

ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



ИНСТИТУТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (ИЭТ ГА)

6(13)/2004



Завершается 2004 год – третий год существования нашего журнала. Все это время редакция прилагала усилия к тому, чтобы журнал становился более интересным и информативным, был востребован на рынке технических периодических изданий и отличался регулярностью выхода номеров в свет, чтобы публикуемые статьи и материалы были актуальны, интересны и полезны читателям.

От имени коллектива журнала, редакционной коллегии и редакционного совета искренне поздравляю наших многочисленных читателей с наступающим Новым 2005 годом и надеюсь, что и в дальнейшем журнал будет вашим **п о м о щ н и к о м** в научной и практической работе.

Поздравляю с Новым годом всех наших авторов и надеюсь на дальнейшее плодотворное сотрудничество. Поздравляю наших рецензентов, чья ответственная работа способствовала повышению уровня и качества публикаций.

Счастья всем и успехов!

Главный редактор

М. Б. Сергеев,
доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

Г. Ф. Моценко

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: О. А. Рубинова

Корректор: Т. Н. Гринчук

Дизайн: М. Л. Черненко

Компьютерная верстка: О. В. Васильева,
А. А. Буров

Ответственный секретарь: О. В. Муравцова

Адрес редакции: 190000, Санкт-Петербург,

Б. Морская ул., д. 67

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

Факс: (812) 313-70-18

E-mail: ius@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, «Издания органов НТИ» – № 69291

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ

Гагарин К. Ю. Быстрые преобразования Фурье в гиперкомплексных алгебрах с мультипликативной группой ортов 2

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Гришин В. В. Модель готовности сложной технической системы управления 8

ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Гуров В. С., Мазин М. А., Нарвский А. С., Шалыто А. А. UML SWITCH-технология. Eclipse 12

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Большаков К. Р. О проблемах протоколов взаимодействия распределенных вычислительных систем 18

ИНФОРМАЦИОННЫЕ КАНАЛЫ И СРЕДЫ

Колбанев М. О. Принципы построения центров обработки информации и управления инфокоммуникационных сетей следующего поколения 21

Сергеев А. В. Анализ нового гибридного протокола маршрутизации для беспроводных сетей с учетом различных условий распространения радиосигнала 28

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

Советов Б. Я., Цехановский В. В. Углубленная профессиональная двухступенчатая подготовка по направлению «Информационные системы» 36

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

ИММОД-2003 – аналитический обзор 45

Второй международный семинар «Интеграция информации и геоинформационные системы» IF&GIS-2005 57

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

58

АННОТАЦИИ

60

СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА «ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ» за 2004 г. [№ 1 –6] 62

ЛР № 010292 от 18.08.98.

Сдано в набор 30.11.2004. Подписано в печать 25.12.2004. Формат 60×90/8. Бумага офсетная. Гарнитура Pragmatica. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 1000 экз. Заказ 552.

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 621.3

БЫСТРЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ В ГИПЕРКОМПЛЕКСНЫХ АЛГЕБРАХ С МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ ГРУППОЙ ОРТОВ

К. Ю. Гагарин,

канд. техн. наук, докторант

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Представлены способы построения алгоритмов быстрого преобразования Фурье в гиперкомплексных алгебрах с мультипликативной группой мнимых ортов, являющихся расширениями поля рациональных чисел.

In this paper we present a methods of fast Fourier transform algorithmic design in hypercomplex algebras with multiplicative groups of imaginary orts. These orts are an extension of rational quantities field.

Введение

В работе [1] был предложен способ построения гиперкомплексных систем на основе циклической мультипликативной группы, которую образуют мнимые орты. Таблица умножений мнимых ортов в таких системах задается правилами умножения элементов циклической мультипликативной группы.

Построенные таким образом гиперкомплексные системы следует рассматривать как обобщения поля комплексных чисел, где мнимая единица является образующим элементом мультипликативной циклической группы порядка четыре.

В работах [2, 3] были рассмотрены быстрые преобразования Фурье (БПФ) в гиперкомплексных системах с мультипликативной группой ортов, являющихся расширениями поля рациональных чисел. Там же была отмечена взаимосвязь гиперкомплексных БПФ с полиномиальными преобразованиями Нуссбаумера.

В настоящей публикации представлены результаты дальнейших исследований по синтезу быстрых гиперкомплексных преобразований Фурье.

Гиперкомплексные системы в расширениях поля рациональных чисел

В работе [4] показано, что всякая гиперкомплексная система задается таблицей умножения мнимых ортов. При этом заданные правила умножения ортов друг на друга определяют многие характерные свойства той или иной системы. Наиболее известной и часто используемой является четырехортная алгебра кватернионов Гамильтона, таблица умножений для которой задана в виде

	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>
<i>i</i>	-1	<i>k</i>	- <i>j</i>
<i>j</i>	- <i>k</i>	-1	<i>i</i>
<i>k</i>	<i>j</i>	- <i>i</i>	-1

Из таблицы следует некоммутативность операций умножения мнимых ортов: $ij \neq ji, ik \neq ki, kj \neq jk$.

Характерной особенностью данной алгебры является то, что для всякого кватерниона

$$a = a_0 + a_1 i + a_2 j + a_3 k$$

его норма, определяемая в виде

$$|a| = \sqrt{a_0^2 + a_1^2 + a_2^2 + a_3^2},$$

есть евклидова норма. Через данные нормы алгебра кватернионов Гамильтона обобщается с алгеброй поля комплексных чисел.

Для гиперкомплексных систем с четырьмя мнимыми ортами, образующими мультипликативную циклическую группу

$$G_8 = \{1, j, i, k, -1, -j, -i, -k\},$$

где $j = \sqrt[4]{-1}$, таблица умножения ортов может быть представлена в виде

	<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>
<i>i</i>	-1	<i>k</i>	- <i>j</i>
<i>j</i>	<i>k</i>	<i>i</i>	-1
<i>k</i>	- <i>j</i>	-1	- <i>i</i>

Следует заметить, что количество различных гиперкомплексных систем, построенных на основе

той или иной циклической мультипликативной группы ортов, не ограничено, и каждая такая система может рассматриваться либо как расширение поля рациональных чисел, либо как расширение поля вещественных чисел. В первом случае построенная таким образом гиперкомплексная система образует в расширении поля рациональных чисел также поле, поскольку в полиномиальном представлении данное расширение образовано по модулю неприводимого в поле рациональных чисел многочлена $f(k) = x^n + 1$. Основанием для создания таких гиперкомплексных систем служит возможность получения для них БПФ, подобных полю комплексных чисел, где, как известно, матрица дискретного преобразования Фурье (ДПФ) представлена через степени корней α_N^k многочлена $x^N - 1$, образующих циклическую мультипликативную группу порядка N :

$$G_N = \{1, \alpha_N, \alpha_N^2, \dots, \alpha_N^{N-1}\}.$$

Аналогичным образом строятся матрицы ДПФ в полях Галуа, в том числе в простых полях Галуа.

Быстрые гиперкомплексные преобразования Фурье по основанию два (БГПФ)

Рассмотрим математические модели БГПФ по основанию два в v -ортовых гиперкомплексных системах, являющихся расширениями поля рациональных чисел, где задана циклическая мультипликативная группа

$$G_{2v} = \{1, i_1, i_2, \dots, i_{v-1}, -1, -i_1, \dots, -i_{v-1}\}.$$

Тогда матрицу ГПФ можно записать в виде

$$F_N = \|\alpha_N^{lm}\| = \|i_1^{lm}\|, \quad (3)$$

где $N = 2v = 2^n$, $\alpha_N = i_1$, $l, m = \overline{0, N-1}$.

Для $v = 4$ в соответствии с таблицей умножения ортов имеем матрицу F_8 :

$$F_8 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & j & i & k & -1 & -j & -i & -k \\ 1 & i & -1 & -i & 1 & i & -1 & -i \\ 1 & k & -i & j & -1 & -k & i & -j \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -j & i & -k & -1 & j & -i & k \\ 1 & -i & -1 & i & 1 & -i & -1 & i \\ 1 & -k & -i & -j & -1 & k & i & j \end{pmatrix},$$

где $i_1 = j$, $i_2 = i$, $i_3 = k$.

Матрицу обратного ДПФ можно определить по аналогии с матрицей комплексного ДПФ, т. е. в виде транспонированной гиперкомплексно-сопряженной матрицы

$$(F_8^*)' = F_8^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -k & -i & -j & -1 & k & i & j \\ 1 & -i & -1 & i & 1 & -i & -1 & i \\ 1 & -j & i & -k & -1 & j & -i & k \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & k & -i & -j & -1 & -k & i & -j \\ 1 & i & -1 & -i & 1 & i & -1 & -i \\ 1 & j & i & k & -1 & -j & -i & -k \end{pmatrix}.$$

В более общем случае матрицу обратного ГПФ можно записать в виде

$$F_N^{-1} = J_N F_N = \|\alpha_N^{-lm}\| = \|i_1^{-lm}\|,$$

где $J_N = 1 \oplus \bar{I}_{N-1}$, \oplus – оператор кронекеровской (прямой) суммы; I_N – матрица инверсной перестановки.

Выполнив в матрице F_8 четно-нечетные перестановки строк, можно получить матрично-блочную рекурсивную форму

$$F_8 = J_8' \left(\begin{array}{c|c} F_4 & F_4 \\ \hline F_4 D_4 & -F_4 D_4 \end{array} \right),$$

где F_4 – матрица комплексного ДПФ $F_4 = \|i^{lm}\|$; $l, m = \overline{0, 3}$; $i = \sqrt{-1}$; $D_4 = \text{diag}\{1, j, i, k\}$; J_8 – матрица четно-нечетной перестановки.

В общем виде матрично-блочную рекурсивную форму для матрицы F_N можно записать

$$F_N = J_N \left(\begin{array}{c|c} F_{N/2} & F_{N/2} \\ \hline F_{N/2} D_{N/2} & -F_{N/2} D_{N/2} \end{array} \right), \quad (4)$$

где $D_{N/2} = \text{diag}\{1, i_1, i_2, \dots, i_{N/2-1}\}$.

