kohonen networks // *Automatica*. — Vol. 37. — 2001. — P. 1671–1676.
51. **Jamsa-Jounela S.-L.** A process monitoring system based on the Kohonen self-organizing maps // *Control Engineering Practice*. — Vol. 11. — 2003. — P. 83–92.
52. **Левинзон Г. Л., Макаров Б. Ф., Мороз А. В., Эльстин В. И.** Следящая система / А. с. № 1529175, 15.08.1989.
53. **Фрейдзон И. Р.** Математическое моделирование систем автоматического управления на судах. — Л.: Судостроение, 1969. — 493 с.
54. **Мироновский Л. А.** Ганкелев оператор и ганкелевы функции линейных систем // *АиТ*. — 1992. — № 9. — С. 73–86.
55. **Mendelson A. M.** Hankel Singular Values and Neural Networks Approach for Fault Diagnosis // *IX International Student Olympiad on Automatic Control, Saint-Petersburg, 2002.*

УДК.621.396.67

## МЕТОД РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ АПЕРТУРНЫХ АНТЕНН НА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ ИЗ КОМПОЗИТОВ

**А. А. Оводенко,**

доктор техн. наук, профессор

**В. Н. Красюк,**

доктор техн. наук, профессор

**В. В. Горбацкий,**

ассистент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Разработан метод расчета характеристик излучения апертурных антенн для летательных аппаратов, выполненных полностью или фрагментарно из композитного материала. Учитывается технологическая особенность композита: продольное распределение комплексной диэлектрической проницаемости. Оценено влияние композитного покрытия на диаграмму направленности, проводимость антенны и на бортовой потенциал РТС.*

*The method of performance estimation of aperture antennas radiation for aircrafts, which are completely or partially made of composit material, was implemented. The technological property of composit longitudinal distribution of complex dielectric — is considered. The influence of composit material on polar pattern, antenna conductance and airborne system has been estimated.*

Управление и получение информации с помощью дистанционно пилотируемого летательного аппарата (ДПЛА) с малым значением эффективной площади рассеяния (ЭПР) включает в себя ряд бортовых антенн, размещенных на ДПЛА, фюзеляж которого выполнен из композитов. Это усложняет расчет и проектирование таких антенн, так как пока имеются методы расчета только для металлических конструкций летательных аппаратов. Одному из методов расчета антенны как элемента информационно-управляющей системы ДПЛА и посвящается данная статья.

Использование антенн на летательных аппаратах из композитов (например, в малой авиации) может в значительной степени изменить их характеристики излучения. Степень влияния композита определяется его параметрами: комплексной диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon$ ) и ее распределением как по толщине, так и по продольной координате. Композит оказывает влияние на характеристики излучения антенн различных РТС в широком диапазоне длин волн.

В настоящее время расчет характеристик излучения таких антенн производится в приближении однородного композитного покрытия на фольге (значение  $\epsilon$  не зависит от координат), слоисто-однородного композитного покрытия на фольге (значение  $\epsilon$  в каждом слое не зависит от координат) и неоднородного по толщине [1]. Причем последний случай сводится ко второму путем условного разбиения на  $l$  слоев, сколь угодно точно аппроксимирующих непрерывное изменение  $\epsilon$  по толщине композита. Однако все эти модели не учитывают изменение  $\epsilon$  по касательным (вдоль раскрыва антенны) направлениям, реально существующее у композитного материала.

В случае пространственной неоднородности композита для вычисления характеристик излучения антенн требуется решить нелинейную систему уравнений Максвелла [2]:

$$\begin{cases} \nabla^2 \vec{E} + \text{grad} \left\{ \text{grad} \left[ \ln \epsilon(x, y, z) \vec{E} \right] \right\} + k_0^2 \epsilon(x, y, z) \vec{E} = 0, \\ \vec{H} = \frac{j}{\omega \mu_a} \text{rot} \vec{E}. \end{cases} \quad (1)$$



При произвольном распределении  $\bar{\epsilon}(x, y, z)$  и возбуждении антенны найти решение этой задачи в замкнутом виде невозможно через замкнутые функции.

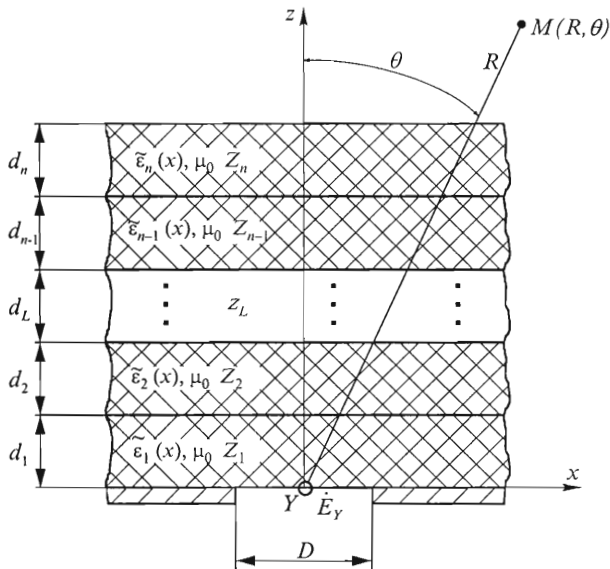
В статье рассматривается метод расчета характеристик излучения апертурных антенн, расположенных в плоской идеально проводящей бесконечной фольге с пространственно-неоднородным композитным покрытием, в случаях, если пространственная задача (1) может быть сведена к двумерной, т. е. считаем:  $\bar{\epsilon}(x, y, z) = \bar{\epsilon}(x, z)$ . Сначала рассмотрим излучение плоской апертуры  $D$ , покрытой таким диэлектриком. Разобьем композит на  $n$  слоев так, что в каждом из них  $\bar{\epsilon}_L(x, z)$  можно считать не зависящей от координаты  $z$ , т. е.  $\bar{\epsilon}_L(x, z) = \bar{\epsilon}_L(x)$ . Модель излучающей системы показана на рис. 1. Электрическое поле во всех точках апертуры направлено вдоль оси  $y$  и не зависит от этой координаты, т. е.  $\vec{E} = \vec{E}_y(x, z)$ ,  $\vec{E}_x = \vec{E}_z = 0$ . Для современных диэлектрических композитных материалов можно считать справедливым следующее выражение комплексной диэлектрической проницаемости по малому параметру  $\eta$  [1]:

$$\bar{\epsilon}_L(x, z = z_L) = \bar{\epsilon}_L^{(0)} + \eta \bar{\epsilon}_L^{(1)}(x), \quad L = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где  $\bar{\epsilon}_L^{(1)}(x)$  — изменение комплексной диэлектрической проницаемости в  $L$ -м слое относительно среднего значения  $\bar{\epsilon}_L^{(0)}$ .

Для решения задачи перейдем к безразмерным координатам путем замены  $x = k_0 x$ ,  $y = k_0 y$ ,  $d_L = k_0 d_L$ . Тогда система (1) для излучающей апертуры при введенных допущениях сводится к волновому уравнению с переменным коэффициентом относительно  $\bar{E}_y(x, z)$ :

$$\frac{\partial^2 \bar{E}_{y,L}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{E}_{y,L}}{\partial z^2} + \bar{\epsilon}_L(x) \bar{E}_{y,L} = 0, \quad L = 1, 2, \dots, n+1. \quad (3)$$



■ Рис. 1. Модель излучающей системы

Его решение будем искать в виде асимптотического ряда:

$$\bar{E}_{y,L} = \bar{E}_{y,L}^{(0)} + \eta \bar{E}_{y,L}^{(1)} + \eta^2 \bar{E}_{y,L}^{(2)} + \dots + \eta^i \bar{E}_{y,L}^{(i)} + \dots, \quad (4)$$

где  $\eta$  — порядок малости изменения  $\bar{E}_{y,L}$  под действием  $\bar{\epsilon}_L^{(1)}(x)$ .

Подставляя искомое решение (4) в уравнение (3), получим последовательность волновых уравнений с постоянными коэффициентами для нахождения приближений электрического поля в слоях композита ( $L = 1, 2, \dots, n$ ) и свободном пространстве ( $L = n + 1$ ):

$$\frac{\partial^2 \bar{E}_{y,L}^{(0)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{E}_{y,L}^{(0)}}{\partial z^2} + \bar{\epsilon}_L^{(0)}(x) \bar{E}_{y,L}^{(0)} = 0, \quad L = 1, 2, \dots, n+1, \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \bar{E}_{y,L}^{(i)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{E}_{y,L}^{(i)}}{\partial z^2} + \bar{\epsilon}_L^{(0)}(x) \bar{E}_{y,L}^{(i)} = f_L^{(i)}, \quad L = 1, 2, \dots, n+1, \quad (6)$$

$$\text{где } f_L^{(i)} = -\bar{\epsilon}_L^{(1)}(x) \bar{E}_{y,L}^{(i-1)}, \quad L = 1, 2, \dots, n, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (7)$$

Для определения решения в нулевом приближении применим к уравнению (5) преобразование Фурье:

$$\xi_L(z, h) = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{E}_{y,L}(x, z) e^{jh x} dx, \quad (8)$$

$$\bar{E}_{y,L}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \xi_L(z, h) e^{-jh x} dh. \quad (9)$$

Тогда для Фурье-образа  $\xi_L(z, h)$  получим обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial^2 \xi_L^{(0)}(z, h)}{\partial z^2} + \beta_L^{(0)} \xi_L^{(0)}(z, h) = 0, \quad (10)$$

где  $\beta_L = \sqrt{\bar{\epsilon}_L^{(0)} - h^2}$  — постоянная распространения парциальных волн в  $L$ -м слое композита; а  $\beta_0 = \beta_{n+1} = \sqrt{1 - h^2}$  — в свободном пространстве над композитом.

Для композита и свободного пространства общее решение уравнения (10) имеет вид:

$$\xi_L^{(0)} = B_L^{(0)}(h) \cos \beta_L(z - z_{L-1}) + C_L^{(0)}(h) \sin \beta_L(z - z_{L-1}),$$

$$\text{при } L = 1, 2, \dots, n,$$

$$\xi_{n+1}^{(0)} = A^{(0)}(h) e^{-j\beta_0(z - z_n)}, \quad \text{при } (L = n + 1),$$

где  $A^{(0)}(h)$ ,  $B_L^{(0)}(h)$ ,  $C_L^{(0)}(h)$  — неизвестные параметры.

Применяя граничные условия непрерывности Фурье-образов тангенциальных компонент электромагнитного поля на границах разделов слоев с различной диэлектрической проницаемостью, получим систему алгебраических уравнений для нахождения неизвестных коэффициентов. Ее удобно решать в матричной форме. Для этого введем обозначения:

$$\mathbf{X}_L^{(0)} = \begin{pmatrix} B_L^{(0)}(h) \\ C_L^{(0)}(h) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$\mathbf{D}_n^{(0)} = \begin{pmatrix} \cos \beta_n d_n & \sin \beta_n d_n \\ -j \frac{\beta_n}{\beta_0} \sin \beta_n d_n & j \frac{\beta_n}{\beta_0} \cos \beta_n d_n \end{pmatrix}, \quad (12)$$

при  $L = n$ ,

$$\mathbf{D}_L^{(0)} = \begin{pmatrix} \cos \beta_L d_L & \sin \beta_L d_L \\ -j \frac{\beta_L}{\beta_{L+1}} \sin \beta_L d_L & j \frac{\beta_L}{\beta_{L+1}} \cos \beta_L d_L \end{pmatrix} \quad (13)$$

при  $L = 1, 2, \dots, n-1$ .

Тогда

$$\mathbf{D}_L^{(0)} \cdot \mathbf{X}_L^{(0)} = \mathbf{X}_{L+1}^{(0)}, \quad L = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

Последовательно  $\mathbf{X}_1^{(0)}, \mathbf{X}_2^{(0)}, \dots, \mathbf{X}_{n-1}^{(0)}$  находим:

$$\mathbf{X}_{n+1}^{(0)} = \mathbf{D}^{(0)} \cdot \mathbf{X}_1^{(0)}, \quad (15)$$

где

$$\mathbf{X}_{n+1}^{(0)} = \begin{pmatrix} A^{(0)}(h) \\ -jA^{(0)}(h) \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Следовательно, умножая выражение (15) на матрицу  $[\mathbf{D}^{(0)}]^{-1}$  слева, получим уравнение

$$\mathbf{X}_1^{(0)} = [\mathbf{D}^{(0)}]^{-1} \cdot \mathbf{X}_{n+1}^{(0)},$$

где  $\mathbf{X}_1^{(0)} = \begin{pmatrix} \xi_1^{(0)}(0, h) \\ C_1^{(0)}(h) \end{pmatrix}$ ,  $\xi_1^{(0)}(0, h) = \frac{2}{h} \sin \left( \frac{Dh}{2} \right)$  — пре-

образование Фурье от электрического поля в раскрыве, из которого вычисляем  $A^{(0)}(h)$  и  $C_1^{(0)}(h)$ . Далее из уравнения (14) последовательно определяем неизвестные коэффициенты  $B_L^{(0)}$  и  $C_L^{(0)}$ . Применяя к найденному решению обратное преобразование Фурье, находим нулевое приближение поля  $\dot{E}$  в свободном пространстве и слоях композита:

$$\dot{E}_{y,n+1}^{(0)}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} A^{(0)}(h) e^{-j[\beta_0(z-z_n)+hx]} dh; \quad (17)$$

$$\dot{E}_{y,n+1}^{(0)}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[ B_L^{(0)}(h) \cos \beta_L(z - z_{L-1}) + C_L^{(0)}(h) \sin \beta_L(z - z_{L-1}) \right] e^{-jh x} dh \quad (18)$$

при  $L = 1, 2, \dots, n$ .

Вычисленное нулевое приближение соответствует решению для апертуры, излучающей через слоисто-однородное покрытие. Для вычисления  $l$ -го и последующих приближений искомого поля запишем преобразование Фурье вида (8) для  $\dot{E}_{y,L}^{(i)}$  и подставим его в уравнения (6), (7). Тогда для  $i = 1, 2, \dots$  получим:

$$\frac{\partial^2 \xi_L^{(i)}(h_i, z)}{\partial z^2} + [\beta_L^{(i)}]^2 \xi_L^{(i)}(h_i, z) = \tilde{f}_L^{(i)}(h_i),$$

где  $\tilde{f}_L^{(i)}(h_i) = - \int_{-\infty}^{\infty} \xi_1^{(i-1)}(x) \dot{E}_{y,L}^{(i-1)}(x, z) e^{jh_i x} dx$ ,  $L = 1, 2, \dots, n+1$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Общее решение этого уравнения для свободного пространства есть:

$$\xi_{n+1}^{(i)}(h_i, z) = A^{(i)}(h_i) e^{-j\beta_0^{(i)}(z-z_n)}. \quad (19)$$

Так как  $\tilde{f}_L^{(i)}(h_i)$  не зависит от  $z$ , то в слоях композита общее решение запишем в виде

$$\xi_L^{(i)} = \left[ B_L^{(i)}(h) \cos \beta_L^{(i)}(z - z_{L-1}) + C_L^{(i)}(h) \sin \beta_L^{(i)}(z - z_{L-1}) \right] + \frac{\tilde{f}_L^{(i)}}{[\beta_L^{(i)}]^2}. \quad (20)$$

Применяя к (19), (20) граничные условия непрерывности касательных компонент Фурье-образов электрического и магнитного полей, а также учитывая, что  $\xi_1^{(i)}(h_i, 0) = 0$ , получим систему алгебраических уравнений для нахождения коэффициентов  $A^{(i)}(h_i)$ ,  $B_L^{(i)}(h_i)$ ,  $C_L^{(i)}(h_i)$ , которая в матричной форме есть:

$$\mathbf{D}_L^{(i)} \cdot \mathbf{X}_L^{(i)} + \Psi_L^{(i)} = \mathbf{X}_{L+1}^{(i)}. \quad (21)$$

Матрицы  $\mathbf{D}_L^{(i)}$ ,  $\mathbf{X}_L^{(i)}$  даются выражениями (11)–(13), а

$$\Psi_L^{(i)} = \begin{pmatrix} \frac{f_L^{(i)}}{[\beta_L^{(i)}]^2} \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{f_{L+1}^{(i)}}{[\beta_{L+1}^{(i)}]^2} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \text{при } L = 1, 2, \dots, n,$$

$$\Psi_n^{(i)} = \begin{pmatrix} \frac{f_n^{(i)}}{[\beta_n^{(i)}]^2} \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \text{при } L = n.$$

Последовательно исключая  $\mathbf{X}_1^{(i)}, \mathbf{X}_2^{(i)}, \dots, \mathbf{X}_n^{(i)}$ , находим при  $L = n$ :

$$\mathbf{X}_{n+1}^{(i)} = \mathbf{D}^{(i)} \mathbf{X}_1^{(i)} + \mathbf{K}^{(i)}, \quad (22)$$

где  $\mathbf{X}_1^{(i)}$  и  $\mathbf{D}^{(i)}$  в  $i$ -м приближении определяются как

$$\mathbf{X}_1^{(i)} = \begin{pmatrix} 0 \\ C_1^{(i)}(h_i) \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{K}^{(i)} = \mathbf{D}_n^{(i)} \mathbf{D}_{n-1}^{(i)} \dots \mathbf{D}_2^{(i)} \Psi_1^{(i)} + \mathbf{D}_n^{(i)} \mathbf{D}_{n-1}^{(i)} \dots \mathbf{D}_3^{(i)} \Psi_2^{(i)} + \dots + \mathbf{D}_n^{(i)} \Psi_{n-1}^{(i)} + \Psi_n^{(i)}.$$

Следовательно, домножая (22) на матрицу  $[\mathbf{D}^{(i)}]^{-1}$  слева, получим следующее матричное уравнение:

$$\mathbf{X}_1^{(i)} = [\mathbf{D}^{(i)}]^{-1} \cdot \mathbf{X}_{n+1}^{(i)} - [\mathbf{D}^{(i)}]^{-1} \cdot \mathbf{K}^{(i)},$$

из которого находим  $A^{(i)}(h_i)$ ,  $C_1^{(i)}(h_i)$ . Далее из уравнения (21) последовательно вычисляем неизвестные коэффициенты  $B_L^{(i)}(h_i)$ ,  $C_L^{(i)}(h_i)$ , необходимые для определения решения в следующем приближении, а также для нахождения коэффициента отражения в фидерном тракте антенны. В случае расчета амплитудной диаграммы направленности (ДН) вычисления в нужном приближении заканчиваются расчетом  $A^{(i)}(h_i)$ . Теперь, подставляя найденные коэффициенты в выражение (9), определяем искомое приближение поля  $\vec{E}$  в свободном пространстве и композите аналогично (17) и (18).