На основе матрично-блочной рекурсивной формы (4) для матриц F_N и F_N^{-1} можно построить факторизованные формы, соответствующие быстрым алгоритмам. Например, для $N = 2^n$, матрицу F_N можно представить в факторизованной форме

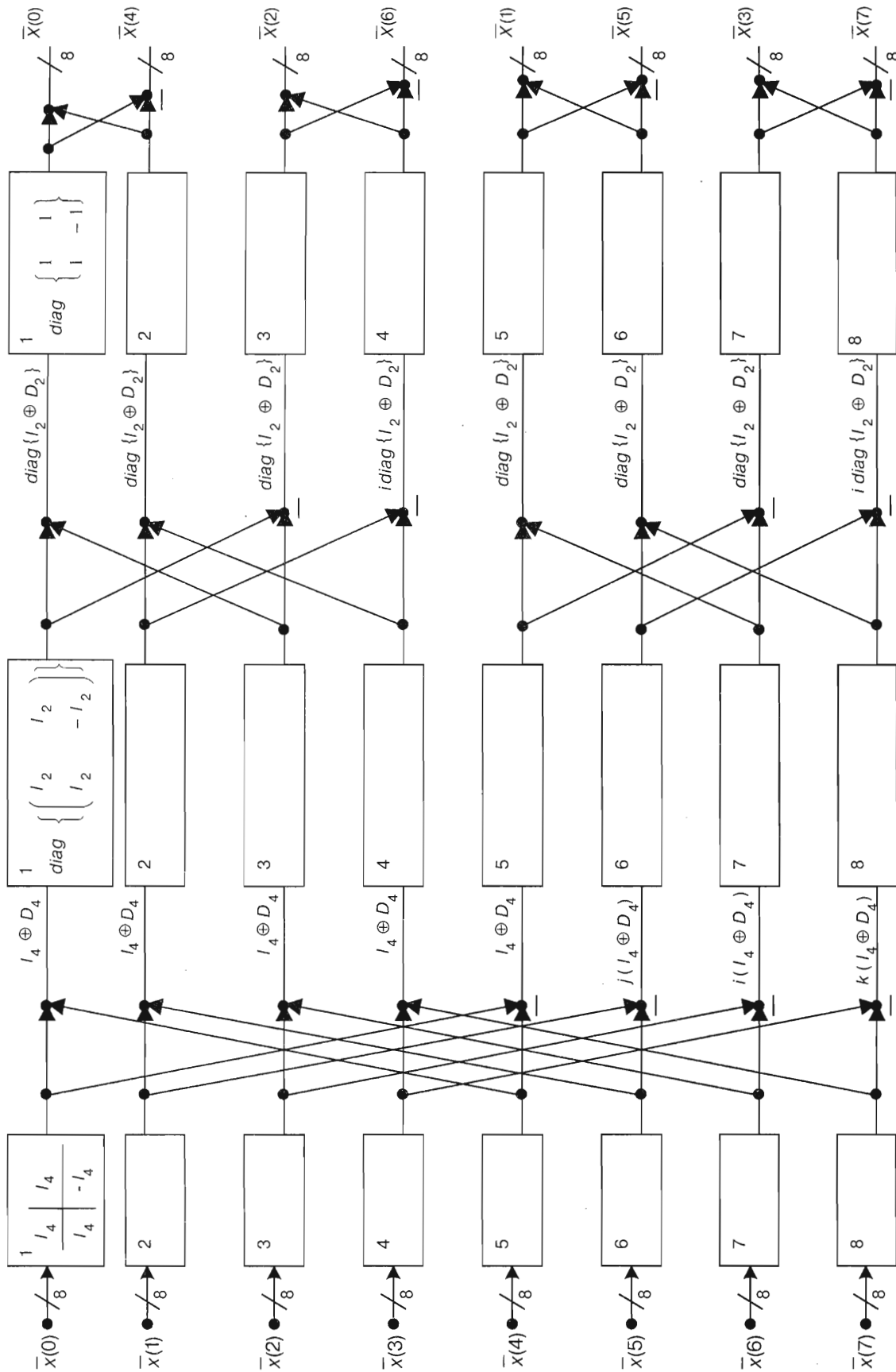
$$F_N = \tilde{J}_N \text{diag} \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \right\} \times \text{diag} \left\{ \left(\begin{array}{c|c} I_2 & I_2 \\ \hline D_2 & -D_2 \end{array} \right) \right\} \times \dots \times \left(\begin{array}{c|c} I_{N/2} & I_{N/2} \\ \hline D_{N/2} & -D_{N/2} \end{array} \right), \quad (5)$$

где $D_{N/2} = \text{diag}\{1, i, i_2, \dots, i_{N/2-1}\}$; $D_2 = \text{diag}\{1, i\}$, \tilde{J}_N – матрица двоично-инверсной перестановки.

Факторизованная форма F_N (5) соответствует БПФ по основанию два с прореживанием по частоте. Посредством ее транспонирования легко получается БПФ с прореживанием по времени

$$F_N = F_N' = \left(\begin{array}{c|c} I_{N/2} & D_{N/2} \\ \hline I_{N/2} & -D_{N/2} \end{array} \right) \times \dots \times \text{diag} \left\{ \left(\begin{array}{c|c} I_2 & D_2 \\ \hline I_2 & -D_2 \end{array} \right) \right\} \text{diag} \left\{ \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \right\} \tilde{J}_N', \quad (6)$$

где $\tilde{J}_N' = \tilde{J}_N$.



$$D_4 = \text{diag} \{t, j, i, k\}, D_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i \end{pmatrix}$$

■ Векторный граф двумерного псевдогнездового алгоритма ГПФ

Заметим, что в матрично-факторизованных формах (4) и (5) блочная матрица $\begin{pmatrix} I_n & I_n \\ D_n & -D_n \end{pmatrix}$ и ее транспонированная форма $\begin{pmatrix} I_n & D_n \\ I_n & -D_n \end{pmatrix}$ при реализации БПФ должны быть представлены соответственно со множителями $\begin{pmatrix} I_n & 0 \\ 0 & D_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_n & I_n \\ I_n & -I_n \end{pmatrix}$ и $\begin{pmatrix} I_n & I_n \\ I_n & -I_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_n & 0 \\ 0 & D_n \end{pmatrix}$.

Характерной особенностью алгоритмов гиперкомплексных БПФ (ГБПФ) является отсутствие в диагональных матрицах D_N нетривиальных весовых множителей, но при этом получаемые коэффициенты преобразования имеют гиперкомплексную (полиномиальную) форму. Учитывая то, что каждая мнимая единица представлена как $i_k = \alpha_N^k$, где α_N – корень многочлена $x^{N/2} + 1$, можно легко выполнить переход от коэффициентов ГБПФ к коэффициентам комплексного БПФ (КБПФ). Данную взаимосвязь коэффициентов ГБПФ и КБПФ можно использовать для конвейеризации вычислений КБПФ в задачах спектрального анализа, фильтрации и сжатия цифровых сигналов. Для этого необходимо в одной фазе конвейера реализовать арифметические операции сложения-вычитания, соответствующие алгоритму ГБПФ, а во второй фазе реализовать арифметические операции (преимущественно умножения), связанные с переходом от коэффициентов ГБПФ к коэффициентам БПФ. Учитывая, что операций сложений-вычитаний много больше, чем умножений, каждую из фаз конвейера можно реализовать на элементной базе, быстродействие которой наиболее соответствует типу и количеству выполняемых арифметических операций.

В случае обработки вещественных или комплексных последовательностей отсчетов сигнала полученные коэффициенты гиперкомплексных БПФ будут сопряженно взаимосвязаны. Такие взаимосвязи хорошо известны для коэффициентов ДПФ в расширениях полей Галуа, где они определяются через корни минимальных многочленов.

Для рассматриваемых расширений поля рациональных чисел сопряженность гиперкомплексных коэффициентов определяется неприводимыми многочленами, являющимися делителями многочлена $x^N - 1$, где N – длина преобразования. При этом по своей симметрии коэффициенты объединяются по мультипликативным подгруппам ортов. Например, для $N = 2^n$ симметричными являются: $x(0), x(N/2)$ – вещественные; $x(k)$ – для четных k – симметрия по мнимым единицам, образующим всевозможные подгруппы в группе $G_N = \{j_1, j_1^2, j_1^3, \dots, j_1^{N-1}\}$; $x(k)$ – для нечетных k – симметрия по всем ортам $\{j_1, j_2, \dots, j_{N/2-1}\}$.

Заметим, что здесь под симметрией понимается наличие одинаковой вещественной части и одинаковых коэффициентов при мнимых единицах.

Примерно такими же соотношениями может быть представлена сопряженность коэффициентов двумерного гиперкомплексного преобразования

для двумерных вещественных входных данных. Отличие состоит в том, что соотношения сопряженности записываются различным образом для четных и нечетных строк и столбцов, а также для диагоналей матрицы коэффициентов.

Быстрые гиперкомплексные преобразования Фурье с длиной, факторизованной взаимно простыми числами

Поскольку длина ГПФ N связана с количеством мнимых ортов через порядок мультипликативной группы, которая задана ее образующим элементом α_N , то первоначально необходимо рассмотреть такие гиперкомплексные системы, в которых количество мнимых единиц (с учетом знака) есть число либо простое, либо разложимое на взаимно-простые числа. Согласно результатам работы [5], всякую гиперкомплексную алгебру $A^{(v)}$ можно задать в виде расширения поля рациональных чисел через круговой многочлен $C_N(x) | x^N - 1$.

Пусть $N = 5$ и $C_5(x) = x^4 + x^3 + x^2 + x + 1$. Тогда можно построить четырехортную алгебру $A^{(4)}$ с таблицей умножения ортов

	i_1	i_2	i_3
i_1	i_2	i_3	$-i_3 - i_2 - i_1 - 1$
i_2	i_3	$-i_3 - i_2 - i_1 - 1$	1
i_3	$-i_3 - i_2 - i_1 - 1$	1	i_1

Матрица гиперкомплексного ДПФ имеет вид

$$F_5 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & i_1 & i_2 & i_3 & i_4 \\ 1 & i_2 & i_4 & i_1 & i_3 \\ 1 & i_3 & i_1 & i_4 & i_2 \\ 1 & i_4 & i_3 & i_2 & i_1 \end{pmatrix},$$

где $i_4 = -i_3 - i_2 - i_1 - 1$.

После перестановки строк и столбцов на основе соответствия $j \rightarrow \langle 2^j \rangle_5$, $j = \overline{1, 4}$ получим форму представления матрицы F_5 через циркулянт

$$\hat{F}_5 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & i_4 & i_3 & i_1 & i_2 \\ 1 & i_3 & i_1 & i_2 & i_4 \\ 1 & i_1 & i_2 & i_4 & i_3 \\ 1 & i_2 & i_4 & i_3 & i_1 \end{pmatrix}.$$

На основе матрицы \hat{F}_5 может быть построен алгоритм БПФ через быструю четырехточечную свертку. Поскольку элементами матрицы \hat{F}_5 являются мнимые орты и единицы, то в алгоритмах таких БПФ отсутствует умножение на нетривиальные множители.

Рассмотрим теперь случай факторизации величины N взаимно-простыми множителями. Например, пусть $N = 2 \cdot 3 = 6$. Выбирая $C_6(x) = x^2 - x + 1$, имеем матрицу ГПФ

$$F_6 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & i & i-1 & -1 & -i & 1-i \\ 1 & i-1 & -i & 1 & i-1 & -i \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -i & i-1 & 1 & -i & i-1 \\ 1 & 1-i & -i & -1 & i-1 & i \end{pmatrix}$$

С целью получения БПФ с факторизацией $N = N_1 N_2$, $(N_1, N_2) = 1$, для $N_1 \neq N_2$, к матрице F_N могут быть применены перестановки строк и столбцов на основе китайской теоремы об остатках, которые в нашем примере могут быть выражены следующими соответствиями, если принять $N_1 = 2, N_2 = 3$:

$$0 \rightarrow (0,0), 1 \rightarrow (1,1), 2 \rightarrow (0,2), 3 \rightarrow (1,0), 4 \rightarrow (0,1), 5 \rightarrow (1,2).$$

После перестановок получим матрицу

$$\hat{F}_6 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -i & i-1 & 1 & -i & i-1 \\ 1 & i-1 & -i & 1 & i-1 & -i \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -i & i-1 & 1 & i & 1-i \\ 1 & i-1 & -i & 1 & 1-i & i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_3 & 0 \\ 0 & F_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_3 & I_3 \\ I_3 & -I_3 \end{pmatrix},$$

где $F_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -i & i-1 \\ 1 & i-1 & -i \end{pmatrix}$. (7)

Из формы (7) получим алгоритм ГБПФ длины $N=6$, который можно записать в матрично-блочном виде

$$\hat{F}_6 = \begin{pmatrix} I_3 & I_3 \\ I_3 & -I_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D_3 & 0 \\ 0 & D_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (11) \oplus I_2 & 0 \\ 0 & (11) \oplus I_2 \end{pmatrix} \times \\ \times \begin{pmatrix} 1 \oplus \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} & 0 \\ 0 & \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где $D_3 = \text{diag} \{1, 1/2, 1/2-i\}$.

Факторизованная форма (8) представляет гнездовой алгоритм БПФ в поле комплексных рациональных чисел, когда мнимая единица определяется из многочлена $f(x) = x^2 - x + 1$.

В общем случае величина N может быть факторизована более чем двумя взаимно-простыми множителями. Для построения алгоритмов ГБПФ типа (8) необходимо воспользоваться известным выражением [5] для определения круговых многочленов

$$C_{mp}^{(z)} = C_{mp}(z^{p^{k-1}}), \quad (9)$$

где $C_{mp}(z) = \frac{C_m(z^p)}{C_m(z)}$.

Таким образом, учитывая, что

$$C_p(z) = z^{p-1} + z^{p-2} + \dots + 1,$$

где p – простое число, с помощью выражения (9) легко определяются круговые многочлены для любых практически используемых значений величины N .

Быстрые алгоритмы многомерных ГПФ и сверток

По аналогии с комплексными БПФ для двумерных данных можно использовать построчно-столбцовый алгоритм

$$[X_N] = F_N [x_N] F_N,$$

где $[X_N]$ и $[x_N]$ – матрицы соответственно коэффициентов преобразования и отсчетов исходного двумерного сигнала.

Для многомерных данных наиболее часто используются быстрые алгоритмы на основе кронекеровской факторизации, в форме которой может представлена матрица одномерного эквивалентного преобразования

$$F_{n^r} = F_n^{[r]}, \quad (10)$$

где $[r]$ – обозначение кронекеровской степени.

Подставляя в выражение (10) одну из факторизованных форм матрицы F_n , можно получить быстрый алгоритм многомерного ГПФ, в том числе псевдогнездовой алгоритм ГПФ, который имеет по сравнению с другими алгоритмами меньшее количество умножений на мнимые единицы. Заметим, что сокращение количества используемых мнимых единиц позволит упростить управление в вычислительном процессе.

В общем виде матрицу эквивалентно-одномерного ГПФ по основанию два и с прореживанием по частоте можно записать в виде

$$F_{n^r} = \tilde{J}_n^{[r]} \prod_{j=0}^{t-1} \left(\hat{D}_n^{(j)} \right)^{[r]} \left(\hat{I}_n^{(j)} \right)^{[r]}, \quad (11)$$

где $\hat{D}_n^{(j)} = I_{2^{t-j-1}} \otimes (I_2 \oplus D_{2j})$; $\hat{I}_n^{(j)} = I_{2^{t-j-1}} \otimes \begin{pmatrix} I_{2j} & I_{2j} \\ I_{2j} & -I_{2j} \end{pmatrix}$; $t = \log_2 n$ – количество итераций в быстром алгоритме.

Например, для $n=8, t=3$ и $r=2$ факторизованная форма принимает следующий вид:

$$F_{64} = \tilde{J}_8^{[2]} \prod_{j=0}^2 \left(\hat{D}_8^{(j)} \right)^{[2]} \left(\hat{I}_8^{(j)} \right)^{[2]},$$

где $\hat{D}_8^{(j)} = I_{2^{3-j-1}} \otimes (I_2 \oplus D_{2j})$; $\hat{I}_8^{(j)} = I_{2^{3-j-1}} \otimes \begin{pmatrix} I_{2j} & I_{2j} \\ I_{2j} & -I_{2j} \end{pmatrix}$.

Из графа, представленного на рисунке, следует, что для двумерного 8×8 ГПФ требуется 328 сложений-вычитаний и 46 умножений на мнимые единицы.

Рассмотрим, каким образом можно использовать алгоритмы БГПФ для вычисления двумерных сверток и корреляций.

Пусть заданы две матрицы цифровых отсчетов исходных сигналов $[X_N]$ и $[h_N]$, свертки которых требуется вычислить. Обычный алгоритм вычисления циклической двумерной свертки можно задать через последовательностную модель

$$y(k, n) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} x(m, l) \cdot h(k-m, n-l).$$

Для получения быстрого алгоритма воспользуемся векторно-матричной формой представления свертки. Существует выражение для одномерных циклических свертки в виде

$$Y_N = S_N \cdot \bar{X}_N, \quad (12)$$

где S_N – циклическая матрица (циркулянт), заданная последовательностью $\{h_i\}$; \bar{X}_N – вектор, соответствующий инвертированной во времени последовательности $\{X_0, X_{N-1}, X_{N-2}, \dots, X_1\}$; Y_N – вектор, соответствующий последовательности значений свертки $\{y_n\}$. Для любой матрицы-циркулянта существует выражение, связывающее его с ДПФ:

$$S_N = F_N^{-1} D_N F_N, \quad (13)$$

где $D_N = \text{diag}\{d_0, d_1, \dots, d_{N-1}\}$; $d_N = d_0, d_1, d_2, \dots, d_{N-1}$, $d'_N = F_N \bar{h}_N$, \bar{h}_N – образующая строка матрицы S_N .

Выражения (12) и (13) можно использовать для вычисления двумерных циклических свертки, если каждую из исходных последовательностей представить эквивалентно-одномерной последовательностью, т. е. матрицам $[X_N]$ и $[h_N]$ сопоставить соответственно векторы

$$X_{N^2} = X_0, X_1, \dots, X_{N-1}; \quad H_{N^2} = H_0, H_1, \dots, H_{N-1},$$

где X_i – i -я строка матрицы $[X_N]$; H_i – i -я строка матрицы $[h_N]$.

Тогда выражения (12) и (13) можно записать в следующем виде

$$Y'_{N^2} = \hat{S}_{N^2} \bar{X}'_{N^2}; \quad (14)$$

$$\hat{S}_{N^2} = (F_N^{-1} \otimes F_N^{-1}), \quad \hat{D}_N (F_N \otimes F_N),$$

где $\hat{D}_{N^2} = \text{diag}\{\hat{d}_0, \hat{d}_1, \dots, \hat{d}_{N^2-1}\}$; $\hat{d} = \hat{d}_0, \hat{d}_1, \dots, \hat{d}_{N^2-1}$, $\hat{d}' = (F_N \otimes F_N) H'_{N^2}$; $\bar{Y}_{N^2} = Y_0, Y_1, \dots, Y_{N-1}$ – блок-вектор, соответствующий отчетам двумерной свертки; \hat{S}_{N^2} – блок-циркулянт с образующим вектором-строкой h_{N^2} ; $\bar{X}'_{N^2} = (X_0, X_{N-1}, X_{N-2}, \dots, X_1)'$; $\bar{X}_i = X_0 X_{N-1}, \dots, X_1$ – i -я инвертированная вектор-строка матрицы $[X_N]$.

Заметим, что S_N в выражении (12) и \hat{S}_{N^2} в выражении (13) – левые циркулянты. Векторно-матричные формы (12) и (13) можно использовать для вычисления периодических корреляций, если добавить оператор $E(\cdot)$ осреднения. С учетом того, что циркулянты должны быть правыми, векторы \bar{X}_N и \bar{X}'_{N^2} заменяются на X'_N и X'_{N^2} , соответствующие неинвертированным последовательностям $\{x_i\}$ и $\{X_i\}$, и матрица \hat{D}_{N^2} заменяется на сопряженную матрицу \bar{D}_{N^2} .

Выводы

1. Предложенный способ построения гиперкомплексных алгебр с мультипликативной группой мнимых ортов позволил их обобщить с полем комплексных чисел через дискретное преобразование Фурье.
2. В алгебрах, являющихся расширением поля рациональных чисел, для преобразования Фурье существуют быстрые алгоритмы, аналогичные быстрым алгоритмам преобразования Фурье в поле комплексных чисел.
3. Быстрые преобразования Фурье в гиперкомплексных алгебрах с точки зрения реализации обладают рядом особенностей, которые могут быть использованы, например, для конвейеризации вычислений.

В заключение следует отметить, что опубликованные в данной работе результаты были получены при финансовой поддержке Минобразования РФ НИР-грант ТО2-03.2-2731.

Литература

1. Гагарин Ю. И. Системы гиперкомплексных чисел с мультипликативной группой ортов // Труды СПбГТУ, серия ВТАРЭ. – № 464. – 1996. – С. 52–54.
2. Гагарин Ю. И., Гагарин К. Ю. Гиперкомплексные быстрые преобразования Фурье в расширениях поля рациональных чисел // Труды СПбГТУ, серия ВТАРЭ. – № 472. – 1998. – С. 77–80.
3. Гагарин К. Ю. Быстрые гиперкомплексные преобразования Фурье в расширениях поля рациональных чисел с длиной преобразования, факторизованной взаимнопростыми множителями // Труды СПбГТУ, серия ВТАРЭ. – № 480. – 2000. – С. 89–92.
4. Кантор И. Л., Солодовников А. С. Гиперкомплексные числа. – М.: Наука, 1973. – 144 с.
5. Применение теории чисел в цифровой обработке сигналов / Под ред. Дж. Н. Макклеллан, Ч. Н. Рейдер. – М.: Радио и связь, 1984. – 264 с.

УДК 621.396.6

МОДЕЛЬ ГОТОВНОСТИ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В. В. Гришин,

канд. техн. наук

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского

Техническая система управления рассматривается как сложная система, определяется понятие готовности, проводится анализ аналитических моделей готовности такой системы. Приводится формализованное описание готовности системы и предлагается аналитическая модель готовности с учетом режимов функционирования и интенсивности применения.

Technical command and control system is described as a complex system. The author gives the definition of readiness and analyzes the analytic readiness models of a complex structural system. Author proposes a new analytic readiness model. This model takes into account the functioning modes and the intensity of its application.