Для нахождения амплитудной ДН в дальней зоне проведем отображение  $h_i = \sin \alpha$  и перейдем в систему координат  $(R, \theta)$  (см. рис. 1). При этом  $z - z_n = R \cos \alpha$ ,  $\beta_0^{(i)} = \cos \alpha$ ,  $dh_i = \cos \alpha d\alpha$ . Тогда, используя линейность интеграла, получим

$$\dot{E}_{n+1}(R, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int \cos \alpha \sum_{i=0}^m \eta^i A^{(i)}(\sin \alpha) e^{-jR \cos(\alpha+\theta)} d\alpha.$$

При вычислении интеграла воспользуемся методом перевала. При  $R \rightarrow \infty$  и наличии поглощения в полупространстве над фольгой ( $Jm\bar{\epsilon} = -\epsilon \operatorname{tg} \delta < 0$ ) контур интегрирования  $P$  обходит полюса подынтегральной функции во 2-м и 4-м квадрантах комплексной плоскости  $\alpha$ , а интеграл сходится, убывая  $-\frac{1}{R}$  для любого значения  $\alpha$ , кроме перевальной точки  $\alpha = -\theta$ , в которой  $\dot{E}_{Y, n+1}(R, \theta) \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$ . Вкладом вытекающих, поверхностных и боковых волн, описываемых вычетами в полюсах подынтегральной функции и интегрированием по берегам разрезов двулистной римановой поверхности, при вычислении ДН пренебрегаем, так как амплитуды этих волн экспоненциально убывают при  $R \rightarrow \infty$ . Следовательно, искомая ДН будет

$$|\dot{E}(\theta)| = \cos \theta \left| \sum_{i=0}^m \eta^i A^{(i)}(\sin \theta) \right|. \quad (23)$$

Для оценки влияния неоднородности композита по касательным направлениям на согласование антенны вычислим удельную проводимость системы «антенна—композитное покрытие», используя методику, изложенную в работе [3]:

$$\dot{Y} = \frac{1 - \dot{R}}{1 + \dot{R}} = \frac{1}{2\pi} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \xi_1^* \dot{G}_{X,1} dh \Big|_{z=+0}}{\int_{-D/2}^{D/2} \dot{E}_{Y,1}^* \dot{H}_{X,1} dx \Big|_{z=0}}.$$

Здесь  $\dot{R}$  — комплексный коэффициент отражения;  $\dot{E}_{Y,1}$ ,  $\dot{H}_{X,1}$  — тангенциальные составляющие

полей  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  у раскрыва антенны со стороны фидера;  $\xi_1$ ,  $\dot{G}_{X,1}$  — Фурье-образы тангенциальных составляющих полей у раскрыва со стороны внешнего полупространства (при  $z = +0$ ).

При определении  $\dot{G}_{X,1}(z, h)$  воспользуемся вторым уравнением Максвелла и выразим  $\xi_1$ ,  $\dot{G}_{X,1}$  при  $z = +0$  через амплитуды пространственных гармоник. Тогда полная проводимость будет равна:

$$\dot{Y} = \frac{j}{2\pi} \frac{\sqrt{\epsilon_0}}{\mu_0} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \beta_1 \xi_1^2(h, 0) \left[ C_1^{(0)}(h) + \sum_{i=1}^m C_1^{(i)}(h_i) \right] dh_i}{\int_{-D/2}^{D/2} \dot{E}_{Y,1}^* \dot{H}_{X,1} dx}.$$

Из последнего выражения следует, что зависимость удельной проводимости от неоднородности композита по касательным направлениям можно оценить, сравнивая коэффициенты  $C_1^{(0)}(h)$  и  $C_1^{(1)}(h_1)$ . Вычисления показали, что если  $\bar{\epsilon}_L^{(0)} \geq \bar{\epsilon}_L^{(1)}$ , то коэффициенты удовлетворяют соотношению  $C_1^{(0)}(h) \geq C_1^{(1)}(h_1)$ . Следовательно, проводимость системы «антенна—композитное покрытие» в основном определяется средним значением  $\epsilon$  покрытия и его толщиной.

Проведя рассуждения для волноводов, аналогичные вышеизложенным для апертуры, получим, что в приближении излучения волны типа  $H_{10}$  алгоритм вычисления характеристик излучения тот же, за исключением Фурье-образов тангенциальных составляющих электромагнитного поля в раскрыве, которые имеют вид [4]:

$$\xi_1(h, 0) = 2\pi \frac{\sin \frac{bh}{2}}{h}; \quad \dot{G}_{X,1} = 2\pi \gamma \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} \frac{\sin \frac{bh}{2}}{h} \quad \text{— для}$$

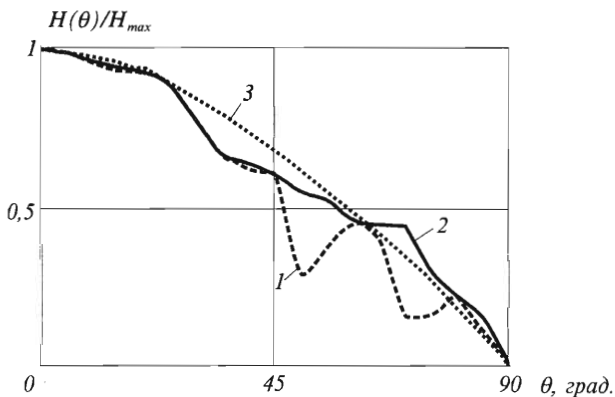
$E$ -плоскостного волновода;

$$\xi_1(h, 0) = \frac{2\pi \cos \frac{ah}{2}}{a \left( \frac{\pi}{a} \right)^2 - h^2}; \quad \dot{G}_{X,1} = \frac{2\pi \gamma \sqrt{\epsilon_0}}{a} \frac{\cos \frac{ah}{2}}{\left( \frac{\pi}{a} \right)^2 - h^2} \quad \text{— для}$$

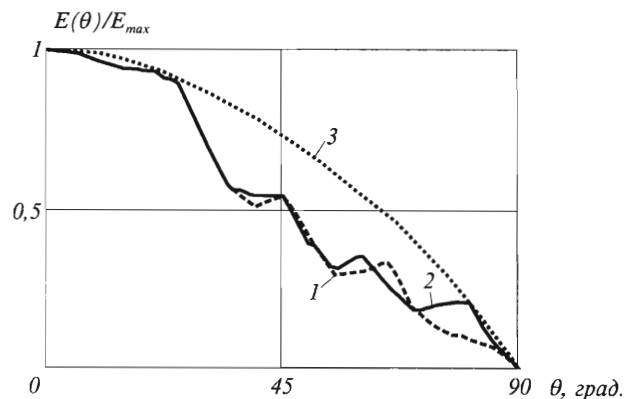
$H$ -плоскостного волновода,

где  $a$ ,  $b$  — геометрические размеры волновода в безразмерных координатах;  $\gamma$  — постоянная распространения волны  $H_{10}$  в волноводе.

На рис. 2, 3 представлены нормированные амплитудные ДН соответственно в  $H$ - и  $E$ -плоскостях открытого конца волновода сечения  $11 \times 8$  мм при поперечно-неоднородном (1), при поперечно-продольном неоднородном композите (2) и в отсутствии композита — при наличии фольги (3). Композит многослойный толщиной 6,2 мм. Распределение  $\bar{\epsilon}(x, z)$  соответствовало усреднению измеренных параметров штатных образцов композитов. Вычисления показали, что требуемая точность решения достигается при  $\eta = 1$ . Поэтому в инженерных расчетах достаточно ограничиться только первым приближением ( $i = 0; 1$ ). При выбранной неоднород-



■ Рис. 2. Нормированные амплитуды ДН в  $H$ -плоскостях



■ Рис. 3. Нормированные амплитуды ДН в  $E$ -плоскостях

ности по касательному направлению (2) ДН антенны в  $E$ -плоскости мало отличается от вычисленной без ее учета (1). Отличия в этой плоскости наблюдаются в угловом секторе  $55^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$ . В  $H$ -плоскости ДН шире, и степень влияния касательной неоднородности  $\bar{\epsilon}$  композита выше. В частности, тангенциальная неоднородность приводит к расширению ДН на  $19^\circ$  по уровню половинного ослабления электрического поля.

Расчеты показали, что энергетический потенциал аппаратуры высотометрии относительно (3) уменьшается вследствие потерь в композите и ухудшения согласования антенны: без учета касательной составляющей неоднородности композита уменьшается на 8,7 дБ, с учетом составляющей — на 10,0 дБ. Незначительное отличие объясняется преимущественно осевым излучением открытого конца прямоугольного волновода. Для РТС, зоны обзора которых сосредоточены в угловых секторах, близких к плоскости ЛА (например, РТС посадки) влияние неоднородности композита по ка-

сательным к раскрытию направлениям оказывается более значительным, а на бортовой потенциал более существенным.

### Литература

1. Красюк В. Н. Антенны СВЧ с диэлектрическими покрытиями.— Л.: Судостроение, 1986.— 164 с.
2. Красюк В. Н., Барыбин А. Е. Метод расчета характеристик излучения апертурных антенн с пространственно-неоднородным диэлектрическим покрытием // Теория и техника средств связи.— СПб.: Вып. 2.— 1992.— с. 48–62.
3. О вычислении характеристик волновода в металлическом экране с однородным диэлектрическим покрытием / А. Е. Барыбин, В. Н. Красюк, А. Л. Трескунов, Б. Г. Цыбаев / Прикладные задачи электродинамики.— Л.: ЛИАП, 1988.— С. 14–19.
4. Кюн Р. Микроволновые антенны.— Л.: Судостроение, 1967.— 517 с.

УДК 681.327.8

## ЭВОЛЮЦИЯ УСЛУГ СЕТЕЙ СВЯЗИ

**А. М. Колбанёв,**

инженер

Северо-Западный филиал ОАО «МегаФон»

**С. А. Яковлев,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

*Дается понятие инфокоммуникационных сетей, рассматриваются технические, технологические, экономические и организационные процессы производства, обработки хранения и распространения информации, отражаются условия глобализации и персонализации услуг, которые предоставляются телекоммуникационными сетями, что стимулирует переход пользователей на новые сетевые технологии.*

*The concept infocommunication networks is given, technical, technological, economic and organizational processes of manufacture, processing, storage and distribution of the information are considered, conditions of globalization and personification of services which are given by telecommunication networks that stimulates transition of users to new network technologies are reflected.*

Современный этап развития цивилизации связан с переходом к информационному обществу, существование которого невозможно без развитых инфокоммуникационных сетей (ИКС). Понятие ИКС отражает технические, технологические, экономические и организационные процессы производства, обработки, хранения и распространения информации. Необходимым условием создания ИКС является глобализация и персонализация услуг, которые предоставляются телекоммуникационными сетями. Стремление пользователей и сетевых администраций к расширению функциональных возможностей сетей в направлении расширения состава и изменения характера предоставляемых ими услуг является главным фактором, стимулирующим переход к новым сетевым технологиям.

Основными этапами эволюции сетей связи, с точки зрения состава предоставляемых услуг, являются (рис. 1):

— сети с электромеханическими центрами коммутации;

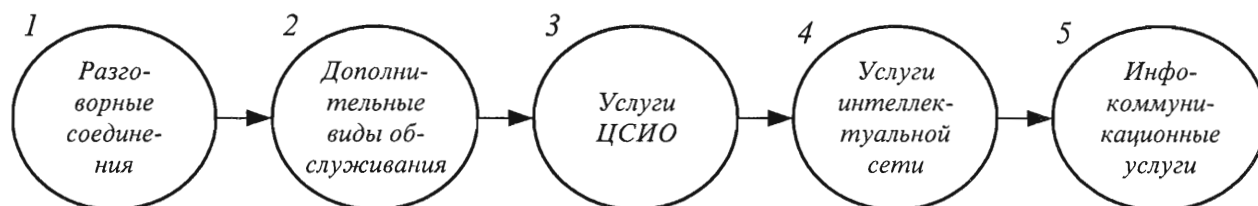
— сети на базе аналоговых центров коммутации с программным управлением;

— цифровые сети интегрального обслуживания;

— классическая интеллектуальная сеть;

— инфокоммуникационные сети следующего поколения [1].

Первые два этапа относятся к аналоговым сетям связи. Для перехода от 1-го этапа, когда набор услуг ограничивался соединением однотипных абонентов по набранному номеру, ко 2-му потребовалось около 100 лет. Этот переход стал настоящим прорывом в телекоммуникационных технологиях. Управление по записанной программе позволило внедрить так называемые дополнительные виды обслуживания (ДВО), для реализации каждого из которых было необходимо разработать специальное программное обеспечение. Дополнительные услуги предоставлялись в основном абонентам учрежденческо-производственного, но частично и квартирного сектора. Для получения дополнительной услуги абонент должен был произвести определен-



■ Рис. 1. Этапы эволюции услуг сетей связи

ные действия на телефонном аппарате, предпочтительно с 12-кнопочным номеронабирателем (10 цифр, #, \* и дополнительно R).

Классификацию ДВО удобно строить по их принадлежности к тому или иному этапу обслуживания:

- услуги для ускорения процесса соединения — сокращенный набор, соединение без набора (прямой вызов);

- услуги оповещения — вызов абонента по заказу (побудка); соединение с абонентом по предварительному заказу;

- услуги по ограничению связи — запрет входящей и исходящей связи; запрет некоторых видов исходящей связи; предоставление исходящей связи по паролю; избирательное ограничение входящей связи; полный запрет входящей связи;

- обслуживание отсутствующего абонента — передача входящего вызова на автоинформатор или к телефонисту; передача входящего вызова к другому аппарату (переадресация); сопровождающий вызов по паролю на аппарат, с которого производится заказ услуги; поиск вызываемого абонента с использованием дополнительных устройств поисковой сигнализации;

- обслуживание занятости вызываемого абонента — повторный вызов без набора номера; ожидание с обратным вызовом; подключение к занятому абоненту с предупреждением о вмешательстве; передача вызова к заранее указанному абоненту или поочередно к нескольким абонентам;

- обслуживание разговаривающих абонентов — передача соединения третьему абоненту; уведомление о поступлении нового вызова; определение номера вызывавшего абонента;

- многоадресные соединения — конференц-связь по списку, с последовательным сбором участников или трех абонентов; наведение справки во время разговора;

- прочие услуги — ввод, замена или отмена личного пароля.

Дальнейшее расширение возможностей сетей по обслуживанию пользователей связано с переходом к цифровым сетям интегрального обслуживания со скоростью базового доступа 144 кбит/с (2B+D), в которых пользователи оснащены специальным терминальным оборудованием, а сетевые центры связываются друг с другом при помощи двух разделенных сетей:

- 1) сеть с временным уплотнением (Time Division Multiplexer — TDM) со скоростью 64 кб/с — для переноса данных пользователей;

- 2) выделенная пакетная сеть сигнализации ОКС № 7 — для переноса информации сигнализации и управления.

Услуги ЦСИО в основном повторяют названные выше ДВО и нацелены на обслуживание различных этапов обслуживания пользователей [2]. К ним относятся:

- удержание соединения (HOLD) — пользователь получает возможность прервать разговор и установить другое соединение с последующим восстановлением первого;

- сообщения о стоимости соединения во время запроса (AOC-S), в активной фазе вызова (AOC-D) и после завершения вызова (AOC-E) — первая из этих услуг позволяет принимать информацию об используемом тарифе во время запроса соединения и в процессе обслуживания, вторая — в виде нарастающего итога на дисплее терминала, третья — после завершения разговора, что при накоплении информации дает возможность проверки итогового счета (например, за месяц);

- портативность терминала — пользователь имеет возможность в течение активного состояния вызова переключить терминал из одной розетки в другую или передать вызов с одного терминала на другой;

- вызов с ожиданием (CW) — пользователю во время разговора сообщается о новом входящем вызове, для обслуживания которого надо освободить занятый канал;

- конференц-связь встречная (MMC), с расширением (CONF) и трехсторонняя (ЗРТУ) — в первом случае участникам конференции необходимо заранее сообщить время и специальный телефонный номер для доступа в конференц-связь; телефонный номер каждого вновь подключившегося участника (до 64 участников) передается на дисплей терминала инициатора конференции; во втором случае инициатор конференции подключает новых участников путем набора их номеров (до 64 участников); в третьем — имеется возможность устанавливать связь лишь трех участников, что упрощает аппаратно-программную реализацию и уменьшает стоимость услуги;

- переадресация вызова при занятости номера абонента (CFB), при неответе абонента (CFNR) и вне зависимости от этапа обслуживания (CFU) — осуществляется пересылка всех или только определенных входящих вызовов на другой номер;

- отклонение вызова (CD) — после ответа входящий вызов передается на другой номер, определенный в ответе;

- подадресация (SUB) — позволяет вызываемому пользователю адресовать отдельные терминалы или процессы передачи данных в пределах базового доступа;

- прямой набор номера (DDI) — по правилам системы нумерации сети общего пользования адресуется абонент частной сети;

- определение номера вызываемого абонента (CLIP) и запрет на это определение (CLIR) — первая услуга обеспечивает определение номера вызываемого абонента, вторая — предотвращает определение номера на вызывающей стороне;

- идентификация номера вызываемого абонента (COLP) и запрет на эту идентификацию (COLR) — первая услуга позволяет вызываемому абоненту идентифицировать номер вызываемого абонента для определения возможной переадресации, вторая — предотвращает эту идентификацию на вызываемой стороне;

- мультиплексированный номер абонента (MSN) — присваивается один и тот же номер всем

терминалам одного доступа общего пользования или одному частному доступу;

— свободный телефон (FPH) — при поступлении вызовов на заранее определенные номера оплата начисляется не вызываемому, а вызываемому участнику соединения;

— сигнализация «пользователь — пользователь» (UUS) — пользователь имеет возможность посылать/принимать ограниченный объем информации к/от другого пользователя через канал сигнализации; это дает возможность настроить на совместную работу пользовательские приложения.

Сети ЦСИО не получили широкого распространения из-за относительно высокой стоимости интегральных услуг, которая складывается из затрат на специальное терминальное оборудование, подключение и обслуживание, по отношению к возможностям, которые получают пользователи.

Главными достоинствами перехода к ЦСИО являются следующие:

1) появление услуг, связанных с передачей данных, поскольку скорость базового доступа 144 кбит/с дает возможность работать даже с медленными изображениями;

2) возможность комбинирования услуг для получения новых услуг. Например, сочетание услуги «Удержание соединения» с услугой «Вызов с ожиданием» позволяет быть всегда доступным для входящих вызовов. Увидев на дисплее терминала номер вызываемого абонента, всегда можно ответить новому собеседнику и вернуться к прерванному разговору.