Под сложной технической системой управления (СТСУ) будем понимать такую техническую систему, которая характеризуется сложностью своей структурной и функциональной организации, позволяющей, с одной стороны, выполнять целый комплекс взаимосвязанных функций и, с другой стороны, устойчиво работать с допустимым уровнем надежности при отказах отдельных элементов подсистем и даже группы элементов подсистем [1].

Для сложной технической системы не существует общепринятого понятия отказа, так как внутренние изменения в структуре системы из-за отказа ее отдельных элементов приводят, как правило, лишь к некоторому ухудшению ее надежности, а не к полному отказу системы. В этих условиях для анализа состояния системы следует использовать такое ее эксплуатационное свойство, как готовность, которое характеризует приспособленность СТСУ к переводу из любого исходного состояния в состояние непосредственного применения по назначению и нахождению в этом состоянии заданное время.

Под математической моделью готовности сложной ТСУ, выполняющей некоторую целевую задачу, будем понимать формализованное описание, которое отображает систему с учетом особенностей формирования и реализации ее готовности к выполнению целевой задачи и при исследовании дает полную информацию о готовности системы в заданных условиях функционирования и режимах применения.

По принципам построения математические модели делят на аналитические, имитационные и комбинированные [2].

Аналитическое моделирование заключается в получении аналитической математической модели и исследовании, выполняемом с использованием этой модели непосредственно или с помощью ЭВМ. Аналитические модели широко используются при расчетах эксплуатационно-технических характеристик ТСУ. Главное достоинство аналитического моделирования заключается в возможности получения на его основе фундаментальных результатов, которые могут быть распространены как на различные случаи применения моделируемой системы, так и на случаи рассмотрения других систем данного класса.

В качестве основных аналитических моделей, описывающих функционирование СТСУ, следует выделить: модели теории отношений; простейшие сетевые модели; автоматные модели; модели цепей Маркова; модели массового обслуживания; модели дифференциальных динамических систем; модели математического программирования [3].

Проведем формализованное описание готовности сложной технической системы управления. Каждая подсистема сложной ТСУ в любой момент времени интервала ее функционирования находится в определенном состоянии. В общем случае j -я подсистема системы, состоящей из m комплектов, может находиться в n_j различных состояниях, которые не удается свести к двум состояниям – работоспособности и отказа. Тогда система в целом будет характеризоваться траекторией в более сложном пространстве состояний с числом состояний

$$M = \prod_{j=1}^m n_j.$$

Так как готовность СТСУ определяется надежно-стью ее подсистем и их взаимосвязью, то формализованное описание готовности системы можно представить в виде

$$P_r(t) = \langle S, R, T_O, T_B; t \rangle, \quad (1)$$

где $S = \{\bar{s}^1, \bar{s}^2, \dots, \bar{s}^m\}$, $\bar{s}^l = \{s_1, s_2, \dots, s_{k_l}\}$, $l = \overline{1, m}$ – вектор, характеризующий структуру системы, состоящую из m подсистем; $R = \{1, 2, \dots, r\}$ – вектор, характеризующий режимы функционирования;

$T_O = [\tau_{oli}]$ – матрица наработок между отказами

подсистем, где $l = \overline{1, m}$ – номер подсистемы, $i = \overline{1, n}$ – номер отказа;

$T_B = [\tau_{Bli}]$ – матрица времен восстановлений

подсистем, где $l = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$;

t – время (наработка).

Порядок расчета готовности сложной системы управления состоит в выполнении следующих действий:

- производится разбиение сложной системы на отдельные подсистемы;
- задается схема соединения подсистем;
- вычисляются показатели надежности подсистем;
- вычисляются вероятности всех возможных состояний системы;
- определяется показатель готовности системы.

Пусть подсистемы, входящие в структуру системы, могут находиться только в одном из двух состояний: работоспособности и отказа, при этом отказы подсистем происходят независимо друг от друга.

Обозначим через s_j , где

$$s_j = \begin{cases} 1, & \text{если подсистема } j \text{ работоспособна;} \\ 0, & \text{если подсистема } j \text{ неработоспособна,} \end{cases}$$

m -мерный вектор $(s_j = \{s^1, \dots, s^l, \dots, s^m\})$, характеризующий состояние системы, определяемое состоянием подсистем.

Тогда система, состоящая из m подсистем, каждая из которых имеет два состояния, может находиться в одном из 2^m различных состояний. Состояния подсистем определяются их наработками между отказами τ_{ol} и временами восстановлений τ_{Bl} , $l = \overline{1, m}$. Введем обозначение состояний системы $(s, o_{j1}, o_{j2}, \dots, o_{jl})$, когда l подсистем – j_1, j_2, \dots, j_l – неработоспособны. Обозначим через $G = \{(j_1, \dots, j_l) \mid 1 \leq j_1 < \dots < j_l < m, l \in J\}$ множество возможных наборов индексов неработоспособных подсистем. Если все подсистемы работоспособны, то множество $G = \{O\}$.

Пусть $H_{j_1, \dots, j_l} (j_1, \dots, j_l) \in G$ – вероятность того, что система находится в состоянии $(s, o_{j_1}, o_{j_2}, \dots, o_{j_l})$, $(j_1, j_2, \dots, j_l) \in G$; H_0 – вероятность того, что система находится в состоянии $(1, 1, \dots, 1)$, когда все подсистемы

работоспособны. Сумма вероятностей всех возможных состояний системы составляет полную группу событий, поэтому выполняется равенство

$$H_0 + \sum_{j \in G} H_{j_1} + \sum_{(j_1, j_2) \in G} H_{j_1, j_2} + \dots + \sum_{(j_1, \dots, j_l) \in G} H_{j_1, \dots, j_l} + \dots + \sum_{(j_1, \dots, j_{n-1}) \in G} H_{j_1, \dots, j_{n-1}} + H_{1, 2, \dots, m} = 1.$$

Обозначим Φ_{j_1, \dots, j_l} – показатель условной вероятности работоспособности системы в состоянии $(s, o_{j_1}, o_{j_2}, \dots, o_{j_l})$, $(j_1, j_2, \dots, j_l) \in G$, определяемый векторами S и R .

Тогда показатель готовности системы можно определить по формуле:

$$P_r = \sum_{(j_1, \dots, j_l) \in G} \Phi_{j_1, \dots, j_l} H_{j_1, \dots, j_l}, \quad (2)$$

где суммирование производится по всему множеству G .

Назовем такой показатель *структурно-функциональным коэффициентом готовности*, так как Φ_j учитывает структуру, а H_j – функционирование СТСУ при данной структуре. Значения показателя готовности существенно зависят от значений коэффициентов $\Phi_{j_1, \dots, j_l} (j_1, \dots, j_l) \in G$, которые в общем случае могут принимать произвольные значения между нулем и единицей.

В ряде случаев оказывается, что, несмотря на большое число состояний системы, все они могут быть разбиты на малое число классов, каждый из которых характеризуется одним и тем же коэффициентом показателя условной работоспособности. Тогда готовность системы вычисляется по формуле

$$P_r = \sum_{k=1}^n \Phi_{G_k} \sum_{(j_1, \dots, j_l) \in G_k} H_j, \quad (3)$$

где Φ_{G_k} – значение коэффициента условной работоспособности; n – число таких уровней; G_k – множество тех состояний, для которых коэффициент условной работоспособности равен Φ_{G_k} .

Таким образом, совокупность состояний подсистем сложной ТСУ в некоторый фиксированный момент времени t определяет состояние системы в этот момент времени, а совместное изменение состояний всех подсистем определяет функционирование системы во времени. Поэтому для моделирования готовности сложной ТСУ используем модель в виде цепи Маркова [4].

Полное описание готовности требует определения: процесса возникновения отказов аппаратуры; структурной логической схемы системы; правил и стратегий проведения восстановительных работ; состояний, которыми характеризуется отказ системы.

Для того чтобы учесть возможность резервирования, режимы функционирования и интенсивность применения, предлагается использовать модель готовности, представленную на рис. 1. Такая модель

по своей сути является структурно-функциональной моделью готовности сложной ТСУ.

На рис. 1 введены следующие обозначения:

состояния 1, 2, 3, 4 – соответственно «применение», «готовность к применению», «подготовка к применению», «ожидание подготовки к применению» в режиме полной работоспособности (ПР) (СТСУ работоспособна и может применяться без ограничений);

состояния 5, 6, 7, 8 – соответственно «применение», «готовность к применению», «подготовка к применению», «ожидание подготовки к применению» в режиме «Факультатив» (Ф) (СТСУ используется по целевому назначению с пониженным уровнем надежности в ожидании восстановления; в состоянии 8 проводится восстановление отказавших резервных комплектов);

состояния 9, 10 – соответственно «подготовка к восстановлению» и «восстановление» в режиме «Задержка» (З) (СТСУ неработоспособна и восстанавливается);

λ – интенсивность отказов, μ – интенсивность восстановления; β – интенсивность обслуживания заявок на управление; γ – интенсивность подготовки к применению; α – интенсивность поступления заявок на управление; v – интенсивность включения аппаратуры; q – интенсивность подготовки к восстановлению; k – коэффициент, характеризующий степень нагрузки резервных комплектов подсистем ($k = 0 \dots 1$); индекс «н» используется для обозначения нерезервированных комплектов.

Для марковского процесса вероятности состояний системы описываются с помощью линейных дифференциальных уравнений Колмогорова:

$$\dot{P}_k(t) = - \left[\sum_{j=1}^n \lambda_{kj}(t) P_k(t) + \sum_{i=1}^n [\lambda_{ik}(t) P_i(t)] \right], \quad (4)$$

где $P_i(t)$, $[i = 1 \dots n]$ и $\dot{P}_i(t)$, $[i = 1 \dots n]$ – вероятности 1-го, 2-го, ..., n -го состояний системы и производные по времени от этих вероятностей, соответ-

ственно; $\lambda_i(t)$, $[i = 1 \dots n]$ – интенсивности наступления событий; $n = 10$.

При простейших потоках интенсивности наступления событий не зависят от времени, тогда

$$\dot{P}_k(t) = - \left[\sum_{j=1}^n \lambda_{kj} \right] P_k(t) + \sum_{i=1}^n [\lambda_{ik} P_i(t)]. \quad (5)$$

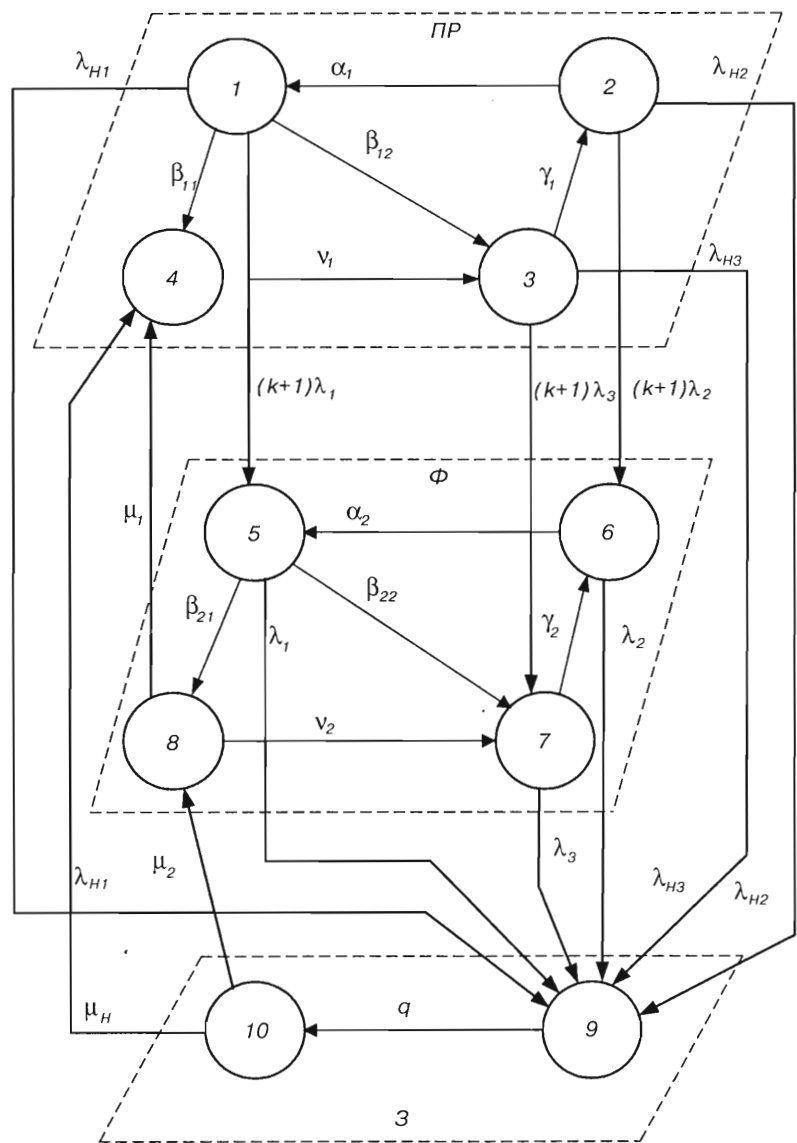
В стационарном режиме ($t \rightarrow \infty$) система дифференциальных уравнений превращается в систему алгебраических уравнений:

$$- \left(\sum_{j=1}^n \lambda_{kj} \right) P_k + \sum_{i=1}^n (\lambda_{ik}) P_i = 0 \quad (6)$$

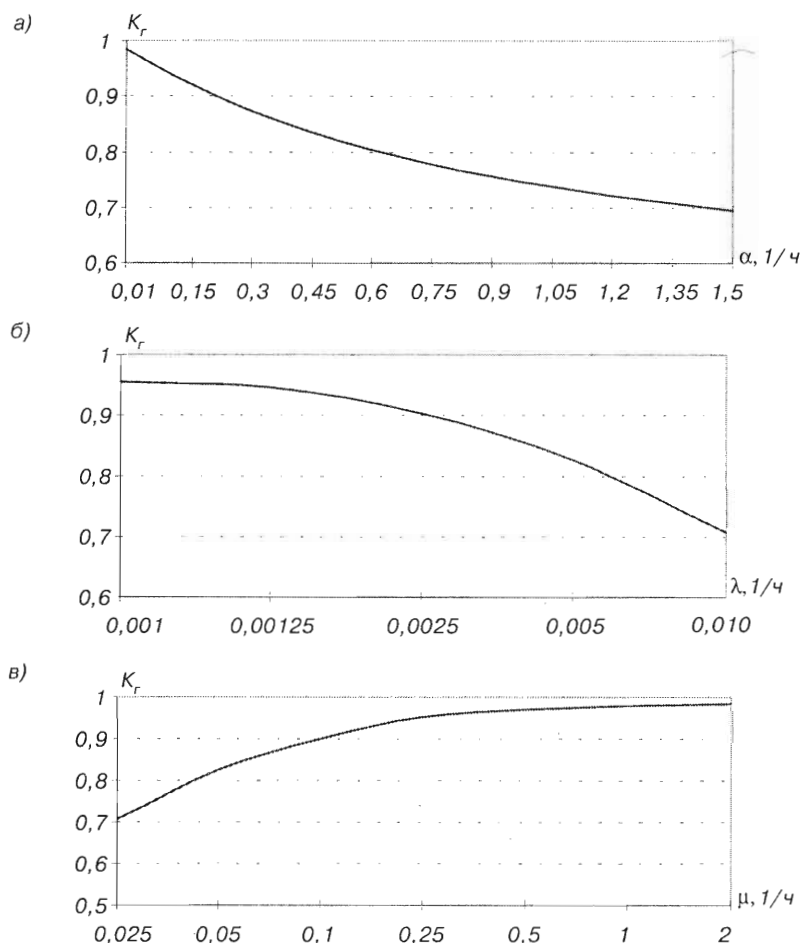
при условии нормировки: $\sum P_k = 1, k = 1 \dots n$.

В матричной форме систему (6) можно записать как

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{P} = \mathbf{B}, \quad (7)$$



■ Рис. 1. Модель готовности СТСУ



■ Рис. 2. Зависимости коэффициента готовности СТСУ от интенсивности применения (а), интенсивности отказов (б), интенсивности восстановления (в)

где **A** – матрица интенсивностей переходов; **P** – вектор-столбец вероятностей состояний; **B** – вектор-столбец свободных членов.

Если определитель матрицы **A** не равен нулю, то система уравнений имеет единственное решение:

$$P = A^{-1} \cdot B. \quad (8)$$

В такой модели готовность определяется как вероятность того, что СТСУ будет работоспособна, подготовлена к применению и не занята обслуживанием «заявок на управление». Поэтому стационарный коэффициент готовности в этом случае равен

$$K_r = P_2 + P_6. \quad (9)$$

Предложенная модель позволяет учесть значительное количество факторов, влияющих на готовности системы, и на этой основе рассчитывать структурно-функциональный коэффициент готовности в стационарном режиме. Исходными данными для моде-

ли являются статистические данные об эксплуатационных процессах исследуемой СТСУ. Модель дает возможность исследовать готовность сложных ТСУ и может быть использована для планирования применения и мероприятий по поддержанию готовности этих систем на требуемом уровне.

На рис. 2 приведены графики зависимости стационарного коэффициента готовности СТСУ от интенсивностей применения, отказов и восстановления, полученные с использованием рассматриваемой модели при наличии необходимых исходных данных. Представленные графики позволяют сделать выводы: с увеличением интенсивности применения системы коэффициент готовности по экспоненте убывает до своего минимального значения, соответствующего максимально возможной интенсивности применения; с увеличением интенсивности отказов аппаратуры коэффициент готовности уменьшается и стремится к нулю; с увеличением интенсивности восстановления аппаратуры коэффициент готовности увеличивается и стремится к единице.

Литература

1. Калинин В. Н., Резников Б. А., Варакин Е. И. Теория систем и оптимального управления. Ч.1. Основные понятия, математические модели и методы анализа систем: Уч. пособ. для вузов. – МО СССР, 1989. – 319 с.
2. Резников Б. А. Системный анализ и методы системотехники. Ч.1. Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. – МО СССР, 1990. – 522 с.
3. Миронов А. Н. Теоретические основы и методы многомодельного прогнозирования долговечности сложных военнотехнических систем космического назначения. – МО РФ, 2000. – 429 с.
4. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы. – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.

УДК 681.3.06

UML. SWITCH–ТЕХНОЛОГИЯ. ECLIPSE

В. С. Гуров,

ведущий разработчик

М. А. Мазин,

разработчик

А. С. Нарвский,

канд. техн. наук

Компания «eVelopers Corporation»

А. А. Шалыто,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

В статье описаны метод и процесс моделирования поведения программы с явным выделением состояний, основанные на SWITCH-технологии и UML-нотации. Также описан процесс создания для платформы Eclipse инструмента, поддерживающего этот метод.

This article describes method and process of state-based modeling of program behavior, based on SWITCH-technology and UML notation. Creation of plug-in for Eclipse platform, that supports this method, is also described.

Введение

В последнее время идея запускаемого UML [1] приобретает все большую популярность. Это связано с тем, что практическое использование *Unified Modeling Language (UML)* [2] в большинстве случаев ограничивается моделированием статической части программы с помощью диаграммы классов. Моделирование динамических аспектов программы на языке UML затруднено в связи с отсутствием в стандарте формального однозначного описания правил интерпретации поведенческих диаграмм. Также следует отметить, что связь поведенческих диаграмм с кодом на целевом языке программирования в современных широко известных средствах моделирования, например, *IBM Rational Rose*, реализована слабо либо вообще не реализована.

Ивар Якобсон, один из создателей языка моделирования UML, в докладе «Четыре основные тенденции в разработке программного обеспечения (ПО)» [3] перечислил важнейшие, по его мнению, направления развития процесса разработки ПО.

Он отметил, что технологическая база разработки объектно-ориентированного ПО, состоящая из языка UML и стандартного процесса разработки *Rational Unified Process (RUP)* [4], приобрела устойчивое состояние. По его мнению, следующим шагом должно стать их широкое внедрение. Уже сегодня можно говорить что «процесс пошел»: И. Якоб-

сон утверждает, что язык UML преподается более чем в 1000 университетах мира, а в присутствии авторов представители фирмы IBM в одном из своих докладов в течение четырех часов демонстрировали использование UML и RUP.

И. Якобсон обозначил следующие тенденции разработки ПО.

1. Аспектно-ориентированное программирование [5]. Аспекты упрощают добавление в систему сквозной функциональности, такой, например, как логирование или проверка прав доступа. Кроме того, И. Якобсон отождествляет понятие аспекта с вариантом использования, что позволяет моделировать аспекты с помощью языка UML.

2. Исполняемый UML. В настоящее время UML применяется в основном как язык спецификации моделей систем. Существующие UML-средства позволяют строить различные диаграммы и автоматически создавать по диаграмме классов «скелет» кода на целевом языке программирования (языки Java и C#). Некоторые из этих средств также предоставляют возможность автоматически генерировать код логики программы по диаграммам состояний.

Однако можно считать, что в настоящее время указанная функциональность существует в «зачаточном состоянии», так как известные инструменты не позволяют в полной мере эффективно связывать модель поведения, которую можно описывать с помощью четырех типов диаграмм (состояний, дея-

тельностью, кооперации или последовательностей), с генерируемым кодом. Это во многом определяется отсутствием в языке *UML* формального однозначного описания операционной семантики для поведенческих диаграмм. Отметим, что в новой редакции языка *UML (UML 2)* такая семантика должна появиться.