Тем не менее центры ЦСИО являются закрытыми системами в том смысле, что конфигурация, алгоритмы управления и состав предоставляемых ими услуг закладываются уже на этапе производства оборудования и программ. Операторы сетей связи, поставщики услуг или пользователи не имеют практической возможности существенно изменять услуги в процессе эксплуатации, поскольку это сопряжено со значительными затратами, сопоставимыми с начальными затратами на приобретенное оборудование.

Для расширения возможностей по созданию услуг на этапе эксплуатации была разработана концепция интеллектуальной сети (ИС), согласно которой помимо коммутационной создается специальная интеллектуальная платформа для организации и предоставления услуг. Такой подход позволяет сравнительно экономично внедрять разнообразные услуги независимо от производителей коммутационного оборудования. Интеллектуальная сеть — это гибкий путь предоставления новых услуг еще и потому, что не выдвигает никаких новых требований к терминальному оборудованию пользователей.

В основе архитектуры ИС лежат так называемые наборы возможностей (CS — Capability Sets), определяющие функциональные возможности сети при предоставлении услуг. Разработка набора возможностей первого этапа CS1 завершена в рамках рекомендаций серии Q.1200 и опирается на существующие сетевые технологии сетей коммутации каналов. Отличительной особенностью данных ус-

луг является то, что они могут быть активизированы только в процессе установления/разъединения соединения. По терминологии ITU-T услуги CS1 относятся к услугам типа «А», они являются одноконцевыми (Single Ended) с централизованной логикой управления (Single Point of Control).

В целом услуги интеллектуальной сети очень похожи на услуги ДВО и ЦСИО, но в отличие от них могут быть реализованы в рамках глобальной сети связи. К их числу относятся такие знакомые нам услуги, как сокращенный набор, бесплатный вызов, направленный вызов, конференц-связь и др. Всего набор CS1 включает 25 видов услуг, которые должны поддерживаться телефонными сетями, сетями ЦСИО и мобильными сетями. В нашей стране наиболее распространены следующие из них:

— предоплаченные услуги — предоставляются по сервисным телефонным картам; со значительным отрывом лидируют по популярности среди всех видов услуг и используются для доступа к речевой почте, Интернету, сетям IP-телефонии, платным информационным службам и др.; заказ услуги осуществляется при помощи PIN-кода, либо через серийный городской номер, либо через номер спецслужбы, либо номер 805 по правилам ИС; для ввода PIN-кода и номера вызываемого абонента обычно используется тональный донатор;

— тарификация вызовов — позволяет создавать тарифные планы, зависящие от номеров и категорий вызываемого и вызывающего абонентов, использовать различные периоды тарификации, бесплатных порогов и т. д.; возможности управления процессами оплаты зависят от биллинговых подсистем;

— телеголосование (Mass Calling) — позволяет проводить опросы населения по телефону; свое мнение респондент выражает набором одной из цифр на терминале; в настоящее время услуга востребована преимущественно центральными телеканалами, а ее провайдером являются московские операторы. Потенциал услуги вырастет, если в регионах появится интерес к опросам общественного мнения;

— речевая почта — среди услуг классической ИС отсутствует, однако внедрена не только операторами мобильной, но и фиксированной связи.

Некоторые услуги, не нашедшие пока распространения в России, но характеризующие возможности ИС, представлены в табл. 1.

Принципы создания и предоставления услуг в ИС определяются четырехуровневой концептуальной моделью, стандартизированной в рекомендации ITU-T I.312/Q.1201. Модель отражает абстрактный подход к описанию ИС и состоит из четырех плоскостей. Собственно услуга описывается на первом уровне — плоскости услуг SP (Service Plane). Здесь отсутствует информация о том, как именно осуществляется предоставление услуг сетью. На втором уровне — глобальной функциональной плоскости GFP (Global Functional Plane) — услуга представляется в виде цепочки независимых от услуг конструктивных блоков (SIB), разработка которых необходима для внедрения услуг. В рекомендации ITU-T Q.1213 специфицированы как операции,

■ **Таблица 1.** Некоторые из услуг набора возможностей CS1

Термин	Значение
Universal Access Number — UAN (универсальный номер)	Нескольким географически распределенным терминальным устройствам присваивается единый универсальный номер с определенной маршрутизацией входящих вызовов.
Virtual Private Network — VPN (виртуальная частная сеть)	Часть сетевого оборудования объединяется в виртуальную сеть для обслуживания ограниченной группы пользователей по устанавливаемым ими правилам (нумерация, приоритеты, маршрутизация и т. д.).
Universal Personal Telecommunication — UPT (универсальная персональная связь)	Позволяет получать вызовы по персональному номеру на множестве сетей при любом сетевом доступе (фактически это роуминг для абонентов стационарных сетей).
Destination Call Routing — DSR (маршрутизация вызовов по условию)	Позволяет задавать маршрутизацию вызовов в соответствии с временем дня, днем недели, географическим положением вызывающего абонента и другими признаками.
Malicious Call Identification — MCI (идентификация злонамеренных вызовов)	Регистрируется следующая информация: номера вызываемой и вызывающей сторон, время и дата запроса.

выполняемые блоками SIB, так и данные, необходимые для их выполнения. На третьем уровне — распределенной функциональной плоскости DFP (Distributed Functional Plane) — операции, выполняемые SIB, объединяются в группы, называемые функциональными объектами, которые при внедрении услуг могут быть распределены по различным физическим объектам — сетевым центрам. Здесь сеть рассматривается как совокупность функциональных объектов, взаимодействующих друг с другом и, таким образом, порождающих информационные потоки. Четвертый уровень — физическая плоскость PP (Physical Plane) — описывает сетевые центры, содержащиеся в них функциональные элементы и протоколы взаимодействия с другими элементами сети.

Внедрение концепции ИС с набором возможностей CS1 изменяет не столько характер предлагаемых услуг, сколько технологию их производства и предоставления. Следующий принципиальный скачок в телекоммуникационных технологиях будет достигнут при переходе к инфокоммуникационным сетям следующего поколения (ИКС), которые предназначены не только для передачи информации между пользователями и предоставления телекоммуникационных услуг, но и для организации доступа пользователей к информационным услугам и контенту (информации), что меняет содержание задач сетевого управления и принципы построения сетевых центров.

Сети следующего поколения не отвергают опыт, накопленный в процессе эволюции сетей коммутации каналов. Они также используют программную логику для создания услуг, возможности цифровых интерфейсов для доставки услуг пользователям и концепцию построения отдельной интеллектуальной платформы для управления услугами. В то же время они принципиально отличаются от традиционных информационных и телекоммуникационных услуг, поскольку предполагают в комплексе автоматизированную обработку, хранение или предоставление по запросу информации с использованием информационных систем как на входящем, так и на исходящем концах соединения.

Характерными свойствами ИКС, определяющими особенности предоставляемых ими услуг, являются:

- мультимедийность — синхронность обработки и передачи многокомпонентной по форме информации в виде речи, данных, видео и аудио в реальном времени и с использованием сложных комбинаций соединений;

- открытость — возможность управления информационными ресурсами, услугами, вызовами и соединениями со стороны пользователя и/или поставщиков услуг и контента, а также независимость предоставления разнообразных услуг от технологий обработки и переноса информации;

- интеллектуальность — способность к адаптации или приспособлению к требованиям пользователей с точки зрения количества, номенклатуры и качества предлагаемых им услуг; *самоорганизации*, или выбору того или иного режима функционирования в зависимости от особенностей внешней обстановки и внутреннего состояния сети; *самообучению* или приобретению новых, ранее неизвестных функций; *прогнозированию* или предвидению наиболее вероятного развития процесса функционирования центра в будущем;

- широкополосность — способность гибкого и динамического изменения скорости обработки и передачи информации в широком диапазоне с учетом информационных потребностей пользователей;

- инвариантность доступа — независимость процедур предоставления информационных и телекоммуникационных услуг от технологии сети доступа;

- многооператорность — участие нескольких операторов информационных и телекоммуникационных систем и сетей в процессе предоставления услуг.

Архитектура ИКС включает транспортную сеть, реализующую функции переноса информации; сеть доступа, обеспечивающую подключение терминальных устройств пользователя к ресурсам транспортной сети; платформу информационного обслуживания, реализующую инфокоммуникационные услу-



ги [3]. Транспортная сеть связи должна быть мультипротокольной, т. е. обеспечивать перенос разных видов информации с использованием различных протоколов передачи. В качестве технологической основы построения транспортной сети рассматриваются технологии ATM и IP с возможным применением в будущем оптической коммутации. Учитывая стремительное увеличение пропускной способности волоконно-оптических линий связи, можно предположить, что на транспортной сети будет использоваться и технология коммутации каналов. В состав транспортной сети входят: оконечные (граничные) центры, обеспечивающие доступ абонентов к сети; шлюзы, позволяющие осуществить подключение традиционных сетей связи (ТФОП, СПД, СПС); транзитные центры (маршрутизаторы), выполняющие функции коммутации; центры (контроллеры) сигнализации, выполняющие функции обработки сигнализации управления вызовами и соединениями.

При создании транспортных сетей оконечные и/или транзитные узлы могут быть освобождены от функций сигнализации, которые в этом случае будут возложены на выделенные центры сигнализации, обслуживающие несколько коммутационных центров. Ожидается, что такое решение упростит алгоритмы установления соединений и позволит операторам заменить дорогостоящие коммутационные центры большой емкости небольшими, гибкими и доступными по стоимости транзитными и оконечными узлами. Для реализации таких решений необходим стандарт на интерфейс взаимодействия сетевых центров коммутации и сигнализации.

Сеть доступа — это системно-сетевая структура, состоящая из абонентских линий, узлов доступа и систем передачи. Она служит для организации подключения пользователей к сетевым и информационным ресурсам. С административно-организационной точки зрения сеть доступа может являться как частью сети регионального оператора, так и техническим средством отдельного оператора сети доступа. Основные услуги сети доступа заключаются в подключении к сетевым ресурсам разнотипного терминального оборудования.

Доступ осуществляется через граничные центры, к которым подключается оборудование сети доступа. Для связи с существующими сетями граничный узел должен выполнять функции межсетевого шлюза.

Платформа информационного обслуживания представляет собой рас-

пределенную вычислительную среду и обеспечивает предоставление инфокоммуникационных услуг, управление услугами, создание и внедрение новых услуг, взаимодействие различных услуг. Она не зависит от типов транспортной сети и сети доступа, во многом основывается на идеях, апробированных при создании интеллектуальной сети и включает:

— центр управления услугами — специализированный центр сети связи, осуществляющий управление предоставлением услуг, который принадлежит оператору сети связи и выполняет функции управления логикой и атрибутами услуг;

— центр служб — специализированный центр сети связи, осуществляющий предоставление инфокоммуникационных услуг и принадлежащий поставщику услуг; по существу, он является сервером приложений для инфокоммуникационных услуг, клиентская часть которых реализуется оконечным оборудованием пользователя.

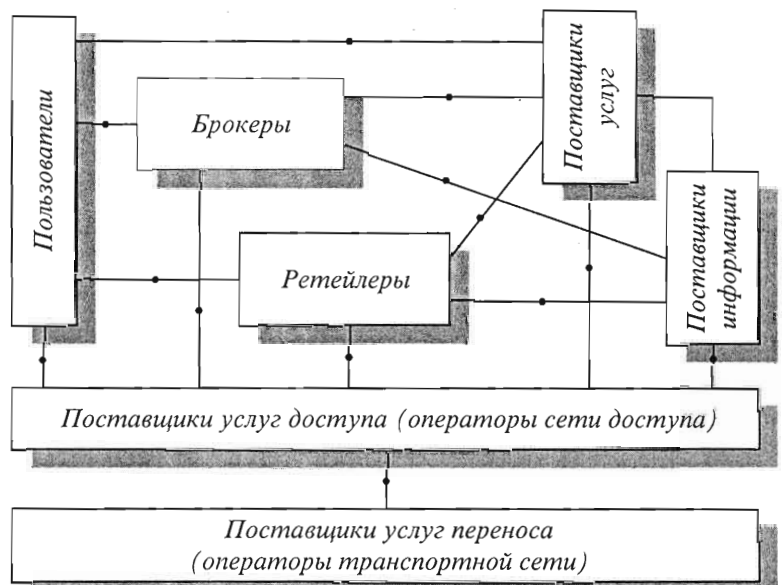
Для предоставления одной и той же услуги может быть задействована целая группа центров служб или центров управления услугами, а также центры административного управления услугами и серверы различных приложений.

Бизнес-модель, определяющая участников процесса предоставления инфокоммуникационных услуг и их взаимоотношения, отличается от модели традиционных услуг электросвязи (рис. 2). Она предполагает наличие пользователя, поставщиков (провайдеров) информации и услуг, операторов сетей доступа и услуг переноса, а также разнообразных информационных посредников (например, брокеров и ретейлеров).

Пользователь — это физическое или юридическое лицо, которому может быть предоставлена инфокоммуникационная услуга.

Поставщики услуг доступа к ресурсам инфокоммуникационной сети и услуг переноса информации — это операторы соответствующих сетей связи, т. е. индивидуальные предприниматели или юридические лица, ответственные за инфраструктуру сетей и имеющие право на предоставление соответствующих услуг.

Поставщик услуг — это индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, оказывающее инфокоммуникационные



■ Рис. 2. Бизнес-модель участников процесса предоставления инфокоммуникационных услуг

услуги и не обладающее собственной телекоммуникационной сетью.

Поставщик информации (контента) — это индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, предоставляющее информацию поставщику услуги для ее распространения или предоставления пользователям по сети оператора связи.

Брокер — это индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, которое содействует пользователям при поиске поставщиков услуг и, наоборот, поставщикам услуг при поиске потенциальных потребителей.

Ретейлер — это индивидуальный предприниматель или юридическое лицо, которое выступает как посредник между потребителями и поставщиками услуг с целью адаптации услуги к индивидуальным требованиям потребителя.

Правила взаимодействия участников процесса инфокоммуникационного обслуживания должны стандартизироваться, для чего определяются так называемые логические точки взаимодействия. Конечный результат обслуживания пользователей формируется сразу несколькими хозяйствующими субъектами, взаимодействующими на разных сетевых уровнях, поэтому процесс обслуживания должен регулироваться по «горизонтальному» принципу. Такой подход предполагает разработку показателей качества предоставляемых услуг с четким разграничением зон ответственности всех хозяйствующих субъектов, участвующих в предоставлении услуги.

Поскольку инфокоммуникационное обслуживание связано с предоставлением или распределением информации, воз-

никает также задача разграничения ответственности, которую должны нести хозяйствующие субъекты в рамках информационного законодательства.

В настоящее время принципы построения инфокоммуникационных сетей и создания инфокоммуникационных услуг разработаны недостаточно и являются предметом обсуждения специалистов.

### Литература

1. Колбанёв М. О., Яковлев С. А. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002. — 230 с.
2. Кучерявый А. Е. Интеллектуальные сети. — СПб.: ГУТ им. М. А. Бонч-Бруевича, 1999. — 68 с.
3. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России // < <http://www.minsvyaz.ru/img/uploaded/2002020610512757.pdf> >

# SILICON LABORATORIES

*Микроконтроллеры нового поколения на основе ядра 8051 с рекордной производительностью и прецизионными АЦП и ЦАП. Встроенные порты UART, I2C, SPI, CAN, USB.*

<p><b>C8051F120</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 100 MIPS, 128K FLASH, 8K RAM</li> <li>- DSP функция (16x16 умножение)</li> <li>- 12 bit АЦП (200 KSPS), 12 bit ЦАП</li> </ul>	<p><b>C8051F060</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 25 MIPS, 64K FLASH, 4K RAM</li> <li>- 16 bit АЦП (1000 KSPS)</li> <li>- CAN порт, +58V Amplifier PGA</li> </ul>
--	--

C8051F122

0347 A

CYGNALC

## ЭЛЕКТРОСНАБ

www.sitabs.ru www.electrosnab.ru тел./факс (812) 380 16 60

УДК: 681.327.8

## РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА И ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Н. Д. Никандров,**

доктор педагогических наук, профессор  
Российская академия образования

**Б. Я. Советов,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

*В статье рассматриваются этапы перехода к информационному обществу. Приводятся количественные показатели развития компьютеризации, информатизации и телекоммуникаций. Обсуждается проблема подготовки разработчиков информационных технологий. Определены основные направления совершенствования российской системы высшего профессионального образования в области информационных систем и технологий.*

*The article deals with the transition stages towards an information society. Statistics of computerization, informatisation and telecommunication are given. The issue of training information technology experts is discussed. An outline is suggested for improving the Russian system of higher education in the sphere of information systems and technologies.*

Ряд комплексных исследований прогнозируют к 2025 г. построение в России информационного общества на базе создания единого информационного пространства и, как следствие, расцвет Российского государства на основе устойчивого поступательного развития экономики и общества. Этому будут способствовать всеобщие компьютеризация, информатизация и телекоммуникация. Ежегодный рост российского рынка информационных технологий в последнее время составил более 15 %. Однако доля информационных технологий в ВВП России в настоящее время составляет 0,6 %, тогда как в развитых странах — 10–15 %. К 2025 г. необходимо увеличить в масштабах страны долю сектора информационных технологий в 3–5 раз по сравнению с существующим уровнем.

Уже конец XX столетия ознаменовался интенсивным развитием и внедрением во все сферы жизни общества информатики. Это проявилось в интенсивном совершенствовании средств вычислительной техники и техники связи, в появлении новых и в дальнейшем развитии существующих информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), а также в реализации прикладных информационных систем. Достижения информатики заняли достойное место в организационном управлении, в промышленности, в проведении научных исследований и в автоматизированном проектировании.

Информатизация охватила и социальную сферу: образование, науку, культуру, здравоохранение. Переход страны к рыночной экономике потребовал развития соответствующего информационного обеспечения. Постепенно в России формировался рынок, в котором информация начинала выступать как коммерческий ресурс. Наряду с телекоммуникационными получают развитие и информационные услуги. Соотношение информационных и телекоммуникационных услуг определяет степень продвижения к информационному обществу. Компьютерная техника прочно вошла в быт и используется как в образовании, так и в воспитании подрастающего поколения.

Концепция информационного общества довольно абстрактна. Нет общепринятого определения этого понятия. Возникла она уже более 20 лет с «инфодеревни» в Японии и telematics во Франции. Хотя рыночные экономики ряда стран уже фактически достаточно продвинуты в части развития информационного общества, многие концепции по своей сути футуристичны и ориентированы на технологии. Это объясняется тем, что быстрое развитие ИКТ коренным образом изменило различные виды бизнеса и услуг — интенсивно формируется «общество информационных технологий».