Отсутствие однозначной операционной семантики при традиционном написании программ приводит к дублированию описания поведения как в модели, так и на целевом языке, а также к произвольной интерпретации поведенческих диаграмм программистом. Более того, описание поведения в модели часто носит неформальный характер. Появление операционной семантики зафиксирует однозначность понимания диаграмм и приведет к появлению исполняемого *UML*, для которого код, в привычном смысле этого слова, может не генерироваться вообще.

3. Процесс разработки ПО должен быть активным. Существующие средства разработки требуют длительного времени для их изучения. И. Якобсон считает, что средства разработки должны предсказывать действия разработчика и предлагать варианты решения возникших проблем в зависимости от текущего контекста. Отметим, что подобный подход реализован во многих современных средах разработки (например, *Borland JBuilder, Eclipse, IntelliJ IDEA*) для текстовых языков программирования, но не для языка *UML*.

4. Разработанное ПО также должно быть активным, однако не для разработчика, а для конечного пользователя.

По мнению авторов, наиболее интересными и востребованными на сегодняшний день тенденциями являются вторая и третья.

Признание многими ведущими в области разработки ПО фирмами того факта, что программы необходимо не писать «на авось» (как сказал по-русски на конференции «Microsoft Research Academic Days in St.-Petersburg, April 21-23, 2004» создатель языка Eiffel Бертран Мейер), а проектировать, привело к появлению такого направления в программной инженерии, как проектирование на базе моделей (*Model-Driven Design*) [6–8].

Основной идеей такого подхода является независимое рассмотрение моделей, создаваемых при проектировании системы, от деталей их реализации на конкретной программно-аппаратной платформе. Проектирование на базе моделей должно привести к появлению универсальных графических языков программирования.

В данной статье, на примере разработанного авторами проекта с открытым исходным кодом *UniMod* (<http://unimod.sourceforge.net>), описаны применение *UML*-нотации для создания графического языка описания систем со сложным поведением и инструмент моделирования для этого языка, который поддерживает активный процесс разработки ПО. При этом отметим, что идея применения *UML* как

запускаемого языка для таких систем не нова и описана, например, в работах [9, 10]. Однако подход, предлагаемый авторами, как будет показано ниже, более универсален и лучше формализован.

Исполняемый графический язык на основе SWITCH-технологии и UML-нотации

Для создания графического языка диаграммы необходимо наделять операционной семантикой.

В работе [11] предложен метод проектирования событийных объектно-ориентированных программ с явным выделением состояний, названный SWITCH-технологией. Особенность этого подхода состоит в том, что поведение в таких программах описывается с помощью графов переходов структурных конечных автоматов с нотацией, предложенной в работе [12].

SWITCH-технология определяет для каждого автомата два типа диаграмм (схему связей и граф переходов) и их операционную семантику. При наличии нескольких автоматов также строится схема их взаимодействия. SWITCH-технология задает свою нотацию диаграмм. Предлагается, сохранив автоматный подход, использовать *UML*-нотацию при построении диаграмм в рамках SWITCH-технологии. При этом, с использованием нотации диаграмм классов языка *UML*, строятся схемы связей автоматов, определяющих их интерфейс, а графы переходов строятся с помощью нотации диаграммы состояний *UML*.

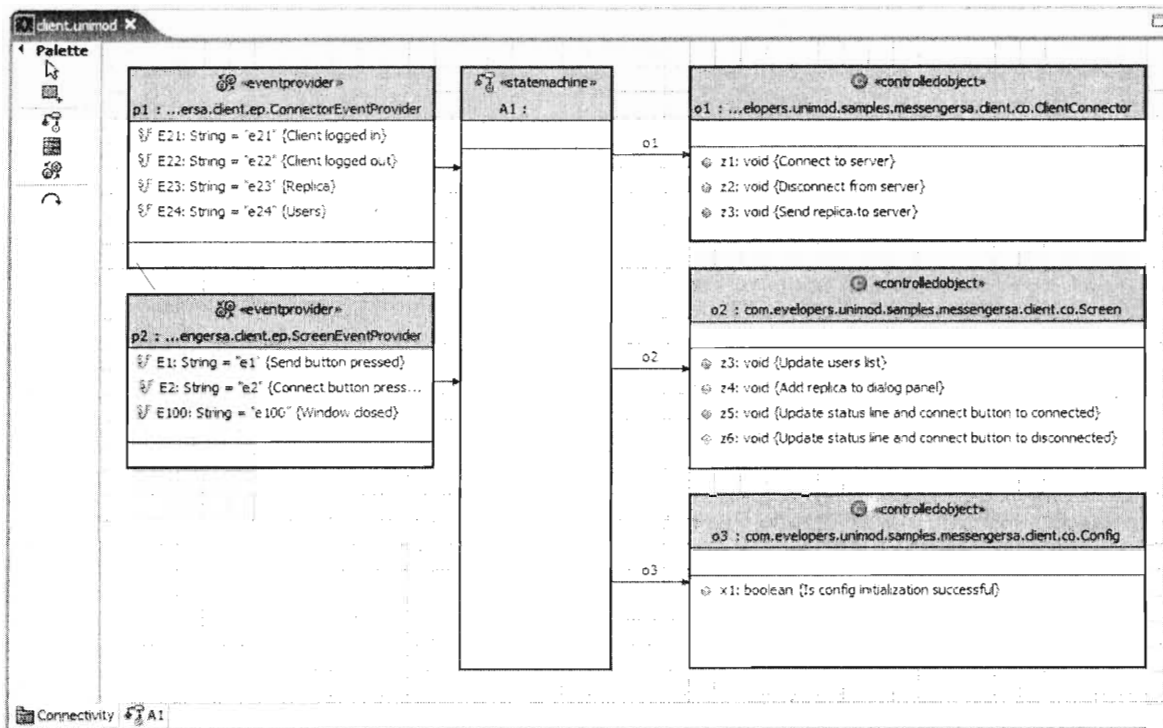
Предлагаемый процесс моделирования системы состоит в следующем.

1. На основе анализа предметной области разрабатывается концептуальная модель системы, определяющая сущности и отношения между ними.

2. В отличие от традиционных для объектно-ориентированного программирования подходов [13], из числа сущностей выделяются источники событий, объекты управления и автоматы. Источники событий активны – они по собственной инициативе воздействуют на автомат. Объекты управления пассивны – они выполняют действия по команде от автомата. Объекты управления также формируют значения входных переменных для автомата. Автомат активируется источниками событий и на основании значений входных переменных и текущего состояния воздействует на объекты управления, переходя в новое состояние.

3. С помощью нотации диаграммы классов строится схема связей автомата, задающая его интерфейс. На этой схеме слева отображаются источники событий, в центре – автоматы, а справа – объекты управления. Источники событий с помощью *UML*-ассоциаций связываются с автоматами, которым они поставляют события. Автоматы связываются с объектами, которыми они управляют.

4. Схема связей, кроме задания интерфейса автомата, выполняет функцию, характерную для диаграммы классов – задает объектно-ориентированную структуру программы.



■ Рис. 1. Пример схемы связей автомата

5. Каждый объект управления содержит два типа методов, реализующих входные переменные (xj) и выходные воздействия (zk).

6. Для каждого автомата с помощью нотации диаграммы состояний строится граф переходов типа Мура–Мили, в котором дуги могут быть помечены событием (ei), булевой формулой из входных переменных и формируемыми на переходах выходными воздействиями. В вершинах могут указываться выходные воздействия и имена вложенных автоматов. Каждый автомат имеет одно начальное и произвольное количество конечных состояний.

7. Состояния на графе переходов могут быть простыми и сложными. Если в состояние вложено другое состояние, то оно называется сложным. В противном случае состояние простое. Основной особенностью сложных состояний является то, что наличие дуги, исходящей из такого состояния, заменяет однотипные дуги из каждого вложенного состояния.

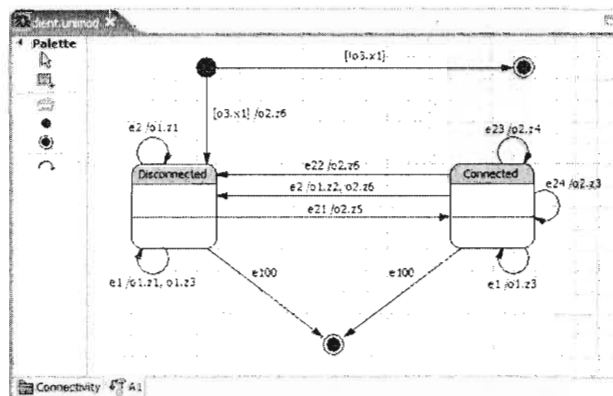
8. Все сложные состояния неустойчивы, а все простые, за исключением начального, – устойчивы. При наличии сложных состояний в автомате появление события может привести к выполнению более одного перехода. Это происходит в связи с тем, что сложное состояние является неустойчивым и автомат осуществляет переходы до тех пор, пока не достигнет первого из простых (устойчивых) состояний. Отметим, что если в графе переходов сложные состояния отсутствуют, то, как и в SWITCH-технологии, при каждом запуске автомата выполняется не более одного перехода.

9. Каждая входная переменная и каждое выходное воздействие являются методами соответствующего объекта управления, которые реализуются вручную на целевом языке программирования.

10. Использование символьных обозначений в графах переходов позволяет весьма компактно описывать сложное поведение проектируемых систем. Смысл таких символов задает схема связей. При наведении курсора на соответствующий символ на графе переходов во всплывающей подсказке отображается его текстовое описание.

11. На рис. 1 приведена схема связей автомата, а на рис. 2 – его граф переходов, построенные в UML-нотации описанным выше способом.

Зададим операционную семантику для модели системы:



■ Рис. 2. Пример графа переходов автомата

при запуске модели инициализируются все источники событий. После этого они начинают воздействовать на связанные с ними автоматы;

каждый автомат начинает свою работу из начального состояния, а заканчивает – в одном из конечных;

при получении события автомат выбирает все исходящие из текущего состояния переходы, помеченные символом этого события;

автомат перебирает выбранные переходы и вычисляет булевы формулы, записанные на них, до тех пор, пока не найдет формулу со значением true;

если переход с такой формулой найден, автомат выполняет выходные воздействия, записанные на дуге, и переходит в новое состояние. В нем автомат выполняет выходные воздействия, а также запускает вложенные автоматы;

если переход не найден, то автомат продолжает поиск перехода у состояния, в которое вложено текущее состояние;

при переходе в конечное состояние автомат останавливает все источники событий. После этого работа системы завершается.

Далее перейдем к описанию процесса создания инструмента моделирования, который будет поддерживать активный процесс разработки программ на его основе.

UniMod – пакет для автоматно-ориентированного программирования

Пакет *UniMod* обеспечивает разработку и выполнение автоматно-ориентированных программ. Он позволяет создавать и редактировать *UML*-диаграммы классов и состояний, которые соответствуют схеме связей и графу переходов, и поддерживает два типа реализации – на основе интерпретации и компиляции. В первом случае имеется возможность:

- преобразовывать диаграммы в формат *XML*;

- исполнять полученное *XML*-описание с помощью интерпретатора, созданного на основе набора разработанных базовых классов. Эти классы реализуют, например, такие функции, как обработка событий, сохранение текущего состояния, протоколирование. Во втором случае диаграммы непосредственно преобразуются в код на целевом языке программирования, который впоследствии компилируется и запускается.

Проектирование программ с использованием пакета *UniMod* предполагает следующий подход: логика приложения описывается структурным конечным автоматом, заданным в виде набора указанных выше диаграмм, построенных с использованием *UML*-нотации. Источники событий и объекты управления задаются кодом на целевом языке программирования.

При использовании языка Java источникам событий и объектам управления соответствуют классы. Для этого языка в пакете *UniMod* реализован интер-

претатор *XML*-описаний структурных конечных автоматов, которые пакет строит на основе указанных диаграмм. При запуске программы интерпретатор загружает в оперативную память *XML*-описание и создает экземпляры источников событий и объектов управления. Указанные источники формируют события и направляют интерпретатору, который обрабатывает их в соответствии с логикой, описываемой автоматом. При этом он вызывает методы объектов управления, реализующие входные переменные и выходные воздействия.

Компилируемый подход целесообразно применять для устройств с ограниченными ресурсами, например, для мобильных телефонов. Данный подход является типичным для «классической» *SWITCH*-технологии.

Реализация редактора диаграмм на платформе Eclipse

Инструмент для создания указанных диаграмм является встраиваемым модулем (*plug-in*) для платформы *Eclipse* (<http://www.eclipse.org>). Эта платформа обладает рядом преимуществ перед такими продуктами, как, например, *IntelliJ IDEA* или *Borland JBuilder*:

- является бесплатным продуктом с открытым исходным кодом;

- содержит библиотеку для разработки графических редакторов – *Graphical Editing Framework*;

- активно развивается фирмой IBM и уже сейчас обладает не меньшей функциональностью, чем упомянутые выше аналоги.

Для обеспечения процесса активной разработки программ на текстовых языках в перечисленных выше средствах разработки реализованы:

- подсветка семантических и синтаксических ошибок;

- автоматическое завершение ввода и автоматическое исправление ошибок;

- форматирование и рефакторинг [14] кода;

- запуск и отладка программы внутри среды разработки.

В английском языке эти возможности называются «code assist». При создании модуля для платформы *Eclipse* авторы перенесли указанные подходы на процесс редактирования диаграмм.

Проверка синтаксиса и семантики. Для текстовых языков программирования редакторы осуществляют проверку принадлежности программы к заданному языку и выделяют (подсвечивают) места в коде, содержащие синтаксические ошибки. К семантическим ошибкам для текстовых языков программирования относится, например, использование необъявленных переменных, вызовы несуществующих методов, некорректное приведение типов.

В стандарте на язык *UML* синтаксис и семантика диаграмм определяются набором ограничений, записанных на языке объектных ограничений (*Object*

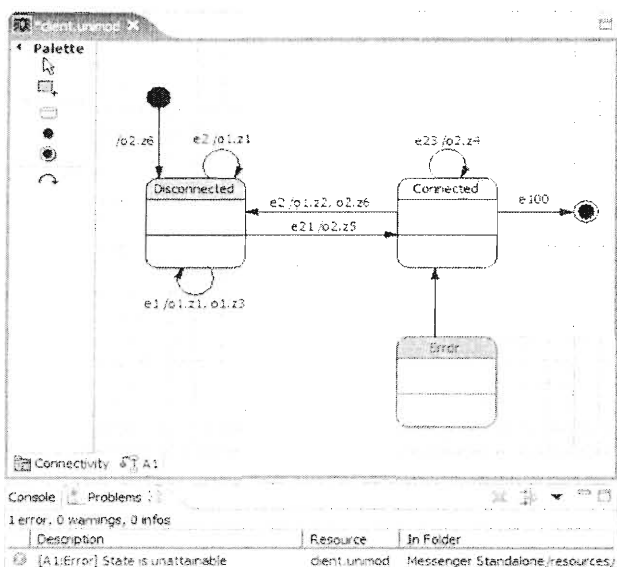


Рис. 3. Недостижимое состояние на графе переходов

Constraint Language). Данный набор ограничений должен удовлетворяться для любой правильно построенной диаграммы. Именно на этих ограничениях и основана проверка синтаксиса и семантики диаграмм.

Авторами предлагается расширить множество ограничений следующим образом:

все состояния на диаграмме состояний должны быть достижимы;

множество исходящих переходов для любого состояния должно быть полно и непротиворечиво. Это означает, что при обработке любого события не должно быть альтернативных переходов и хотя бы один переход должен выполняться.

Проверка корректности диаграмм происходит следующим образом. В фоновом режиме запускается процесс, который при любом изменении диаграммы проверяет ее на корректность. При нахождении ошибки некорректный элемент на диаграмме выделяется цветом. Так, на рис. 3 приведен пример диаграммы с недостижимым состоянием.

Автоматическое завершение ввода и автоматическое исправление ошибок. Традиционным автоматическим завершением ввода называется подход, благодаря которому среда по заданному началу лексемы определяет набор допустимых конструкций, префиксом которых данное начало является, и предлагает пользователю выбрать одну из них. Автоматическое исправление ошибок предполагает, что редактор для каждой найденной ошибки указывает пользователю варианты ее исправления.

В случае текстового редактора оба подхода основываются на знании грамматики языка и наборе семантических правил.

В предлагаемом графическом редакторе диаграмм в UML-нотации эти подходы реализованы авторами на базе ограничений, определенных стандартом языка UML и описанных выше дополнительных ограничений. Так, для недостижимого состояния,

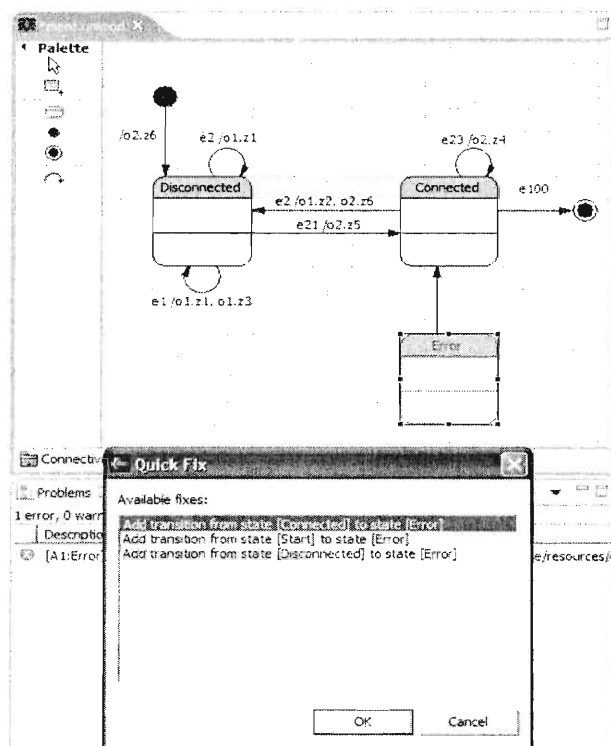


Рис. 4. Предлагаемые варианты исправления ошибки на диаграмме

представленного на рис. 3, пользователю будет предложено добавить переход в это состояние из любого достижимого (рис. 4).

Форматирование. Форматирование кода облегчает его чтение. Многие текстовые редакторы позволяют автоматически форматировать код.

Аналогом форматирования кода применительно к диаграммам, по мнению авторов, является их укладка (*layout*). Задача укладки диаграмм является существенно более сложной, чем форматирование кода, так как общепринятые эстетические критерии качества укладки отсутствуют. В проекте *UniMod* раскладка диаграмм осуществляется методом отжига [15].

Запуск программы. Для запуска программы, написанной на текстовом языке программирования, ее текст либо компилируется в код, исполняемый операционной системой (C++, Pascal) или виртуальной машиной (Java, C#), либо непосредственно исполняется интерпретатором (JavaScript, Basic).

Подобные решения доступны и для графического языка программирования. Например, для интерпретационного подхода при запуске диаграммы ее содержимое преобразуется в XML-описание, которое передается интерпретатору. Интерпретатор, в соответствии с операционной семантикой, изложенной выше, «выполняет» XML-описание. Это описание является изоморфным представлением содержимого диаграмм, и поэтому можно говорить о «запуске» диаграмм, как программ.

Отладка. Обычно, после локализации ошибки, отладка программ представляет собой трассировку

программного кода оператор за оператором с одновременным анализом значений переменных.

Для графической автоматной модели отладка – это трассировка графа переходов с анализом текущего состояния, событий и значений входных переменных. При необходимости возможна текстовая отладка кода выходных воздействий.

Библиотеки. Большинство существующих языков программирования поддерживают идеологию библиотек и каркасов (frameworks). Библиотека – программный модуль, реализующий функциональность в рамках некоторой предметной области. Каркас – это набор программных базовых сущностей из некоторой предметной области, уточняя и дополняя которые следует строить программу. Для текстовых языков библиотеки и каркасы, как правило, представляют собой скомпилированный код, подключаемый к программе в процессе ее компиляции (статические библиотеки) или во время исполнения (динамические библиотеки).

В рамках автоматного подхода в библиотеки и каркасы следует включать заранее скомпилированные источники событий и объекты управления. Опыт разработки показывает, что приложения, работающие в одной предметной области, различаются не столько выполняемыми атомарными действиями, сколько логикой выполнения этих действий. Этот факт позволяет надеяться, что, создав для некоторой предметной области библиотеку источников событий и объектов управления, при программировании приложений из этой предметной области можно будет полностью отказаться от написания кода на текстовом языке программирования.

Заключение

В статье излагается подход к созданию графического языка для автоматного-ориентированного программирования.

Этот подход позволяет:

сокращать объем кода на текстовом языке программирования;

отказаться от текстового программирования для некоторой предметной области при наличии библиотеки источников событий и объектов управления для нее;

строить предложенные в SWITCH-технологии схемы связей и графы переходов в UML-нотации диаграмм классов и диаграмм состояний, соответственно, и включать их в проектную документацию [16];

формально и наглядно описывать поведение программ и модифицировать их, изменяя в большинстве случаев только графы переходов;

упростить сопровождение проектов вследствие повышения централизации логики программ.

Исходные тексты, документация и примеры использования программного пакета *UniMod* представлены на сайте <http://unimod.sourceforge.net>.