Согласно современным воззрениям, информационное общество — это такое общество, в кото-

ром производство и потребление информации является важнейшим видом деятельности, а информация признается наиболее значимым ресурсом, новые информационные и телекоммуникационные технологии и техника становятся базовыми технологиями и техникой, а информационная среда наряду с социальной и экологической — новой средой обитания человека. Завершается первый этап перехода от индустриального общества к информационному — этап компьютеризации.

*Развитие компьютеризации* характеризуется тем, что количество используемых компьютеров в мире превысило 550 млн, из которых подавляющее число работает в сети. Число пользователей Интернет в 2000 г. составило по некоторым оценкам 250 млн, а число разработанных web-страниц в 2001 г. превысило численность населения Земли, т. е. более 6 млрд. Развивается рынок телекоммуникационных услуг и в России: если в 2000 г. количество пользователей Интернет составляло 2,5 млн человек, то к 2010 г. оно возрастет до 26,1 млн. Это подтверждает тот факт, что информатизация как процесс перехода к информационному обществу приобрела объективный характер. Формируется новая информационная среда обитания человека. Современные информационные и коммуникационные технологии, являющиеся составной частью научного направления «Информатика», существенно меняют не только способ производства продуктов и услуг, но и организацию, а также и формы проведения досуга. Видоизменяется реализация человеком своих гражданских прав, возникают новые методы и формы воспитания и образования. Они оказывают решающее воздействие на социальную структуру общества, экономику, политику, развитие общественных институтов и служат основой развития общества.

Современный уровень информатизации России можно оценить по критерию общего индекса зрелости Информационного Общества (Information Imperative Index). Он состоит из 20 четко сформулированных показателей для трех областей: социальной, информационной и компьютерной. *Социальные показатели* включают законодательную базу, регулирующие нормы и политические факторы. *Информационный показатель* оценивает сектор информатики и информационного бизнеса (программное обеспечение, мультимедиа и т. д.). *Компьютерный показатель* отражает объем и насыщенность рынка оборудования, такого как PC, Интернет, мобильные телефоны и пр. Россия находится на 34-м месте из 54 стран, т. е. в III группе. Наилучшие показатели в России достигнуты в социальной сфере (20-е место), затем идет информационная сфера (32-е место); наихудший уровень наблюдается в компьютерной сфере (46-е место). Все это вместе составляет ясную картину, демонстрируя, что телекоммуникационная инфраструктура и аппаратное обеспечение требуют в целом большего развития, чем законодательная база. Для социальной сферы характерна приоритетность информатизации в образовании по отношению к медицине, науке, искусству и т. д. Однако это преимущество определяет-

ся в большей степени инициативностью педагогических коллективов и в меньшей степени — деятельностью руководящих органов образования. Налицо приоритетность стихийной информатизации над управляемой. В целом информатизация должна поддерживать основные цели развития города, региона, страны.

*Развитие информатизации* будет осуществляться по пути расширения доступа общества к сети Интернет и другим глобальным информационным системам. Для населения должен быть реализован доступ к основным государственным информационным ресурсам, что позволит добиться прозрачности и повышения эффективности работы всех ветвей государственной власти. Ведомственные базы данных должны стать взаимно прозрачными при условии выполнения требований информационной безопасности. Все сотрудники органов государственной власти, включая лиц, принимающих решение, должны будут стать активными пользователями своих автоматизированных рабочих мест. В противном случае непрерывный рост обрабатываемой управленческой и базовой информации, лимит времени на принятие решений не позволит решать задачи оперативного управления и обоснованного прогнозирования. Использование языков программирования высокого уровня, внедрение универсальных программных и технических решений приведут к снижению стоимости процессов информатизации управленческой деятельности и повышению ее эффективности. Особо следует отметить влияние информатизации управленческой деятельности на повышение обоснованности принимаемых оперативных решений и достоверности осуществляемых прогнозов устойчивого развития города.

В различных субъектах хозяйственной деятельности использование информационных технологий станет неременным условием успеха в бизнесе. На производстве невозможно добиться успеха без внедрения информационных систем комплексного назначения, прототипом которых сегодня являются ERP-системы. В банковском бизнесе и торговле — это внедрение электронных платежей, мониторинга рационального использования средств и маркетинга.

Без информатизации немыслимо дальнейшее развитие научных исследований. Многочисленные коллективы ученых научно-исследовательских учреждений и вузов страны станут, с одной стороны, одними из самых активных потребителей программно-технических решений и информационных услуг, а с другой — сами станут производителями интеллектуальных ценностей в области ИКТ.

Информационные технологии станут самым активным помощником населения в домашних условиях. Персональный компьютер — более компактный и более функциональный — должен стать достоянием каждого человека. Это не дань моде, а удовлетворение потребности в доступе к информационным ресурсам, в том числе сети Интернет, обмену информацией, это — решение учебных задач, управление, в том числе дистанционное, быто-

выми приборами самого различного назначения и т. д. При этом внедрение информационных технологий в бытовые условия будет сопровождаться созданием многофункциональных приборов. Продолжится процесс внедрения информационных технологий в личный транспорт горожан.

В здравоохранении прогнозируется создание мощных общедоступных банков данных и знаний, реализация в целом программы «Телемедицина». Без этого немыслимо проводить своевременную профилактику заболеваний, бороться с различного рода эпидемиями, что всегда сопутствует расширению связей любого субъекта в масштабе страны и мира. ИКТ станет неотъемлемой частью методики любого лечения.

Развитие всех видов городского транспорта, в том числе нетрадиционного, сегодня также невозможно представить без широкого использования информационных технологий — от решения задач диспетчеризации движения до автоматизированных систем управления транспортными средствами.

В образовании — это электронные библиотеки, электронные учебники и учебные пособия, создание единой информационной базы учебных заведений, выход на Российские и мировые информационные ресурсы, реализация дистанционного обучения, внедрение информационных технологий в методику преподавания. Без информатизации невозможно будет решить проблему овладения необходимой базой современных данных и знаний. Мероприятия по развитию единой информационной среды системы непрерывного образования должны быть нацелены как на совершенствование системы подготовки специалистов в области информационных и коммуникационных технологий, так и на подготовку специалистов в других сферах с использованием современных ИКТ. Наряду с подготовкой квалифицированных пользователей современных технологий особое внимание следует уделить подготовке разработчиков ИКТ.

Основными задачами данного направления являются:

- создание нормативно-правовой базы информатизации образования;
- создание в учреждениях высшего профессионального образования современной методической и материально-технической базы подготовки и переподготовки специалистов для сферы ИКТ;
- формирование необходимой кадровой, методической и материально-технической базы в образовательных учреждениях начального и среднего профессионального образования;
- развитие системы дистанционного обучения;
- развитие информационной и телекоммуникационной инфраструктуры в учреждениях общего среднего и высшего профессионального образования;
- реализация программ переподготовки кадров государственной и муниципальной службы, бюджетных организаций, развития среднего и высшего профессионального образования на базе ИКТ;

— формирование профессиональных образовательных программ и создание необходимых для их реализации аппаратных и программных средств.

*Развитие телекоммуникаций* должно базироваться на одобренной Правительством России Концепции развития телекоммуникационных услуг РФ на ближайшие 10 лет. Развитие телекоммуникационной и информационной инфраструктуры в соответствии с этой Концепцией относится к приоритетным направлениям государственной политики и с учетом формирования глобального информационного общества является необходимым условием подъема экономики страны, роста занятости и повышения культурно-образовательного уровня населения. В Концепции впервые говорится о рынке телекоммуникационных услуг и о том, как влиять на этот рынок, чтобы инфраструктура развивалась в интересах государственных органов управления, интересах населения. При этом необходимо создать условия и сформировать механизмы, обеспечивающие решение следующих основных задач:

— удовлетворение растущих потребностей в услугах отрасли и опережающее развитие ее инфраструктуры по отношению к темпам развития экономики в целом;

— ускоренное развитие рынка современных и высококачественных услуг отрасли (передача данных, электронная почта, услуги по доступу в сеть Интернет и услуги иных телематических служб, подвижная связь, услуги цифровых сетей с интеграцией обслуживания интеллектуальных сетей и др.);

— переход на цифровую технологию распространения телерадиопрограмм, обеспечивающую сокращение используемого в настоящее время частотного ресурса космических аппаратов при одновременном увеличении количества распространяемых программ;

— повышение эффективности использования телекоммуникационной инфраструктуры и инвестиционной привлекательности отрасли, становление добросовестной конкуренции.

Развитие общей телекоммуникационной инфраструктуры России должно быть направлено на непрерывное расширение сегментов рынка телекоммуникационных услуг, удовлетворение насущных потребностей населения и субъектов хозяйственной деятельности. Развитие мобильной связи в прогнозируемом периоде будет характеризоваться обострением конкурентной борьбы операторов сотовой связи, ежегодным увеличением количества абонентов в 1,5–1,8 раза и, как следствие, снижением тарифов на услуги. Передача данных, телекоммуникационные услуги, включая Интернет, будут развиваться особенно активно. В среднем по России количество абонентов Интернет увеличивается ежегодно на 50 %. Рост количества абонентов будет сопровождаться повышением качества услуг, снижением тарифов, приходом Интернет во все образовательные и научные учреждения, учреждения здравоохранения и культуры, органы государственной власти и местного самоуправления. Важнейшей составной частью развития общей те-

лекоммуникационной инфраструктуры России в прогнозируемом периоде является завершение создания и качественное развитие единой мультисервисной телекоммуникационной сети городов. Это реальный резерв повышения эффективности управления всеми сферами жизнедеятельности страны, резкого повышения быстродействия и качества функционирования ведомственных автоматизированных информационных систем, взаимодействия друг с другом, база доступа населения и хозяйствующих субъектов к информационным ресурсам через высокоскоростной Интернет. Таким образом, одну из важнейших ролей на рынке телекоммуникационных услуг будет сохранять телевидение. Операторы кабельного телевидения будут расширять свои возможности для оказания абонентам дополнительных услуг, в том числе:

- услуг по передаче данных, сигналов факсимильных сообщений, электронной почты и Интернета;

- услуг местной телефонной связи с выходом на сети связи общего пользования, междугородные и международные сети;

- услуг по сбору данных телеметрии для диспетчерских и инженерных служб различного назначения, услуг по распределению сигналов, необходимых для нужд охраны, видеонаблюдения и контроля жилых и нежилых помещений и зданий;

- услуги организации телекоммуникационной поддержки мероприятий гражданской обороны и других профильных услуг и т. д.

В целом, на основе долгосрочного прогноза состояния телекоммуникации и связи в России, прежде всего, реально предположить объединение всех локальных, корпоративных телекоммуникационных сетей в единую сеть передачи информации, которая, в свою очередь, должна иметь выход в глобальную информационную сеть, включая внеземные объекты. При этом предсказывается повышенное внимание к проблеме обеспечения защиты информации и сетей от внешних воздействий различного характера.

В основе проводных линий связи приоритет будет принадлежать оптоволокну, вполне реально применение новых материалов с высокопроводящими характеристиками. Для связи отдельных корпоративных сетей или для их подключения к глобальным сетям приоритет будет отдан беспроводным сетям — спутниковым линиям связи, открытым лазерным каналам и др. Для передачи информации на большие расстояния вполне реально использовать энергетические сети.

Первый этап перехода к информационному обществу был нацелен на создание социальных, экономических и технических условий формирования и начального удовлетворения информационных потребностей населения и получил название, как выше указывалось, этапа компьютеризации. На этом этапе предусматривается опережающее развитие научно-технических направлений, непосредственно обеспечивающих создание и эффективное применение новых информационных технологий, модернизацию конструкторской, технологической и про-

мышленных баз производства информационных средств и их элементов, экстенсивное распространение вычислительной и микропроцессорной техники на различные области человеческой деятельности. Начинает создаваться система, обеспечивающая формирование всеобщей компьютерной грамотности как основы воспитания информационной культуры населения. В соответствии с этим в развитии образования следует выделить как самостоятельный также этап компьютеризации образования. Домашний компьютер в современных социально-экономических условиях стал основным элементом поддержки учебного процесса на всех уровнях обучения, явился средством выхода пользователей в мировые информационные сети и доступа к мировым информационным ресурсам.

Второй этап перехода к информационному обществу предполагает развитие информационной инфраструктуры каждой страны и обеспечение условий для включения ее в состав мировой структуры информационного общества. Этот этап может быть назван *этапом персонализации информационного фонда и интеграции информационных сетей*. Базой его реализации являются новые информационные ресурсы, представленные на основе коммуникационных технологий в единой мировой сети. Этап характеризуется компьютерным освоением информационного фонда, загрузкой его в базы данных, объединенных в локальные и корпоративные информационные сети. Свободный доступ к информации, хранящейся в таких базах, имеет только ограниченный круг пользователей. Происходит подключение этих сетей к глобальным сетям и их интеграция. Продолжается формирование информационной культуры населения. В соответствии с этим этапом перехода к информационному обществу в системе образования должна решаться задача интеграции информационных фондов при формировании распределенных банков данных и баз знаний с удаленным доступом к ним.

К проблемам образования на втором этапе следует отнести:

- представление информационных ресурсов российского образования в мировой образовательной системе;

- организацию свободного удаленного доступа преподавателей и студентов, учителей и учеников к информационным образовательным ресурсам;

- перевод методических, учебных пособий и учебников на новые виды машинных носителей с использованием мультимедиа и Web-технологий;

- достижение единства теории предмета, методики его изучения и средств их представления на базе перспективных информационных технологий;

- создание виртуальных школ и университетов, поддерживающих дистанционное образование.

Третий этап формирования информационного общества характеризуется обеспечением свободного доступа ко всей информации, накопленной человечеством, возможностью не только пользо-

ся, но и непосредственно пополнять городской, общегосударственный и мировой информационные фонды и может быть назван *этапом социализации и актуализации информационного фонда*. Объединение всех информационных систем в единую информационную сеть не только многократно усиливает интеллектуальные способности жителей, охваченных этой сетью, но и создает новые возможности, которые присущи новому качественному образованию, а именно коллективному разуму. Информационный фонд становится достоянием практически каждого жителя города и превращается в основной ресурс развития общества. Можно считать, что в результате выполнения третьего этапа формирование информационного общества будет в основном завершено. В соответствии с задачами третьего этапа перехода к информационному обществу основной проблемой образовательной системы является организация свободного удаленного доступа к информационным образовательным ресурсам. Такие ресурсы должны храниться в распределенных базах знаний. Наряду с программно-аппаратными проблемами их реализации остаются проблемы формализации и представления знаний, проблемы разработки методики использования удаленных информационных ресурсов в учебном процессе и в организации образовательной системы в целом.

Интенсивное развитие информационной индустрии не может не отражаться на потребностях отраслей экономики России в подготовке квалифицированных специалистов в области информационных систем и технологий. В международной образовательной практике направление подготовки кадров в области информационных технологий (ИТ) получило название «Computing» и первоначально включало два направления Computer Science и Computer Engineering (в отечественном образовании близкими направлениями являются «Прикладная математика и информатика», «Информатика и вычислительная техника», «Информационные системы»). Кардинальные изменения в области ИТ (Интернет, мобильная связь, индустрия информационных ресурсов) привели к формированию и быстрому развитию новых направлений ИТ (электронные библиотеки, биоинформатика, квантовая информатика, виртуальные предприятия и организации). Как следствие, произошедшие изменения вызвали новый подход к ИТ как научному и образовательному направлению и обусловили необходимость консолидации усилий мирового сообщества в формировании целостного подхода к подготовке профессиональных кадров. Эти оценки и результаты нашли отражение в документе «Computing Curricula 2001» (CC2001), подготовленном совместными усилиями IEEE и ACM.

На основе анализа изменений в области ИТ за последнее десятилетие, а также ее современного статуса в системе университетского образования в CC2001 констатируется, что: ИТ сформировалась как самостоятельная образовательная дисциплина, которая имеет фундаментальное значение для подготовки кадров по всем образовательным на-

правлениям, выполняя в современном образовании роль базовой интегральной дисциплины, такой же как, например, математика для естественнонаучных направлений обучения. Другим важным принципом, сформулированным в CC2001, является концепция обучения ИТ-профессии, ставящая целью подготовку ИТ-специалистов для исследовательских лабораторий, индустрии и бизнеса, а не выпускников университетов, прослушавших много курсов, но не подготовленных к конкретной работе. На основе этих принципов в CC2001 разработан подход к базовому обучению на степень бакалавра по различным направлениям специализации в ИТ:

— определен состав областей и объем знаний для базового высшего образования (подготовки бакалавров) с детализацией до уровня отдельных тем (более 130 тем);

— определено ядро объема знаний как общей части учебных программ обучения различным направлениям ИТ;

— разработан набор педагогических стратегий (16 стратегий) и моделей построения учебных программ;

— разработано более 80 типовых программ учебных курсов, воплощающих различные педагогические подходы к обучению;

— установлены принципы аккредитации и сертификации учебных программ.

Ниже приведен список основных направлений области ИТ, указанных в CC2001.

1. Artificial intelligence (Искусственный интеллект).
2. Bioinformatics (Биоинформатика).
3. Cognitive science (Когнитивная наука).
4. Computational science (Вычислительная наука).
5. Computer science (Компьютерные науки).
6. Database engineering (Технологии баз данных).
7. Digital library science (Электронные библиотеки).
8. Graphics (Машинная графика).
9. Human-computer interaction (Человеко-машинное взаимодействие).
10. Information science (Информационная наука).
11. Information systems (Информационные системы).
12. Instructional design (Архитектура ЭВМ).
13. Knowledge engineering (Инженерия знаний).
14. Learning theory (Теория обучения).
15. Management information systems (Информационные системы управления).
16. Multimedia design (Технологии мультимедиа).
17. Network engineering (Сетевые технологии).
18. Performance analysis (Анализ производительности).
19. Scientific computing (Автоматизация научных исследований).
20. Software architecture (Архитектура программного обеспечения).
21. Software engineering (Проектирование программного обеспечения).
22. System administration (Системный менеджмент).
23. System security and privacy (Безопасность ИТ).
24. Web service design (Web-технологии).

Необходимость международного сотрудничества в образовательной сфере требует сопоставления образовательных стандартов. Федеральный закон РФ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании» предусматривает две модели обучения: одноступенчатое и двухступенчатое образование.

Одноступенчатое — квалификация специалиста (не менее пяти лет). Двухступенчатое — сначала квалификация бакалавра (не менее четырех лет), затем квалификация магистра (еще не менее двух лет). В международной образовательной системе используется вторая модель, поэтому требуется согласование отечественных и международных образовательных стандартов, разработка Государственных образовательных стандартов подготовки бакалавров и магистров по специальности. Это позволит успешно функционировать на мировом рынке образовательных услуг. Особое внимание, как выше указывалось, следует уделить подготовке разработчиков информационных технологий и систем.

В этом направлении в России исторически первой по инициативе УМО вузов по университетскому политехническому образованию при МГТУ им. Н. Э. Баумана была организована подготовка инженеров по межотраслевой специальности 071900 — «Информационные системы (по областям применения)». Приказом Государственного Комитета РФ по высшему образованию Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования и государственные требования к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальности 071900 — «Информационные системы (по областям применения)» были введены в действие с 1 декабря 1994 г. Направление 654700 — «Информационные системы» (ИС) с единственной специальностью 071900 — «Информационные системы и технологии» (ИСТ) было введено в числе направлений подготовки и специальностей высшего профессионального образования в соответствии с приказом министра образования РФ от 02.03.2000 г. за № 686. Одновременно были разработаны и утверждены Государственный образовательный стандарт (ГОС) высшего профессионального образования и примерный учебный план по направлению подготовки дипломированного специалиста 654700 — ИС.

В 2002 г. в направлении подготовки дипломированных специалистов 654700 — ИС была открыта вторая специальность 073700 — «Информационные технологии в образовании» (ИТО). В экспериментальном порядке с 2003/2004 учебного года в 12 вузах была введена подготовка бакалавров и магистров по направлению 554400 — «Информационные системы». В настоящее время обозначились новые сферы деятельности, в которых остро ощущается потребность в разработчиках информационных технологий. К ним, в первую очередь, можно отнести дизайн, медиаиндустрию, менеджмент, инфокоммуникации и т. д. Необходимость открытия новых специальностей в направлении 654700 — «Информационные системы» определяется следующими факторами:

— переход к информационному обществу требует поддержки информатизации, устранения разрыва в подготовке специалистов в области информационных технологий и информационных систем;

— практическая потребность в специалистах по информационным системам подтверждается тем, что специальности 071900 — ИСТ и 073700 — ИТО открыты в настоящее время более чем в 70 вузах России.

По мнению научно-педагогической общественности целесообразно сформировать новые информационные специальности по областям деятельности: дизайн, медиаиндустрия, научные исследования, менеджмент, защита информации и т. д. Актуальность открытия новых программ высшего профессионального образования в предметной области информационных систем и технологий обосновывается следующими причинами:

— в современных условиях происходит быстрая смена корпоративных информационных систем, модернизация технического фундамента и программных средств, что вынуждает предприятия быстро перестраивать, перепроектировать корпоративные информационные системы (КИНС) и информационные технологии;

— наиболее ответственным и достаточно трудоемким остается этап системного анализа производственной системы и ее информационной среды, который до настоящего времени остается слабоформализованным;

— в процессе проектирования и реинжиниринга корпоративных информационных систем требуется оптимизировать затраты на приобретение средств вычислительной техники и программного обеспечения, наладку, администрирование и сопровождение программных систем; существующие подходы к проектированию таких систем в недостаточной степени решают эти проблемы;

— недостаточно разработаны вопросы автоматизированного перехода от анализа информационных процессов и потоков в распределенной производственной системе к требуемой конфигурации программных и аппаратных средств;

— в современных корпоративных информационных системах содержится большое количество избыточной информации, поэтому представляется целесообразным разработку методов сжатия избыточности путем анализа семантических свойств информационных процессов в распределенных системах;

— имеющиеся в современных условиях инструментальные средства не в полной мере решают перечисленные выше проблемы, поэтому необходимо дополнение их новыми теоретическими моделями и методами и соответствующими автоматизированными средствами, что может быть сделано только профессиональными специалистами в области информационных систем различного профиля.

Таким образом, основными путями совершенствования подготовки кадров в области информационных технологий, оправдавшими себя к настоящему времени, можно считать следующие.



1. Сближение отечественных стандартов в области ИТ с международным стандартом СС2001. Это позволит иметь достаточно широкое представительство России на мировом рынке образовательных услуг, оцениваемом в миллиарды долларов. В частности, большой спрос имеет магистерское обучение. Обладая значительным научным и педагогическим потенциалом, многие ведущие ВУЗы страны могли бы плодотворно работать в этом секторе услуг. Параллельно может быть расширено и обучение наших студентов за рубежом, как на уровне бакалавра, так и магистра. При этом необходимо сохранить и развить сильные стороны отечественной высшей школы, обратив внимание на фундаментальную и математическую подготовку выпускников.

2. Корректировка существующих отечественных образовательных стандартов в области ИТ:

— в плане создания целостной системы подготовки ИТ-кадров на основе существующих взаимосвязанных стандартов;

— в направлении более четкого разграничения предметных областей (теоретическая поддержка, проектирование, сопровождение, использование компонент ИТ и комплексного использования ИТ);

— в плане ориентации подготовки специалистов на конкретную работу в связи с потребностями рынка.

3. Расширение перечня специальностей магистерской подготовки, ориентированных на новые актуальные направления ИТ.

4. Развитие системы переподготовки кадров в области ИТ, методологически связанной с существующими образовательными стандартами.

5. Модификация рабочих программ общепрофессиональных и специальных дисциплин с учетом сложившихся тенденций в области ИТ.

6. Создание набора педагогических стратегий и моделей построения учебных программ в области ИТ.

7. Модернизация лабораторной базы с оснащением современными компьютерами, расширением среды телекоммуникаций, приобретением лицензионных программных средств.

## Литература

1. **Никандров Н. Д., Советов Б. Я.** Приоритетные направления информатизации образования // Тр. конф. «Региональная информатика РИ-2002». — СПб., 2003.
2. **Советов Б. Я., Цехановский В. В.** Информационные технологии. — М.: Высшая школа, 2003.
3. **Федоров И. Б., Коршунов С. В., Советов Б. Я.** Новые специальности в направлении подготовки «Информационные системы» // «Информационные технологии». — Вып. 8. — М., 2002.

**А. В. Матвеев, В. П. Котов**

**Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза: Учеб. пособие / СПб.: СПбГУАП, 2004. — 104 с. ISBN 5-8088-0103-6**

Учебное пособие подготовлено в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта по специальности 656600 "Защита окружающей среды". В нем освещаются вопросы организационно-правовых основ проведения экологической экспертизы (ЭЭ) и оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), разъясняются экологические требования к созданию и эксплуатации хозяйственных и иных объектов, рассматриваются этапы процедуры ОВОС и ЭЭ, даются теоретические и практические рекомендации при проведении ОВОС и ЭЭ, а также порядок оформления документации для принятия управленческих решений.



УДК 519.24

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ МНОГОКАНАЛЬНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ФОРМИРУЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

**А. П. Шепета,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения

*Предложен один из возможных подходов к исследованию поведения показателей сложных социально-экономических систем. Подход заключается в представлении показателей в виде векторного случайного процесса специального вида с заданными корреляционными функциями каждого из показателей и заданной матрицей коэффициентов взаимной корреляции между показателями. Приведены алгоритм моделирования системы показателей и явные выражения для расчета параметров алгоритма.*

*One of the possible approaches to research of complex social and economic systems behavior parameters is offered. The approach consists of presentation of parameters as a special kind of vector casual process with the set correlation functions of each parameter and the set matrix of factors of mutual correlation between parameters. The algorithm of parameters system modeling and obvious expressions for calculation of algorithm's parameters are resulted.*

При исследовании сложных систем, к которым относятся и социально-экономические системы, зачастую единственным методом исследования является моделирование системы на ЭВМ. В качестве математических моделей социально-экономических систем наиболее часто используются параметрические модели, так как при сравнительно малом объеме исходной информации они все же, за счет небольшого количества параметров, позволяют «настроить» модель на конкретные показатели. Особенностью социально-экономических систем является взаимосвязь показателей, что приводит к необходимости оценивать не только автокорреляционную функцию отдельно взятого показателя, но оценивать и взаимные автокорреляционные функции [1, 2]. Это еще больше увеличивает количество параметров математической модели, поэтому часто ограничиваются оценкой лишь коэффициентов взаимной корреляции отдельных показателей, так как в этом случае необходимо будет оценивать корреляционную матрицу, у которой на главной диагонали находятся единицы. При количестве показателей, равном  $M$ , количество оцениваемых параметров увеличится только на  $M(M - 1)$ .

В данной работе рассмотрим вопросы математического моделирования поведения системы, считая, что модель системы уже построена и ее параметры определены. Целью математического моделирования в такой ситуации является проверка устойчивости модели к изменению ее параметров, что является весьма важным, так как параметры определяются по исходной информации с некоторой погрешностью [1, 3]. Учет взаимных связей параметров может компенсировать неточность определения отдельных значений, а это может привести к «правильной» реакции системы на соответствующие входные воздействия.

Пусть математическая модель социально-экономической системы включает  $M$  показателей. Пусть каждый из показателей описывается некоторым случайным процессом  $\zeta(t)$ , при малом разбросе этот процесс можно считать детерминированным (цифровой индекс показателя опущен). Процесс  $\zeta(t)$  представим в виде

$$\zeta(t) = m_{\zeta}(t) + \sigma_{\zeta}(t) \cdot \xi(t), \quad (1)$$

где  $m_{\zeta}(t)$  и  $\sigma_{\zeta}(t)$  — математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение процесса  $\zeta(t)$  соответственно, детерминированные функции времени, которые при моделировании полагаются извест-

ными. Тренд и сезонные изменения включены в эти детерминированные функции, так как при моделировании нет необходимости различать эти особенности изменения показателей. Из выражения (1) получаем

$$\xi(t) = \frac{\zeta(t) - m_{\zeta}(t)}{\sigma_{\zeta}(t)},$$

откуда следует, что  $m_{\zeta}(t) = 0$  и  $\sigma_{\zeta}(t) = 1$ . Процесс  $\xi(t)$ , отражающий случайные изменения показателя, является центрированным и нормированным. Будем считать  $\xi(t)$  случайным стационарным процессом с корреляционной функцией  $r_{\xi}(t_1, t_2) = r_{\xi}(|t_1 - t_2|) = r_{\xi}(\tau)$ . Указанное допущение стационарности  $\xi(t)$  не является слишком ограничительным. Действительно, при анализе социально-экономических систем в качестве исходной информации используются временные ряды, для которых предполагается, что  $k$ -я разность временного ряда является не только стационарным процессом, но даже эргодическим, поскольку корреляционные характеристики этой разности можно определить только через автокорреляционную функцию. Это предположение вынужденно, но, как показывает опыт, в большинстве практических случаев выполняется.

Для корреляционной функции исходного нестационарного процесса  $\zeta(t)$  справедливо выражение

$$K_{\zeta}(t_1, t_2) = m_{\zeta}(t_1) \cdot m_{\zeta}(t_2) + \sigma_{\zeta}(t_1) \cdot \sigma_{\zeta}(t_2) \cdot r_{\xi}(|t_1 - t_2|), \quad (2)$$

фактически и используемое на практике для аппроксимации корреляционных функций наблюдаемых показателей социально-экономических систем.

Таким образом, при указанных допущениях, которые и так присутствуют неявно в большинстве математических моделей социально-экономических систем, моделирование нестационарного процесса  $\zeta(t) = m_{\zeta}(t) + \sigma_{\zeta}(t)\xi(t)$  сводится к моделированию стационарного процесса  $\xi(t)$ , поскольку моделирование функций  $m_{\zeta}(t)$  и  $\sigma_{\zeta}(t)$  тривиально.

Для моделирования всей социально-экономической системы необходимо кроме автокорреляционных функций отдельных показателей задать и матрицу коэффициентов взаимной корреляции всех показателей системы, которая является симметричной действительной невырожденной матрицей. Для полного описания рассматриваемой модели необходимо знать конечно многомерный совместный закон распределения всех  $M$  показателей, но на практике можно определить лишь одномерные законы распределения каждого из показателей, их корреляционные функции и матрицу коэффициентов взаимной корреляции. Поэтому будем учитывать только эту информацию и синтезировать алгоритмы моделирования, которые имеют указанные статистические характеристики. Подобные ограничения используются во многих прикладных математических моделях в разных научно-технических областях [4, 5].

Далее возможны два подхода к моделированию социально-экономической системы: при первом — моделирование системы рассматривается как мо-

делирование векторного случайного процесса, при втором — как моделирование ограниченного случайного поля [6]. При втором подходе, в общем случае, каждый из показателей рассматривается как  $m$ -мерное поле, поэтому общая размерность возрастает до  $mM$ . При моделировании системы как векторного поля можно отдельно учесть и сезонные колебания и многие другие особенности системы, практически не накладывая каких-либо существенных ограничений на статистические характеристики поля, но алгоритмы получаются достаточно сложными даже при  $m = 1$ . В данной работе ограничимся рассмотрением первого подхода — моделирование социально-экономической системы как векторного случайного процесса (в общем случае негауссовского). Элементами моделируемого вектора являются  $M$  показателей системы, каждый из которых является скалярным случайным процессом.

В научной литературе рассмотрены основные теоретические методы моделирования случайных величин и процессов с заданными статистическими характеристиками. Из результатов следует, что при практической реализации наиболее приемлемым методом, позволяющим моделировать процессы в реальном времени и без методической ошибки, является метод функционального нелинейного преобразования нормального случайного процесса, являющегося выходным сигналом линейного дискретного формирующего фильтра (ЛДФФ). В частном случае (моделирование нормальных процессов) нелинейное преобразование отсутствует [3–10]. Математические выражения алгоритмов моделирования векторных процессов, следующие из этого метода, позволяют распараллеливать вычисления [11, 12] при реализации их на многопроцессорных ЭВМ.

Достоинства метода особенно стали проявляться именно при появлении современных многопроцессорных платформ и соответствующих многозадачных и многопоточных операционных систем [11, 12]. Основным недостатком метода является большой объем подготовительной работы, связанной с расчетом параметров алгоритмов. При этом требуется принимать решения по мере выполнения численных расчетов для отдельных частных задач, что делает практически невозможным автоматизацию процесса синтеза алгоритма моделирования [4, 7].

В данной работе представлены некоторые новые результаты по синтезу ЛДФФ произвольного порядка, которые позволяют получить замкнутые аналитические выражения для расчета коэффициентов фильтров и тем самым полностью автоматизировать наиболее трудоемкую часть методики синтеза. Представленные алгоритмы устойчивы, ориентированы на статистические задачи, синтез их проводился с учетом последующей реализации на ЭВМ, что и обусловило их высокую практическую эффективность по сравнению с известными теоретическими алгоритмами [3–10].

Далее метод синтеза ЛДФФ обобщается на синтез многоканального ЛДФФ (МЛДФФ), позволяющего моделировать векторные нормальные случайные процессы с заданной межканальной корреля-

ционной матрицей (определяемой по матрице взаимных коэффициентов корреляции показателей социально-экономической системы). Если показатели системы подчиняются нормальному закону, то на этом синтез алгоритма завершен, если же среди показателей есть негауссовские, то вводятся соответствующие функциональные преобразователи. При этом получаем общий алгоритм моделирования негауссовского вектора с заданной матрицей взаимной корреляции элементов и заданными корреляционными временными характеристиками каждого отдельного показателя. Этот алгоритм реализуется многоканальным нелинейным ДФФ (МНДФФ), в каждом из каналов которого используется ЛДФФ с соответствующим функциональным преобразователем, реализующий, в отличие от известных ЛДФФ, общую модель авторегрессии — скользящего среднего произвольного порядка.

Синтезируемые МНДФФ содержат переменные во времени коэффициенты, т. е. позволяют моделировать нестационарные случайные процессы, но только такие нестационарные процессы, у которых корреляционная функция определяется выражением (2). Для аппроксимаций корреляционных функций отдельных показателей чаще всего используются марковские процессы не выше второго порядка. В данной работе также ограничимся использованием марковских процессов, но произвольного порядка, и, кроме того, приведем явные аналитические выражения для расчета параметров фильтров для марковских процессов вплоть до четвертого порядка.

Метод синтеза нелинейного многоканального МНДФФ разделим на две части: синтез канального ЛДФФ для моделирования нормального стационарного процесса и синтез межканального матричного фильтра, обеспечивающего заданную межканальную корреляционную зависимость. При этом из-за ограниченности объема рассмотрим только нормальные процессы, обобщение на негауссовский случай, хотя и требует специального рассмотрения, но без принципиальных трудностей может быть получено на основе общих выражений, приведенных в работах [4–6, 13].

### Синтез линейных дискретных формирующих фильтров произвольного порядка

Рассмотрим дискретную передаточную функцию рекурсивного ЛДФФ  $N$ -го порядка, которую в общем виде можно записать как [9, 10]

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}}{1 - \sum_{j=1}^N a_j z^{-j}} = \frac{U_k}{\xi_k}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{a}_N = (a_1, a_2, \dots, a_N)$  и  $\mathbf{b}_N = (b_0, b_1, \dots, b_{N-1})$  — векторы параметров ЛДФФ;  $U_k$  — его выходной сигнал;  $a \xi_k$  — нормальный дискретный белый шум с нуле-

вым средним и единичной дисперсией,  $\xi_k \sim N(0, 1)$ ;  $Z^{-1}$  — задержка на один такт.

Отсюда выходной сигнал  $U_k$  равен

$$U_k = \sum_{j=1}^N a_j Z^{-j} U_k + \sum_{i=0}^{N-1} b_i Z^{-i} \xi_k = \sum_{j=1}^N a_j U_{k-j} + g_k, \quad (4)$$

где  $g_k$  — окрашенный шум,

$$g_k = \sum_{i=0}^{N-1} b_i \xi_{k-i}. \quad (5)$$

Существует много разных способов синтеза ЛДФФ по заданным корреляционно-спектральным характеристикам выходного сигнала. Основным из этих способов является синтез ЛДФФ по спектральной плотности выходного сигнала путем ее факторизации, однако этот метод на практике можно успешно применять лишь для фильтров второго порядка (теоретически для фильтров не выше 4-го порядка) в силу трудностей, возникающих при факторизации спектральной плотности [4, 7, 9, 10]. Разработаны также методы синтеза, требующие задания корреляционной функции в нескольких точках, однако эти методы, во-первых, приводят к ЛДФФ очень высокого порядка, а во-вторых, не гарантируют поведение корреляционной функции моделируемого процесса вне интервала задания его корреляционной функции [12]. Здесь предложен иной метод синтеза ЛДФФ, по своей сути являющийся промежуточным между статистическим методом [7, 8, 10] и методами синтеза, вытекающими из теории автоматического управления [9], его можно рассматривать как модификацию методов, изложенных в работе [10].

Пусть решетчатая функция выходного сигнала ЛДФФ, равная  $r_{i-n}$  соответствует марковскому процессу  $N$ -го порядка. Это означает, что очередное рассчитываемое значение должно зависеть только от  $N$  предыдущих значений, т. е. может быть представлено в виде (4), а сам алгоритм может быть реализован в виде ЛДФФ с передаточной функцией вида (3). Нетрудно заметить, что среднее значение  $\bar{U}_k = M[U_k] = 0$  при любом значении  $k$ , т. е. при любых значениях  $k$  значение  $U_k$  может быть представлено в виде суммы независимых случайных величин  $\xi_k$ ,  $j < k$  с распределением  $\sim N(0, 1)$ . Или, так как  $\bar{U}_k = M[U_k] = M[U_m] = \bar{U}_m$ ,

$$\begin{aligned} \bar{U}_k &= M \left[ \sum_{j=1}^N a_j U_{|k-j|} + \sum_{i=0}^{N-1} b_i \xi_{|k-i|} \right] = \\ &= \sum_{j=1}^N a_j M[U_{|k-j|}] + \sum_{i=0}^{N-1} b_i M[\xi_{|k-i|}] = \bar{U}_j \sum_{j=1}^N a_j, \quad (6) \end{aligned}$$

$$\bar{U} \cdot \left( 1 - \sum_{j=1}^N a_j \right) = 0, \quad (7)$$

но для  $\left( 1 - \sum_{j=1}^N a_j \right) \neq 0$ , отсюда  $\bar{U}_k = 0$ . Поэтому

$$r_{|k-m|} = M[(U_k - \bar{U}_k)(U_m - \bar{U}_m)] = M[U_k U_m]. \quad (8)$$

Далее, из выражения (3) следует, что при  $m \leq (k - N)$ ,  $k \geq N$

$$M[U_m g] = M \left[ U_m \sum_{i=0}^{N-1} b_i \xi_{|k-i|} \right] = \sum_{i=0}^{N-1} b_i M[U_m \xi_{|m+N-i+d|}] = 0, \quad (9)$$

так как  $k = m + N + d$  и при  $k \geq m + n$ ,  $d \geq 0$ . Следовательно, наименьший индекс при  $\xi_{|k-j|}$  равен  $(m + N - i + d) \geq (m + 1 + d) > m$ , поэтому при формировании  $U_m$  использованы величины  $\xi_j$  с индексами меньшими, чем при формировании  $g_k$ . Отсюда следует, что при  $n \geq 0$

$$M[U_k U_{|k-N-n|}] = M \left[ U_{|k-N-n|} \sum_{j=1}^N a_j U_{|k-j|} \right] + M[U_{|k-N-n|} g_k] = \sum_{j=1}^N a_j M[U_{|k-N-n|} U_{|k-j|}] = \sum_{j=1}^N a_j r_{N+n-j} = r_{N+n}, \quad (10)$$

в частности, при  $n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$  получаем следующую систему линейных уравнений для определения вектора  $\mathbf{a}_N = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ :

$$\begin{cases} r_0 a_N + r_1 a_{N-1} + \dots + r_{N-1} a_1 = r_N; \\ r_1 a_N + r_2 a_{N-1} + \dots + r_N a_1 = r_{N+1}; \\ \dots \\ r_j a_N + r_{j+1} a_{N-1} + \dots + r_{N-1+j} a_1 = r_{N+j}; \\ \dots \\ r_{N-1} a_N + r_N a_{N-1} + \dots + r_{2(N-1)} a_1 = r_{2N-1}. \end{cases} \quad (11)$$

Или, вводя корреляционную матрицу  $\mathbf{r}_{N,N} = \{C_{ij}\}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, N$ , где  $C_{ij} = r_{|i-j|}$ , вектор свободных членов  $\mathbf{r}_N = (r_N, r_{N+1}, \dots, r_{2N-1})$ , вектор неизвестных параметров  $\mathbf{a}_N^* = (a_N, a_{N-1}, \dots, a_1)$ , систему уравнений (11) запишем в матричной форме [14]:

$$\mathbf{r}_{N,N} \cdot \mathbf{a}_N^* = \mathbf{r}_N^T, \quad (12)$$

где  $()^T$  — знак транспонирования. Используя формулы Крамера, получаем решение

$$a_l = \det \mathbf{r}_{N,N}^{(l)} / \det \mathbf{r}_{N,N}, \quad (13)$$

где  $\mathbf{r}_{N,N}^{(l)}$  — матрица  $\mathbf{r}_{N,N}$ , в которой  $l$ -й столбец заменен на вектор  $\mathbf{r}_N^T$ .

Теперь определим вектор  $\mathbf{b}_N = (b_0, b_1, \dots, b_{N-1})$ . Сначала заметим, что

$$\tilde{g}_k = M \left[ \sum_{i=0}^{N-1} b_i \xi_{k-1} \right] = \sum_{i=0}^{N-1} b_i M[\xi_{k-1}] = 0, \quad (14)$$

и, обозначая через  $R_n \triangleq M[g_k g_{k-n}]$ , получим, что при  $0 \leq n \leq N - 1$

$$M[g_k g_{k-n}] = R_n = M \left[ \left( \sum_{i=0}^{N-1} b_i \xi_{k-i} \right) \left( \sum_{j=0}^{N-1} b_j \xi_{k-n-j} \right) \right] = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} b_i b_j M[\xi_{k-i} \xi_{k-n-j}] = \sum_{j=0}^{k-n-1} b_j b_{n+j}. \quad (15)$$

Отсюда для определения вектора  $\mathbf{b}_N$  получаем систему нелинейных уравнений

$$\begin{cases} b_0^2 + b_1^2 + \dots + b_{N-1}^2 = \sum_{j=0}^{N-1} b_j^2 = R_0; \\ b_0 b_1 + b_1 b_2 + \dots + b_{N-2} b_{N-1} = \sum_{j=0}^{N-2} b_j b_{j+1} = R_1; \\ \dots \\ b_0 b_i + b_1 b_{i+1} + \dots + b_{N-1-i} b_{N-1} = \sum_{j=0}^{N-i-1} b_j b_{j+i} = R_i; \\ \dots \\ b_0 b_{N-1} = R_{N-1}, \end{cases} \quad (16)$$

где  $R_0, R_1, \dots, R_{N-1}$  — отсчеты решетчатой функции корреляции окрашенного нормального шума  $g_k$ ,  $R_j = 0$ , при  $j \geq N$ . Найдем  $R_n$  для  $n > 0$ . По определению

$$\begin{aligned} R_n &= M[g_k g_{k-n}] = M \left[ \left( U_k - \sum_{j=1}^N a_j U_{k-j} \right) \times \right. \\ &\quad \times \left. \left( U_{k-n} - \sum_{i=1}^N a_i U_{k-n-i} \right) \right] = M[U_k U_{k-n}] - \\ &\quad - \sum_{j=1}^N a_j M[U_{k-j} U_{k-n}] - \sum_{i=1}^N a_i M[U_k U_{k-n-i}] + \\ &\quad + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j M[U_{k-j} U_{k-n-i}] = \\ &= r_n - \sum_{j=1}^N a_j r_{|j-n|} - \sum_{i=1}^N a_i r_{|j-n|} + \\ &\quad + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j r_{|n+i-j|} = r_n - \sum_{l=1}^N a_l (r_{|n-l|} + r_{|n+l|}) + \\ &\quad + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j r_{|n+i-j|}. \end{aligned} \quad (17)$$

Резюмируя, получаем, при задании марковского дискретного нормального случайного процесса  $N$ -го порядка с корреляционной функцией  $\mathbf{r}(nT) = r_n$ ,  $n = 1, 2, \dots$  ( $T$  — интервал дискретизации) передаточная функция ЛДФФ, формирующая этот марковский процесс из нормального дискретного шума  $\xi_k \sim N(0, 1)$ , определяется векторами  $\mathbf{a}_N$  и  $\mathbf{b}_N$ , где вектор  $\mathbf{a}_N$  является решением системы линейных уравнений, а вектор  $\mathbf{b}_N$  — нелинейных вида

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{N-1} r_{i+j} a_{N-i} = r_{N+j}, & j = 0, 1, \dots, N-1, \\ \sum_{l=0}^{N-1} b_l b_{l+i} = r_l - \sum_{k=1}^N a_k (r_{|l-k|} + r_{|l+k|}) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j r_{|l+i-j|}, \\ & l = 0, 1, \dots, N-1; \end{cases} \quad (18)$$

Система из  $2N$  уравнений (18) и определяет решение задачи синтеза ЛДФФ. Если в качестве  $r(nT)$  используется нормированная корреляционная функция, то  $r_0 = 1$  и на выходе ЛДФФ, коэффициенты которого определяются системой (18), образуется дискретный нормальный шум, представляющий собой марковский процесс  $N$ -го порядка с заданной корреляционной функцией, нулевым средним и единичной дисперсией. ЛДФФ имеет стандартную структуру и может быть представлен как последовательное соединение двух фильтров: нерекурсивного фильтра с конечной импульсной характеристикой, определяемой вектором  $\mathbf{b}_N$ , формирующим окрашенный шум  $g_k, k = 1, 2, \dots$ , с корреляционной функцией  $R_0, R_1, \dots, R_{N-1}$  и  $R_n = 0$  при  $n \geq N$  (модель скользящего среднего), и рекурсивного фильтра с бесконечной импульсной характеристикой, определяемой вектором  $\mathbf{a}_N$ , на выходе которого и формируется требуемый случайный процесс  $U_k$ .

Изложенный процесс синтеза ЛДФФ, по сути, и представляет собой методику синтеза канального ЛДФФ для моделирования нормальных процессов с заданными корреляционно-спектральными характеристиками. Эта методика является обобщением методик синтеза подобных фильтров, изложенных в работах [4, 5, 7, 10], так как здесь получены выражения для непосредственного расчета коэффициентов общей модели авторегрессии-скользящего среднего, а в указанной литературе — частные случаи синтеза: авторегрессии или скользящего среднего.

### Метод синтеза многоканального нелинейного дискретного формирующего фильтра с произвольной межканальной корреляционной матрицей

Выше синтезирован канальный ЛДФФ для моделирования нормального марковского процесса произвольного порядка. В данном подразделе решается задача синтеза  $M$ -канального матричного ЛДФФ, в каждом канале которого воспроизводится марковский процесс  $N$ -го порядка. Объединение матричного и канальных фильтров дает общую структуру многоканального (матричного) фильтра, на выходе которого воспроизводится векторный марковский  $N$ -связный процесс с заданной межэлементной (межканальной) корреляционной матрицей размером  $M \times M$ .

Для простоты будем считать, что статистические характеристики случайных нормированных процессов в каждом из каналов, содержащих ЛДФФ, одинаковы. Это означает, что исследуется социально-экономическая система с показателями, имеющими равную «статистическую инерционность». Если это не так, то в окончательных выражениях изменятся лишь выражения для взаимных корреляционных функций между процессами в каналах, которые в данной модели точно не воспроизводятся, а фактически определяются только одним параметром — коэффициентом межканальной корреляции. Поэтому подобное упрощение позволяет избежать излишней индексации, оставляя в силе все выражения, кроме выражений для взаимных корреляционных функций, которые в данной модели точно воспроизведены быть не могут.

Пусть нормированные корреляционные функции любого  $j$ -го канала,  $j = 1, 2, \dots, M$ , помеченные верхним индексом  $(B)$  (временные корреляционные функции), равны  $r_j^{(B)}(\tau) = r_j^{(B)}(n\Delta\tau) = r_{n,j}^{(B)} = r_n^{(B)}$ ,  $n = 1, 2, \dots$ . Элементы межканальной нормированной корреляционной матрицы, помеченные верхним индексом  $(N)$  (взаимные корреляционные функции параметров системы), равны  $r_{p,q}^{(N)}$  — коэффициенту корреляции между  $p$ -м и  $q$ -м каналами.

Пусть  $r^{(B)}$  (в соответствии со сделанным выше замечанием здесь опущен индекс канала) имеет вид, соответствующий нормальному марковскому процессу  $N$ -го порядка (задача формирования такого процесса решена в предыдущем подразделе). Как следует из изложенного выше, каждый из  $M$  каналов должен содержать  $N$ -мерный ЛДФФ, характеристики которого определяются вектором коэффициентов  $(\mathbf{a}_{j,N}, \mathbf{b}_{j,N})$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ . Поскольку  $r^{(B)}(\tau)$  от индекса  $j$  (номера канала) не зависит, то  $(\mathbf{a}_{j,N}, \mathbf{b}_{j,N}) = (\mathbf{a}_N, \mathbf{b}_N)$ . Межканальные корреляционные связи описываются нормированной ковариационной матрицей  $\{r_{m,j}^{(N)}\}$ ,  $m, j \in [1, M]$ , на которую, кроме естественного требования положительной определенности, никаких других требований не налагается [15].

Рассмотрим последовательность независимых нормальных векторов с совместно независимыми компонентами  $\xi_{i,M} = \{\xi_{i,1}, \xi_{i,2}, \dots, \xi_{i,M}\}$ , из которых сформируем последовательность независимых векторов  $\eta_{i,M} = \{\eta_{i,1}, \eta_{i,2}, \dots, \eta_{i,M}\}$  по выражениям [6]:

$$\eta_{i,j} = -\sum_{l=1}^{j-1} \frac{D_{l,j}^{(N)}}{D_{j-1}^{(N)}} \eta_{i,l} + \sqrt{\frac{D_j^{(N)}}{D_{j-1}^{(N)}}} \xi_{i,j}, \quad j = 2, 3, \dots, M, \quad (19)$$

где  $\eta_{i,1} = \xi_{i,1}$ , для  $\forall i$ ,  $\|D_j^{(N)}\|$  — нормированная ковариационная матрица размера  $j$ , элементами которой являются коэффициенты корреляции  $r_{m,p}^{(N)}$ ,  $m, p = 1, 2, \dots, M$ ;  $D_j^{(N)}$  — алгебраические дополнения элементов  $r_{l,j}^{(N)}$  в определителе матрицы  $\|D_j^{(N)}\|$ .

Тогда матрица  $\|D_j^{(N)}\|$  будет корреляционной матрицей элементов вектора  $\eta_{i,M} = \{\eta_{i,1}, \eta_{i,2}, \dots, \eta_{i,M}\}$ , а сами векторы  $\eta_{i,M}$  и  $\eta_{n,M}$  — независимы

при  $i \neq n$ . Теперь сформируем векторы  $\mathbf{U}_{k,M} = (U_{k,1}, U_{k,2}, \dots, U_{k,M})$ , каждый элемент которых определим как

$$U_{k,j} = \sum_{i=1}^N a_i U_{k-i,j} + \sum_{l=0}^{N-1} b_l \eta_{k-l,j}, \quad k = 1, 2, \dots, M, \quad (20)$$

где коэффициенты  $a_i, i = 1, 2, \dots, N$  и  $b_l, l = 0, 1, \dots, N-1$  определим в соответствии с заданными векторами  $(\mathbf{a}_N, \mathbf{b}_N)$ . Покажем, что коэффициент корреляции между любыми двумя случайными величинами  $U_{i,j}$  и  $U_{n,m}$  ( $j, m = 1, 2, \dots, M, i, n = 1, 2, \dots$ ) в установленном режиме равен  $r_{j,m}^{(n)} \cdot r_{|j-n|}^{(B)}$ , среднее  $\forall U_{i,j} = 0$ , а его дисперсия равна единице.

Сначала отметим, что, поскольку векторы  $\eta_{i,M}$  и  $\eta_{n,M}$  независимы при  $i \neq n$ , то для  $\forall k$  в выражении (20) для  $U_{k,j}$  последовательность  $\eta_{k,l}, l = 1, 2, \dots, M$  представляет собой совокупность совместно независимых нормальных величин. Несложно показать, что эти величины имеют нулевое среднее и единичную дисперсию. Отсюда, в соответствии с результатами, полученными в предыдущем подразделе, следует, что последовательность  $U_{k,j}$  при  $\forall j$  имеет нулевые средние, единичные дисперсии и корреляционную функцию, равную  $r_{|j-n|}^{(B)}$ , т. е.

$$\begin{cases} M[U_{k,j}] = 0; \\ D[U_{k,j}] = 1; \\ M[U_{k,j} \cdot U_{n,j}] = r_{|j-n|}^{(B)}, \quad \forall j \in [1, M]. \end{cases} \quad (21)$$

Окрашенный шум  $j$ -го канала  $g_{k,j}$  определяется теперь выражением

$$g_{k,j} = \sum_{l=0}^{N-1} b_l \eta_{k-l,j}, \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (22)$$

Откуда, учитывая, что  $M[g_{k,j}] = 0$  при  $\forall k$  и  $\forall j$ , получаем

$$\begin{aligned} M[g_{k,p} g_{k,q}] &= M \left[ \sum_{i=0}^{N-1} b_i \eta_{k-i,p} \sum_{j=0}^{N-1} b_j \eta_{k-j,q} \right] = \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} b_i^2 r_{p,q}^{(n)} = r_{p,q}^{(n)} \sum_{i=0}^{N-1} b_i^2 = r_{p,q}^{(n)} R_0, \end{aligned} \quad (23)$$

поскольку при  $i \neq j$   $M[\eta_{k-i,p} \eta_{k-j,q}] = 0$ . Поэтому дисперсии  $g_{k,p}$  равны  $R_0$  при  $\forall k$  и  $\forall p$ , а коэффициент корреляции между  $g_{k,p}$  и  $g_{k,q}$  равен  $r_{p,q}^{(n)}$ , т. е. тому же коэффициенту, что и для  $\eta_{k,p}$  и  $\eta_{k,q}$ .

Отсюда следует, что  $g_{k,q}$  при  $q \geq p$  можно представить в виде

$$\begin{aligned} g_{k,q} &= \sum_{l=0}^{N-1} b_l \eta_{k-l} = \sum_{l=0}^{N-1} b_l \left( r_{p,q}^{(n)} \eta_{k-l,p} + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} \xi_{|k-l|,q} \right) = \\ &= r_{p,q}^{(n)} \sum_{l=0}^{N-1} b_l \eta_{k-l,p} + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} \sum_{l=0}^{N-1} b_l \xi_{|k-l|,q} = \\ &= r_{p,q}^{(n)} g_{k,p} + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} \cdot g'_{k,q}, \end{aligned} \quad (24)$$

где  $g'_{k,q}$  ортогональна (независима)  $g_{k,p}$ , поскольку при формировании  $g'_{k,q}$  использованы случайные величины  $\xi_{k-1,q}$ , не входящие в  $g_{k,p}$ . Это означает, что  $g_{k,q}$  мы разложили на две ортогональные составляющие [16].

Выходной сигнал  $q$ -го канала представляет собой выходной сигнал линейной системы с оператором  $L(\cdot)$ , а так как входной сигнал  $q$ -го канала является взвешенной суммой входных сигналов  $g_{k,p}$  и  $g'_{k,q}$ , то и выходной можно представить в виде взвешенной суммы реакции ЛДФФ на  $g_{k,p}$  и  $g'_{k,q}$ . В этом случае  $U_{k,q}$  можно записать как

$$\begin{aligned} U_{k,q} &= L(g_{k,q}) = L \left( r_{p,q}^{(n)} g_{k,p} + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} g'_{k,q} \right) = \\ &= r_{p,q}^{(n)} L(g_{k,p}) + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} L(g'_{k,q}) = \\ &= r_{p,q}^{(n)} U_{k,p} + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} U'_{k,q}, \end{aligned} \quad (25)$$

где  $U_{k,p}$  и  $U'_{k,q}$  также ортогональны, при этом средние  $U_{k,p}$  и  $U'_{k,q}$  равны нулю, а их дисперсии равны единице в силу свойств оператора  $L(\cdot)$ . Поэтому коэффициент корреляции между  $U_{k,p}$  и  $U_{l,q}$  равен

$$\begin{aligned} M[U_{k,q} U_{l,p}] &= M = \\ &= \left[ \left( r_{p,q}^{(n)} U_{k,p} + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} U'_{k,q} \right) U_{l,p} \right] = \\ &= r_{p,q}^{(n)} M[U_{k,p} U_{l,p}] + \sqrt{1-r_{p,q}^{(n)2}} M[U'_{k,q} U_{l,p}] = \\ &= r_{p,q}^{(n)} r_{|k-l|}^{(B)}. \end{aligned} \quad (27)$$

В том случае, когда  $l = k$ , получаем  $r_{|k-l|}^{(B)} = 1$ , т. е. коэффициент корреляции между каналами равен заданному коэффициенту  $r_{p,q}^{(n)}$ .

Итак, на входы многоканального фильтра подается последовательность нормальных векторов  $\xi_{i,M}, i = 1, 2, \dots$ , каналные ЛДФФ определяются  $r_{|j-n|}^{(B)}$ , т. е. вектором  $(\mathbf{a}_N, \mathbf{b}_N)$ , при изменении вектора средних  $\mathbf{U}_{i,M}$  и среднеквадратических отклонений  $\sigma_{U,M}$  к векторному выходу многоканального ЛДФФ следует добавить элемент умножения вектора  $\mathbf{U}_{i,M}$  на элементы вектора  $\sigma_{U,M}$  и элементы суммирования полученных сигналов с вектором  $\bar{\mathbf{U}}_{i,M}$ . Тогда общий выходной сигнал будет определяться выражением

$$\bar{\mathbf{U}}_{i,M} = \bar{\sigma}_{U_{i,M}} \mathbf{U}_{i,M} + \bar{\mathbf{U}}_{i,M}, \quad (28)$$

где  $\bar{\sigma}_{U_{i,M}}$  — диагональная матрица среднеквадратических отклонений  $\sigma_{U,M}$ , изменяющихся во времени (по индексу  $i$ ). В этом случае многоканальный ЛДФФ может использоваться для моделирования и нестационарных случайных процессов, которые используются в качестве моделей изменения параметров социально-экономических систем.

**Аналитические выражения для расчета коэффициентов формирующих фильтров первого, второго и четвертого порядков для моделирования случайных процессов и их производных**

Приведем сводку расчетных формул для ДФФ, наиболее часто встречающихся на практике. Для фильтров второго порядка нижеприведенные корреляционные функции соответствуют дифференцируемым марковским процессам. Выбор корреляционной функции для фильтра четвертого порядка обусловлен тем фактом, что именно такой ее вид используется для аппроксимации корреляционных функций в некоторых практических моделях [9, 17].

1. Фильтр первого порядка.

Для корреляционной функции вида

$$r(nT) = \exp(-\mu Tn) \quad (29)$$

$$\begin{cases} a_1 = \exp(-\mu T); \\ r_0 = 1 - \exp(-2\mu T); \\ b_0 = \sqrt{r_0}. \end{cases} \quad (30)$$

2. Фильтр второго порядка.

Для корреляционной функции вида

$$r(nT) = \exp(-\mu Tn) (\cos(\gamma Tn) + \mu/\gamma \sin(\gamma Tn)) \quad (31)$$

$$\begin{cases} a_1 = 2 \exp(-\mu T) \cos(\gamma T); \\ a_2 = \exp(-2\mu T); \\ r_0 = 1 - 2 \frac{\mu}{\gamma} \exp(-2\mu T) \sin(\gamma T) - \exp(-4\mu T); \\ r_1 = -\exp(-\mu T) (1 - \exp(-2\mu T)) \cdot \cos(\gamma T) + \\ + \frac{\mu}{\gamma} \exp(-\mu T) (1 + \exp(-2\mu T)) \sin(\gamma T); \\ b_0 = 0,5 (\sqrt{r_0 + 2r_1} + \sqrt{r_0 - 2r_1}); \\ b_1 = 0,5 (\sqrt{r_0 + 2r_1} - \sqrt{r_0 - 2r_1}). \end{cases} \quad (32)$$

Для корреляционной функции вида

$$r(nT) = \frac{\mu_2}{\mu_2 - \mu_1} \exp(-\mu_1 Tn) + \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_2} \exp(-\mu_2 Tn) \quad (33)$$

$$\begin{cases} a_1 = \exp(-\mu_1 T) + \exp(-\mu_2 T); \\ a_2 = \exp(-(\mu_1 + \mu_2) T); \\ r_0 = 1 - 2 \frac{\mu_2 + \mu_1}{\mu_2 - \mu_1} (\exp(-2\mu_1 T) - \exp(-2\mu_2 T)) - \\ - \exp(-2(\mu_1 + \mu_2) T); \\ r_1 = -(\exp(-\mu_1 T) + \exp(-\mu_2 T)) + \\ + (1 + \exp(-(\mu_1 + \mu_2) T)) \times \\ \times \left( \frac{\mu_2}{\mu_2 - \mu_1} \exp(-\mu_1 T) + \frac{\mu_1}{\mu_1 - \mu_2} \exp(-\mu_2 T) \right); \\ b_0 = 0,5 (\sqrt{r_0 + 2r_1} + \sqrt{r_0 - 2r_1}); \\ b_1 = 0,5 (\sqrt{r_0 + 2r_1} - \sqrt{r_0 - 2r_1}). \end{cases} \quad (34)$$

Для корреляционной функции вида

$$r(nT) = (1 + \mu Tn) \exp(-\mu Tn) \quad (35)$$

$$\begin{cases} a_1 = 2 \exp(-\mu T); \\ a_2 = -\exp(-2\mu T); \\ r_0 = 1 - 4\mu T \exp(-2\mu T) - \exp(-4\mu T); \\ r_1 = -\{1 - \mu T\} \exp(-\mu T) + \{1 + \mu T\} \exp(-3\mu T); \\ b_0 = 0,5 (\sqrt{r_0 + 2r_1} + \sqrt{r_0 - 2r_1}); \\ b_1 = 0,5 (\sqrt{r_0 + 2r_1} - \sqrt{r_0 - 2r_1}). \end{cases} \quad (36)$$

3. Фильтр четвертого порядка.

Для этого фильтра коэффициенты ДФФ приведены для корреляционной функции вида

$$r(nT) = C_1 \exp(-\alpha_1 Tn) \cos(\gamma Tn) + C_2 \exp(-\alpha_2 Tn) + C_3 \exp(-\alpha_3 Tn). \quad (37)$$

(где  $C_1 + C_2 + C_3 = 1$ ):

$$\begin{cases} a_1 = 2 \exp(-\alpha_1 T) \cos(\gamma T) + \exp(-\alpha_2 T) + \\ + \exp(-\alpha_3 T); \\ a_2 = -\exp(-2\alpha_1 T) - \exp(-(\alpha_2 + \alpha_3) T) - \\ - 2 \exp(-\alpha_1 T) \times \\ \times (\exp(-\alpha_2 T) + \exp(-\alpha_3 T)) \cos(\gamma T); \\ a_3 = \exp(-2\alpha_1 T) (\exp(-\alpha_2 T) + \exp(-\alpha_3 T)) + \\ + 2 \exp(-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) T) \cos(\gamma T); \\ a_4 = \exp(-(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3) T); \\ b_0^4 - \frac{\sqrt{r_+} - \sqrt{r_-}}{2} b_0^3 + r_2 b_0^2 - \frac{2}{\sqrt{r_+} - \sqrt{r_-}} (r_1 + r_3) r_3 b_0 + r_3^2 = 0; \\ b_1 = 0,5 (\sqrt{r_+} - \sqrt{r_-}) - \frac{r_3}{b_0}; \\ b_2 = 0,5 (\sqrt{r_+} + \sqrt{r_-}) - b_0; \\ b_3 = \frac{r_3}{b_0}, \end{cases} \quad (38)$$

где  $r_- = r_0 + 2r_1 + 2r_2 + 2r_3$ ,  $r_+ = r_0 - 2r_1 + 2r_2 - 2r_3$ , а в качестве  $b_0$  следует принять максимальное положительное решение уравнения относительно  $b_0$  [7, 17].

Фильтр первого порядка формирует недифференцируемый процесс. Корреляционные функции фильтров второго порядка записаны в таком виде, что на их выходах формируются однократно дифференцируемые процессы. Для фильтра четвертого порядка можно построить как однократно, так и двукратно дифференцируемые процессы. Корреляционные функции дифференцируемых процессов соответственно получают двукратным дифференцированием исходных корреляционных функций и изменением их знака [16].



## Выводы

Моделирование показателей социально-экономических систем может быть представлено как моделирование векторного случайного процесса или случайного поля (в общем случае негауссовских), при этом необходимо учитывать не только корреляционные функции каждого отдельного показателя, но и взаимную корреляцию между показателями. Более простые алгоритмы моделирования получаются при представлении показателей в виде случайного вектора и использовании алгоритмов моделирования векторного случайного процесса.

Наиболее приемлемым методом, позволяющим моделировать случайные процессы в реальном времени и без методической ошибки, является метод нелинейного функционального преобразования нормального случайного процесса, прошедшего через линейный дискретный формирующий фильтр, так как алгоритмы моделирования, вытекающие из него, позволяют распараллеливать вычисления при реализации их на многопроцессорных ЭВМ. При моделировании нормальных процессов функциональный преобразователь отсутствует.

При моделировании реальных процессов, описывающих изменения показателей социально-экономических систем, достаточно ограничиться случайными процессами с корреляционными зависимостями типа (2); при этом нестационарность моделируемых процессов может быть учтена путем изменения математического ожидания и дисперсии процесса. Порождающий случайный процесс

является стационарным, что и позволяет использовать для его моделирования метод нелинейного функционального преобразования.

Основным недостатком метода нелинейного функционального преобразования является большой объем подготовительной работы, связанной с расчетом параметров линейного формирующего фильтра. При этом требуется принимать решения по мере выполнения численных расчетов для отдельных частных задач, что делает практически невозможным автоматизацию процесса синтеза алгоритма моделирования.

Представленный в работе модифицированный метод расчета коэффициентов линейного формирующего фильтра позволяет рассчитывать коэффициенты для общего случая процесса авторегрессии-скользящего среднего, что минимизирует число коэффициентов разностного уравнения, реализующего формирующий фильтр, и, следовательно, повышает быстродействие алгоритма моделирования. Полученные замкнутые выражения для коэффициентов фильтров позволяют автоматизировать и процесс его синтеза.

Для моделирования негауссовского векторного процесса целесообразно использовать линейный многоканальный формирующий фильтр, в каждом из каналов которого содержится нелинейный функциональный преобразователь; при этом каждый компонент вектора моделируется своим каналом. Наиболее эффективен подобный алгоритм в том случае, когда допускается факторизация межканальной и временной (канальной) корреляционных функций.

## Литература

1. Айвазян С. А., Мхитарян И. С. Прикладная статистика и основы эконометрики.— М.: ЮНИТИ, 1998.— 1022 с.
2. Колемаев В. А. Математическая экономика. Учебник для вузов.— М.: ЮНИТИ, 1998.— 240 с.
3. Айвазян С. А., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное издание.— М.: Финансы и статистика, 1983.— 471 с.
4. Шалыгин А. С., Палагин Ю. И. Прикладные методы статистического моделирования.— Л.: Машиностроение, 1986.— 320 с.
5. Шелухин О. И., Беляков И. В. Негауссовские процессы.— СПб.: Политехника, 1992.— 312 с.
6. Изранцев В. В., Шепета Д. А. Моделирование негауссовых числовых последовательностей и полей с заданными корреляционно-спектральными характеристиками // Информационно-управляющие системы и сети. Структуры, моделирование, алгоритмы: Сб. статей/ Под общ. ред. М. Б. Сергеева.— СПб.: Политехника, 1999.— С. 152–156.
7. Борисов Ю. П. Математическое моделирование радиосистем.— М.: Сов. радио, 1976.— 296.
8. Ермаков С. М., Михайлов Г. А. Статистическое моделирование.— М.: Наука, 1982.— 296 с.
9. Бесекерский В. А. Цифровые автоматические системы.— М.: Наука, 1976.— 576 с.
10. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ.— М.: Мир, 1990.— 584 с.
11. Воеводин В. В. Математические модели и методы в параллельных процессах.— М.: Наука, 1986.— 296 с.
12. Кастер Х. Основы Windows NT и NTFS /Пер. с англ.— М.: Издательский отдел «Русская редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.», 1996.— 440 с.
13. Тихонов В. И. Нелинейные преобразования случайных процессов.— М.: Радио и связь, 1986.— 296 с.
14. Мишина А. П., Проскураков И. В. Высшая алгебра (линейная алгебра, многочлены, общая алгебра) / Под ред. П. К. Рашевского.— М.: Наука, 1965.— 300 с.
15. Крамер Г. Математические методы статистики / Пер. с англ; Под ред. А. Н. Колмогорова.— М.: Мир, 1975.— 648 с.
16. Свешников А. Г. Прикладные методы теории случайных функций.— М.: Наука, 1968.— 464 с.
17. Оводенко А. А., Култышев Е. И., Шепета А. П. Бортовая радиоэлектронная аппаратура.— М.: Изд-во МПИ, 1989.— 335 с.

Министерство образования и науки РФ  
 Комитет по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга  
 Комитет по информатизации и связи Правительства Санкт-Петербурга  
 Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
 Московский государственный инженерно-физический институт (государственный университет)  
 Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского  
 Военный университет связи  
 Институт криптографии, связи и информатики Академии ФСБ РФ  
 Ассоциация Защиты Информации  
 Академия криптографии  
 ЗАО «РНТ», ЗАО «НПП «СТЗИ», ЗАО «ГОЛЛАРД», ЗАО «СПБ РЦЗИ», ЗАО «Инфосистемы Джет»,  
 НТЦ «Атлас-Северо-Запад»

## XII ОБЩЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ»

05–07 октября 2004 г.

Место проведения конференции: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, ГОУ  
 «СПбГПУ», Специализированный центр защиты информации

Конференция посвящена проблемам развития новых нетрадиционных направлений в области защиты компьютерных систем, комплексного (программно-аппаратного) обеспечения безопасности информационных технологий и подготовке специалистов в данном направлении.

В ходе работы конференции будут рассмотрены: проблемы обнаружения, локализации и ликвидации последствий скрытых программных воздействий, в том числе в системе телекоммуникационной связи; проблемы построения защищенных информационных систем на базе специализированных ОС; проблемы развития перспективных приемов, методов и средств повышения безопасности обработки информации, совершенствование требований к защищенным информационным системам, применение профилей и проектов защиты; анализ обеспечения безопасности распределенных вычислительных сетей, подключенных к Internet, а также современные средства контроля и управления безопасностью в сетях Internet/Intranet. Будет уделено внимание современным практическим вопросам применения криптографических методов в обеспечении безопасности информации, а также проблемам подготовки специалистов и правовым нормам.

### Основные направления работы конференции

Предполагается организация заседаний по следующим направлениям:

- Перспективные направления и результаты в области информационной безопасности распределенных компьютерных систем, аппаратно-технических и программных средств защиты информации.
- Практические вопросы применения криптографических методов в обеспечении безопасности информации.
- Защищенные операционные системы и их применение для построения защищенных информационных систем.
- Методы контроля и мониторинга безопасности в телекоммуникационных системах, обнаружение вторжений, предотвращение атак и управление безопасностью.
- Проблема подготовки кадров.

По каждому направлению предполагается подготовка пленарных докладов.

В рамках конференции будет проводиться выставка-презентация продукции ряда ведущих фирм — разработчиков средств защиты информации.

### Требования к оформлению тезисов докладов

Текст тезисов доклада должен быть набран шрифтом Times New Roman Cyr — 12, через 1–1,5 интервала, формат А4, поля — 2,5 см со всех сторон. Допустимый объем тезисов — не более 1 стр.

К тезисам каждого доклада следует приложить заключение экспертов о возможности опубликования (1 экз.), справку об авторах (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученая степень и звание, адрес с почтовым индексом, телефон для связи и адрес электронной почты).

При отклонении тезисов из-за качества печати, несоответствия тематике, из-за нарушения сроков или требований оформления рукописи не публикуются и не возвращаются.

### Контрольные сроки

Тезисы (файл в формате Word) необходимо выслать до **10 сентября 2004 г.** по адресу: 195251, СПб., ул. Политехническая, 29, ГОУ «СПбГПУ». Специализированный центр защиты информации, Оргкомитет конференции или по электронной почте [elena@ssl.stu.neva.ru](mailto:elena@ssl.stu.neva.ru)

### Организационный взнос

Финансирование подготовки и проведения Конференции осуществляется за счет целевых организационных взносов предприятий и организаций, минимальный размер которых составляет 160 евро (в рублях по курсу ЦБ РФ на момент платежа), в том числе НДС.

В соответствии с утвержденной сметой расходов в организационный взнос входят: проживание и питание, два кофе-брейк, обеспечение программой и материалами конференции.

При регистрации участников конференции необходимо иметь при себе копию платежного поручения.

Билеты на обратный проезд просим приобретать заблаговременно.

Дополнительная информация:

(812)552-7632,

(812) 552-7658 — Савельева Зоя Сергеевна;

(812) 552-6489 — Зегжда Петр Дмитриевич;

Факс (812) 552-7632,

e-mail: [elena@ssl.stu.neva.ru](mailto:elena@ssl.stu.neva.ru)

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Учебно-методическое объединение вузов по образованию в области информационной безопасности  
Институт криптографии, связи и информатики Академии ФСБ России

**НАУЧНО – МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»**

**И**

**ЗАСЕДАНИЕ ПЛЕНУМА УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ  
(УМО)**

**ВУЗОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

ноябрь 2004 года (Конференция — 1 день, Пленум — 1 день)  
Место проведения конференции и Пленума УМО: Москва, Мичуринский пр., 70,  
ИКСИ Академии ФСБ России

**Представительство на конференции**

В работе конференции предполагается участие представителей Министерства образования и науки РФ, аппаратов Совета Безопасности Российской Федерации, Полномочного представителя Президента РФ по Центральному федеральному округу, Правительства г. Москвы, ФСБ России, Гостехкомиссии России, Спецсвязи России, Минобороны России, МВД России, Минсвязи России, Ассоциации защиты информации, крупнейших научных и научно-производственных структур страны, более 100 вузов России, осуществляющих подготовку кадров в области информационной безопасности.

**Основные тематические направления работы конференции:**

Состояние и проблемы подготовки специалистов в области обеспечения информационной безопасности в регионе.

Образовательные технологии и опыт реализации ГОС ВПО (по циклам дисциплин и специализациям).

Формирование внутривузовской системы управления качеством подготовки специалистов в области обеспечения информационной безопасности (кафедра, факультет, вуз, УМО).

Методика проведения промежуточных и итоговых государственных аттестаций.

Методика и опыт проведения производственной практики, практических и лабораторных занятий, курсового проектирования.

Формы и методы воспитательной работы со студентами.

Опыт подготовки абитуриентов, содержание и проведение вступительных экзаменов, олимпиад для школьников.

Опыт и методика организации самостоятельной работы студентов.

Характеристика, содержание и развитие материально-технической базы по реализации учебных дисциплин и курсов.

Проблемы дополнительного и послевузовского образования в области обеспечения информационной безопасности.

Опыт трудоустройства специалистов.

**Правила оформления тезисов докладов и статей**

Объем тезисов докладов: до 2 страниц текста формата А4 (включая рисунки, таблицы и список литературы), объем статей: до 5 страниц. Тезисы докладов должны включать в себя: название доклада, фамилии, и. о. авторов, название организации, рисунки, таблицы, литературу. Шрифт Times New Roman, 14. Межстрочный интервал — одинарный, размер полей со всех сторон — 2,5 см, ориентация — книжная, красная строка — 1,25 см; выравнивание по ширине. Текст тезисов желательно

подготовить в редакторе Word (любая версия). Тезисы докладов должны быть представлены по e-mail (в теме письма указать «Статья/доклад на конференцию. Название вуза»). Имя файла должно быть «Вуз. Название статьи. Автор/первый из соавторов». Тезисы докладов и статьи просим присылать в оргкомитет до 15 сентября 2004 года.

Тезисы докладов планируется опубликовать до начала конференции, сборник статей и выступлений — по итогам работы конференции и Пленума.

**Организационный взнос**

Организационный взнос для участия в работе конференции составляет 500 рублей. Проезд, проживание в гостинице и питание участники оплачивают самостоятельно. Счет на оплату организационного взноса будет выставлен после получения заявки (форма заявки прилагается).

**На заседании Пленума УМО предполагается обсудить следующие вопросы:**

Итоги деятельности УМО за 2003–2004 годы, направления работы на 2005 год.

Болонский процесс, направления модернизации высшего профессионального образования России и образование в области информационной безопасности.

Примерные программы практик студентов по специальностям УМО.

Примерные программы междисциплинарных государственных экзаменов и организация итоговой государственной аттестации.

План подготовки учебной и учебно-методической литературы по специальностям УМО.

О реализации ГОС среднего профессионального образования «Информационная безопасность» и его сопряжении со специальностями группы 075000.

Перечень и содержание специализаций по специальностям в области информационной безопасности.

Организационные вопросы и др.

**Контрольные сроки**

Тезисы докладов и статьи необходимо прислать в оргкомитет **до 15 сентября 2004 года**.

Участие в работе конференции и Пленума УМО необходимо подтвердить **до 10 сентября 2004 г.**

О бронировании мест в гостинице сообщить **до 30 сентября 2004 г.** (Ориентировочная цена: одно-местный номер — 620 р., двухместный — 1100 р.)

Проезд: метро ст. «Проспект Вернадского» (1-й вагон из центра), авт. 810, 793 до ост. «Мичуринский проспект, д.70».

Дополнительная информация:

Факс: (095) 931-06-09, тел. 931-06-09, 914-19-17, e-mail: [umo@academy.fsb.ru](mailto:umo@academy.fsb.ru), Белов Евгений Борисович, Плотников Вячеслав Александрович

**ГОРБАЦКИЙ  
Владимир  
Владимирович**



Ассистент кафедры антенн и эксплуатации РЭА Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1997 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Радиотехника». Является автором 10 научных публикаций, в том числе одной монографии и одного учебного пособия. Область научных интересов – адаптивные алгоритмы измерения параметров движения летательных аппаратов, антенны возвращаемых космических аппаратов, антенны миллиметрового диапазона длин волн.

**ЕРОШ  
Игорь  
Львович**



Профессор кафедры вычислительных систем и сетей Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Академик Международной академии информатизации. Член японской ассоциации промышленных роботов. В 1961 году окончил Ленинградский электротехнический институт. В 1980 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 320 научных публикаций, в том числе свыше 100 изобретений, соавтором двух учебников и трех монографий. Область научных интересов – системы искусственного интеллекта, дискретная математика, распознавание образов, защита информации.

**ЗЕЛЯЛЮТДИНОВ  
Амир  
Равильевич**



Старший научный сотрудник Федерального Государственного унитарного предприятия «Первый Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны России». В 1978 году окончил физический факультет Ленинградского государственного университета. В 1992 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных публикаций. Область научных интересов – радиолокация, корреляционно-экстремальная навигация, распространение радиоволн.

**КОЛБАНЕВ  
Алексей  
Михайлович**



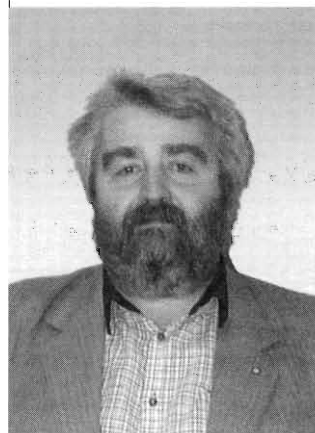
Инженер Северо-Западного филиала ОАО «МегаФон». В 2003 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. Является автором 5 научных публикаций. Область научных интересов – телекоммуникации.

**КОЛЕСНИКОВ  
Дмитрий  
Николаевич**



Профессор кафедры автоматики и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. В 1961 году окончил Ленинградский механический институт. В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 100 научных публикаций, соавтором 9 учебных пособий и одной монографии. Область научных интересов – функциональное диагностирование радиоэлектронного и вычислительного оборудования и построение моделей для оценки его эффективности, отказоустойчивость бортовых вычислительных систем, системный анализ и теория принятия решений.

**КРАСЮК  
Владимир  
Николаевич**



Профессор, заведующий кафедрой антенн и эксплуатации РЭА Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1972 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1987 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 400 научных публикаций, в том числе 14 книг. Область научных интересов – антенны возвращаемых космических аппаратов, малозаметных космических аппаратов, антенны миллиметрового диапазона длин волн, распространение волн в сложных средах.

**ЛОСЬ  
Андрей  
Павлович**



Старший научный сотрудник, заместитель начальника Управления Федерального Государственного унитарного предприятия «Первый Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны России». В 1971 году окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А.С.Попова. В 1999 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 100 научных публикаций. Область научных интересов – радиотехнические системы обнаружения и классификации.

**МЕНДЕЛЬСОН  
Александр  
Маркович**



Аспирант кафедры автоматики и вычислительной техники Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Награжден медалью министерства образования РФ «За лучшую научную студенческую работу». В 2002 году окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Является автором 7 научных публикаций. Область научных интересов – современная теория управления, теория идентификации, системы искусственного интеллекта, распознавание образов, цифровая обработка сигналов.

**НИКАНДРОВ  
Николай  
Дмитриевич**



Президент Российской академии образования, действительный член Российской академии образования, профессор. В 1959 году окончил Ленинградский государственный университет. В 1973 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора педагогических наук. Является автором более 250 научных публикаций. Область научных интересов – сравнительная педагогика, дидактика, воспитание ценностей.

**ОВОДЕНКО  
Анатолий  
Аркадьевич**



Профессор, ректор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, заслуженный деятель науки РФ, действительный член Международной академии информатизации, Медико-технической академии, Международной академии наук высшей школы. В 1970 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1986 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 150 научных публикаций, 4 монографий, 14 учебных пособий и 88 изобретений. Область научных интересов – робастные чувствительные элементы и бортовые системы управления.

**ОСИПОВ  
Леонид  
Андроникович**



Профессор, заведующий кафедрой вычислительных машин и комплексов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1968 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Электрооборудование летательных аппаратов». В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 150 научных публикаций, в том числе соавтором двух монографий. Область научных интересов – компьютерное управление нелинейными объектами.

**РОЗОВ  
Алексей  
Константинович**



Старший научный сотрудник Военно-морской академии им. Н. Г. Кузнецова. В 1947 году окончил Высшее инженерно-техническое училище ВМФ по специальности инженер-электромеханик. В 1968 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором 26 научных публикаций. Область научных интересов – применение статистических методов в задачах обнаружения, классификации и оценивания сигналов.

**СЕРГЕЕВ  
Михаил  
Борисович**



Заведующий кафедрой вычислительных систем и сетей Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1980 году окончил Ленинградский электротехнический институт. В 2001 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 100 научных публикаций, в том числе двух монографий. Главный редактор журнала «Информационно-управляющие системы». Область научных интересов – теория разрядных вычислений, методы проектирования спецпроцессоров для систем контроля и управления.

**СМИРНОВ  
Максим  
Анатольевич**



Ассистент кафедры вычислительных машин и комплексов Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Обучается в заочной аспирантуре университета. В 2001 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Является автором 8 научных публикаций. Область научных интересов – математическая статистика, статистическое кодирование, проектирование информационных систем.

**СОВЕТОВ  
Борис  
Яковлевич**



Профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем обработки информации и управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. Заслуженный деятель науки и техники РФ, действительный член Российской академии образования. В 1960 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). В 1971 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 400 научных публикаций. Область научных интересов – информатика и автоматизированное управление.

**СОЛОВЬЕВ  
Николай  
Владимирович**



Старший преподаватель кафедры вычислительных систем и сетей Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1979 году окончил Ленинградский политехнический институт по специальности «Автоматизация и комплексная механизация машиностроения». Является автором более 20 научных публикаций и 4 изобретений. Область научных интересов – распознавание образов, компьютерная обработка и анализ изображений, техническое зрение роботов.

**ЯКОВЛЕВ  
Сергей  
Алексеевич**



Профессор кафедры Автоматизированных систем обработки информации и управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. Действительный член Международной академии информатизации. В 1970 году окончил Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. В 1989 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 220 научных и учебно-методических публикаций, в том числе 4 монографий и 25 учебников и учебных пособий. Область научных интересов – имитационное моделирование, сети интегрального обслуживания, интеллектуализация информационных систем.

**ШЕПЕТА  
Александр  
Павлович**



Декан факультета Вычислительных систем и программирования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, заведующий кафедрой Моделирования вычислительных и электронных систем, профессор. В 1972 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 170 научных публикаций, соавтором двух монографий. Область научных интересов – обработка информации в условиях априорной неопределенности, математическое моделирование стохастических процессов и полей.

УДК 621.865.8

Методы быстрого распознавания символов, пригодные для аппаратной реализации

*Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 2–6.

Рассматривается метод распознавания печатных символов, ориентированный на аппаратную реализацию в микропроцессорных системах учета и сортировки документов по их идентификационным номерам. Устанавливаются ограничения на число распознаваемых символов и виды шрифта. Формулируются требования к скорости и точности распознавания.

Список лит.: 7 назв.

УДК 621.391

Использование методов сжатия данных без потерь информации в условиях жестких ограничений на ресурсы устройства-декодера

*Осипов Л. А., Смирнов М. А.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 7–15.

Рассматривается задача эффективного сжатия данных при жестких ограничениях на ресурсы декодера, в первую очередь по памяти. Сравняется эффективность различных методов при адаптивном и статическом подходах. Для сравниваемых программ показывается взаимосвязь достигаемого коэффициента сжатия, скорости декодирования и требуемого для декодирования объема памяти (ОЗУ или ПЗУ). Основное внимание уделяется экономному кодированию текста на естественном языке.

Список лит.: 10 назв.

УДК 681.516.7.015.2

Новые возможности в обнаружении движущихся объектов

*Лось А. П., Зелялютдинов А. Р., Розов А. К.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 16–20.

Обосновывается целесообразность использования аппарата стохастических дифференциальных уравнений для составления алгоритмов построения систем обнаружения сигналов.

Список лит.: 4 назв.

УДК 621.865.8

Methods of quick symbols recognition which are suitable for hardware realization

*Eroch I. L., Sergeev M. B., Solovyev N. V.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 2–6.

The method of recognition of printed symbols for microprocessor systems of the account and sorting of documents under their identification numbers is considered. Restrictions of symbols number and kinds of a font are defined. Requirements for speed and accuracy of recognition are formulated.

Refs: 7 titles.

УДК 621.391

Using lossless data compression methods under severe restrictions on decoder's resources

*Osipov L. A., Smirnov M. A.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 7–15.

The paper concerns the problem of effective data compression under the severe restrictions on decoder's resources, most of all memory consumption. The effectiveness of various methods is compared in adaptive and static modes. The relation between compression ratio, decoding speed and memory consumption (RAM or ROM) for decoding is shown for compared programs. The problem of text compression is specifically attended.

Refs: 10 titles.

УДК 681.516.7.015.2

New possibilities for the detection of moving objects  
*Los A. P., Zelyalyutdinov A. R., Rozov A. K.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 16–20.

The purpose of this paper is to ground of advise stochastic difference equation to using for compose algorithm of signal discover systems. The example of applicability is considered.

Refs: 4 titles.

УДК 681.518

Нейронные сети в задачах функционального и тестового диагностирования управляемых динамических объектов

*Колесников Д. Н., Мендельсон А. М.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 21–29.

В работе рассмотрены возможности использования различных моделей нейронных сетей для решения задач тестового и функционального диагностирования динамических объектов. Обсуждаются достоинства и недостатки указанного подхода, а также возможные области применения. Приведены примеры использования нейронных сетей для диагностирования систем управления.

Список лит.: 55 назв.

УДК 621.396.67

Метод расчета характеристик излучения апертурных антенн на летательных аппаратах из композитов.

*Оводенко А. А., Красюк В. Н., Горбацкий В. В.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 31–35.

Разработан метод расчета характеристик излучения апертурных антенн для летательных аппаратов, выполненных полностью или фрагментарно из композитного материала. Учитывается технологическая особенность композита: продольное распределение комплексной диэлектрической проницаемости. Оценено влияние композитного покрытия на диаграмму направленности, проводимость антенны и на бортовой потенциал РТС.

Список лит.: 4 назв.

УДК 681.327.8

Эволюция услуг сетей связи

*Колбанёв А. М., Яковлев С. А.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 36–41.

Дается понятие инфокоммуникационных сетей, рассматриваются технические, технологические, экономические и организационные процессы производства, обработки, хранения и распространения информации, отражаются условия глобализации и персонализации услуг, которые предоставляются телекоммуникационными сетями, что стимулирует переход пользователей на новые сетевые технологии.

Список лит.: 3 назв.

УДК 681.518

Neural networks in functional and test fault diagnosis of dynamical plants.

*Kolesnikov D. N., Mendelson A. M.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 21–29.

In this paper are reviewed a possibilities of different neural network models for detection abrupt changes in deterministic and stochastic dynamical systems. Advantages and disadvantages of this method and areas of industrial implementation are discussed. Representative practical examples illustrate the efficiency of the considered approaches.

Refs: 55 titles.

УДК 621.396.67

The method of performance estimation of aperture antennas radiation for aircrafts made of composit materials

*Ovodenko A. A., Krasnyuk V. N., Gorbatskiy V. V.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 31–35.

The method of performance estimation of aperture antennas radiation for aircrafts, which are completely or partially made of composit material, was implemented. The technological property of composit longitudinal distribution of complex dielectric — is considered. The influence of composit material on polar pattern, antenna conductance and airborne system has been estimated.

Refs: 4 titles.

УДК 681.327.8

Evolution of services of communication networks

*Kolbanev A. M., Yakovlev S. A.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 36–41.

The concept infocommunication networks is given, technical, technological, economic and organizational processes of manufacture, processing, storage and distribution of the information are considered, conditions of globalization and personification of services which are given by telecommunication networks that stimulates transition of users to new network technologies are reflected.

Refs: 3 titles.



УДК 681.327.8

Развитие информационного общества и проблемы подготовки кадров в области информационных технологий

*Никандров Н. Д., Советов Б. Я.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 42–48.

В статье рассматриваются этапы перехода к информационному обществу. Приводятся количественные показатели развития компьютеризации, информатизации и телекоммуникаций. Обсуждается проблема подготовки разработчиков информационных технологий. Определены основные направления совершенствования российской системы высшего профессионального образования в области информационных систем и технологий.

Список лит.: 3 назв.

УДК 519.24

Моделирование социально-экономических показателей посредством многоканальных нелинейных дискретных формирующих фильтров

*Шепета А. П.*— Информационно-управляющие системы, 2004.— № 4.— С. 49–56.

Предложен один из возможных подходов к исследованию поведения показателей сложных социально-экономических систем. Подход заключается в представлении показателей в виде векторного случайного процесса специального вида с заданными корреляционными функциями каждого из показателей и заданной матрицей коэффициентов взаимной корреляции между показателями. Приведены алгоритм моделирования системы показателей и явные выражения для расчета параметров алгоритма.

Список лит.: 17 назв.

УДК 681.327.8

Development of information society and personnel training in the area of information technology.

*Nikandrov N. D., Sovetov B. J.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 42–48.

The article deals with the transition stages towards an information society. Statistics of computerization, informatisation and telecommunication are given. The issue of training information technology experts is discussed. An outline is suggested for improving the Russian system of higher education in the sphere of information systems and technologies.

Refs: 3 titles.

УДК 519.24

Modeling of social and economic indexes by means of multichannel nonlinear discrete forming filters.

*Shepeta A. P.*— IUS, 2004.— N 4.— P. 49–56.

One of the possible approaches to research of complex social and economic systems behavior parameters is offered. The approach is consists of presentation of parameters as a special kind of vector casual process with the set correlation functions of each parameter and the set matrix of factors of mutual correlation between parameters. The algorithm of parameters system modeling and obvious expressions for calculation of algorithm's parameters are resulted.

Refs: 17 titles.

## ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

*Поступающие в редакцию статьи обязательно рецензируются. Редакция журнала напоминает, что ответственность за подбор, достоверность и точность фактов, экономико-статистических и технических показателей, собственных имен и прочих сведений, а также за то, что в материалах не содержится сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы публикуемых в журнале материалов и рекламодатели.*