Литература

1. Mellor S. et al. Executable UML: A foundation for model driven architecture. – MA: Addison-Wesley, 2002. – 258 p.
2. Буч Г., Рамбо Г., Якобсон И. UML. Руководство пользователя. – М.: ДМК, 2000. – 358 с.
3. Jacobson I. Four macro trends in software development Y2004. (<http://www.ivarjacobson.com/postnuke/html/modules.php?op=modload&name=UpDownload&file=index&req=getit&lid=9>).
4. Якобсон И., Буч Г., Рамбо Дж. Унифицированный процесс разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2002. – 458 с.
5. Kiczales G., Lamping J., Mendhekar A. et al. Aspect-oriented programming // In ECOOP'97 – Object-Oriented Programming. 11th European Conference, 1997. LNCS 1241. – P. 220–242. (<http://citeseer.ist.psu.edu/kiczales97aspectoriented.html>; русский перевод — по адресу <http://www.javable.com/columns/aop/workshop/02/>).
6. 1st european conference on model-driven software engineering. Germany, 2003. (<http://www.agedis.de/conference/>).
7. International Workshop «e-Business and Model Based in System Design». IBM EE/A. – СПб.: Spb ETU, 2004.
8. OMG Model Driven Architecture. (<http://www.omg.org/mda>).
9. Harel D., Gery E. Executable object modeling with statecharts. // In Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering, IEEE Computer Society Press, January 1996. – P. 246–257 (<http://citeseer.ist.psu.edu/harel97executable.html>).
10. XJTek AnyState. (<http://www.xjtek.com/anystates/>).
11. Шалыто А. А., Туккель Н. И. Танки и автоматы // ВУТЕ/Россия. – 2003. – № 2. – С. 69–73; (<http://is.ifmo.ru/>, раздел «Статьи»).
12. Шалыто А. А., Туккель Н. И. SWITCH-технология – автоматный подход к созданию программного обеспечения «реактивных» систем // Программирование. 2001. – № 5. – С. 45–62 (<http://is.ifmo.ru/>, раздел «Статьи»).
13. Грэхем И. Объектно-ориентированные методы. Принципы и практика. – М.: Вильямс, 2004. – 768 с.
14. Фаулер М. Рефакторинг. Улучшение существующего кода. – М.: Символ-Плюс, 2003. – 623 с.
15. Fruchterman T. M. J., Reingold E. M. Graph drawing by force directed placement. // Software – Practice and Experience. 1991. – № 21(11). – P. 1129–1164.
16. Шалыто А. А. Новая инициатива в программировании. Движение за открытую проектную документацию // PC Week/RE. 2003. – № 40. – С. 38–42.

УДК 621.382.26

О ПРОБЛЕМАХ ПРОТОКОЛОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

К. Р. Большаков,
ассистент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье рассматриваются проблемы разработки протоколов уровня приложений и причины возникновения этих проблем. Предлагается подход к механизму конструирования таких протоколов, нацеленный на преодоление указанных проблем.

This paper outlines current problems of development of application-level protocols in distributed systems. A review of issues and their corresponding causes is given. An approach to protocol construction is outlined that is aimed at overcoming these issues.

В условиях разнообразия известных и новых протоколов взаимодействия распределенных систем методы атаки на такие системы часто основываются не только на несовершенстве моделей безопасности самих систем, но и на недостатках протоколов взаимодействия, влекущих за собой зависимость от человеческого фактора. К таким недостаткам можно отнести различную интерпретацию данных, поступающих из сети, на разных уровнях стеков протоколов, отсутствие строгой типизации данных в сообщениях протоколов, синтаксические структуры без явно указанных длин. Использование конструкций сообщений, удобных для прочтения человеком (как, например, в протоколах, ведущих свое происхождение от HTTP [1]), приводит к неудобству их интерпретации на машинном уровне, что, в свою очередь, провоцирует ошибки программирования, влекущие появление уязвимостей. Реализации многих стеков протоколов имеют дефекты, не свойственные выбранному методу реализации и имеющие причиной ошибки системного программиста, сколько заложенным в саму структуру протоколов и системных библиотек недостатками и нечеткими спецификациями. Снижение производительности протоколов часто происходит за счет неоптимального метода кодирования данных.

Разработка протоколов и стеков протоколов уровня приложений обычно включает в себя этапы спецификации, реализации, тестирования и эксплуатации построенных на основе этих протоколов рас-

пределенных систем. Рассмотрим каждый из этапов, отметив, что основное внимание будет сконцентрировано на этапах спецификации и реализации.

На сегодняшний день активно развивающиеся протоколы часто разрабатываются не в закрытом режиме (одной стандартизационной организацией), а комитетами, куда входят поставщики программного обеспечения, либо сообществами, в которых выполняется работа по анализу и изменению черновых вариантов протоколов. Примером таких организаций могут служить рабочие группы IETF (Internet Engineering Task Force), разрабатывающие значительное число современных протоколов уровня приложений (но не ограничиваясь им). Как правило, и независимые разработчики (которые редко являются таковыми – даже университетские исследования финансируются корпорациями), и производители программного и аппаратного обеспечения, а также зависящие от них производители услуг в области телекоммуникаций весьма заинтересованы в скорейшем появлении на рынке продуктов, соответствующих новым стандартам. Не вдаваясь в рассмотрение мотивации, отметим, что одним из инструментов достижения цели широчайшего распространения новых протоколов является использование каких-либо старых протоколов в качестве базовых если не по семантике, то по синтаксису.

Примером такого заимствования синтаксиса и, отчасти, семантики некоторых операций может служить протокол SIP (Session Initiation Protocol) [2],

много перенявший у протокола HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Даже спецификация SIP содержит значительное число нормативных ссылок на спецификацию HTTP. Использование известных протоколов в качестве базы позволяет надеяться, во-первых, на ускоренную адаптацию разработчиков ПО, а во-вторых, на возможность повторного использования программных компонент, применяемых для работы с базовыми протоколами. Дополнительным критерием «простоты» часто служит «читаемость» двоичного представления нового протокола: возможность человека без использования специальных средств визуально воспринимать сообщения протокола. Заметим, что такой же подход свойственен и недавно принятому стандарту в области представления данных – XML [3].

Такой подход страдает несколькими недостатками. Во-первых, не принимаются во внимание многие недостатки базовых протоколов. Например, и у XML, и у HTTP наблюдается значительная избыточность представления как в структуре, так и в содержании информационных полей. В IETF даже была разработана группа стандартов SIGCOMP – стандарты по сжатию сообщений протоколов с неэкономным представлением сообщений. Во-вторых, отсутствие явной типизации полей, их переменная длина без ее явного указания и ориентированность на «читаемость» приводят к необходимости неоднократных преобразований содержимого информационных полей протоколов при их кодировании и декодировании (этот процесс называется «экранированием» – *escaping*). В-третьих, протоколы часто наследуют и нестройную структуру. В качестве примера можно привести принцип группирования заголовков в протоколе SIP: все заголовки, внутренняя структура которых представима в виде списка, могут группироваться через запятую внутри одного заголовка с тем же именем, и лишь четыре заголовка такого вида группироваться не могут. В этом примере видно, что протокол не только содержит правило, обоснование для которого существует лишь для меньшей части заголовков, но и содержит исключения из этого правила. В-четвертых, спецификация протокола декларирует цель уменьшения размера сообщений и, в связи с этим, вводит дополнительные однобуквенные обозначения для имен заголовков протокола, что приводит к вопросу о необходимости других представлений имен заголовков.

Кроме приведенных недостатков, синтаксическая структура с полями переменной длины без явного ее указания и вложенные синтаксические конструкции провоцируют ошибки при реализации протоколов, что было убедительно показано в работе [4]. Типичными ошибками для реализаций являются не только переполнения буферов и стеков [5], когда синтаксическая структура по вложенности, длине или повторяемости элементов превышает предусмотренные разработчиком пределы, но и переполнение памяти, что имеет место при использовании устройств с ограниченным ее объемом.

На этапе реализации проявляются как ошибки, упомянутые выше, так и нечеткость спецификации самих протоколов. Спецификация того же протокола SIP требует от читателя значительных усилий при своей интерпретации; в помощь тем, кто занимается реализацией этого протокола, даже организована рассылка, в которой создатели спецификации протокола помогают разработчикам программного обеспечения в интерпретации спецификации.

При реализации также проявляются проблемы системных и прикладных библиотек, например, работы со строками или выделением памяти. Некоторые стандартные библиотеки содержат функции, неосторожное применение которых может привести к перезаписыванию сторонних областей памяти.

Тестирование протоколов переключается с реализацией. Авторами исследования [4] были разработаны наборы тестов для некоторых распространенных протоколов, которые показали, что даже программное обеспечение, произведенное известными компаниями, страдает от проблем реализации и подвержено как атакам отказа в сервисе, так и захвату устройств и узлов, на которых выполняется это программное обеспечение. Некоторые из реализаций криптографически защищенных протоколов содержали уязвимости, связанные с недостаточной криптостойкостью использованных генераторов псевдослучайных чисел [6].

Эксплуатация протоколов предусматривает наличие процесса как введения поправок в уже существующие спецификации, так и добавления расширений. К сожалению, такой процесс часто начинается только после выпуска нескольких расширений, которые неортогональны друг другу, что сильно затрудняет их реализацию, и только после этого создаются рекомендации по разработке расширений [7].

Таким образом, требуется введение ряда мер, позволяющих разрабатывать безопасные приложения на основе существующих стандартов и обеспечивающих отсутствие указанных недостатков в спецификациях будущих протоколов, что важно для создания защищенных телекоммуникационных систем.

Для решения первой задачи существуют следующие методы защиты:

- стандартизация и сертификация библиотек криптографических примитивов, что позволяет гарантировать свойства реализаций криптографических примитивов, используемых в реализациях стеков протоколов;

- отказ от использования распространенных небезопасных библиотечных вызовов. В этом случае разработчик использует безопасные методы, что уменьшает число ошибок, происходящих из-за небрежного программирования;

- использование специальных средств защиты программного кода, например, компиляторов, проверяющих фрейм стека при возврате из вызова [8].

В некоторых случаях на этапе дизайна следует прибегать к формальной верификации проектируе-

мых реализаций с помощью, например, средств автоматической проверки моделей [9].

Вторая задача требует продуманности решения не только с точки зрения решаемых протоколом актуальных вопросов, но и с точки зрения последующих расширений. Одним из проработанных в смысле архитектуры подходов является расширяемое семейство протоколов на основе Абстрактной Синтаксической Нотации (АСН.1 [10]), адаптированных в Российской Федерации как ГОСТ Р ИСО/МЭК 8824-(1,2,3)-2001. Это семейство основано на формальных правилах преобразования в битовый поток последовательностей, описанных с помощью формальных синтаксических правил. Протокол не позволяет вводить новые типы данных, но использует тот же подход, что и многие языки программирования: новые типы данных конструируются из старых. Это позволяет однократное проектирование и реализацию модуля генерации и разбора сообщений протокола. Протокол использует строго типизированные данные и позволяет легко конструировать на своей основе новые протоколы, в том числе, с возможностью расширения. Двоичное представление сообщений протокола содержит либо указание на тип данных, имеющий фиксированную длину, либо длину элемента, варьирующегося в размере. Упаковка данных из внутреннего представления в двоичное производится достаточно экономным образом. Повсеместное введение АСН.1 как базы для разрабатываемых протоколов уровня приложений обеспечит как облегчение разработки будущих расширений, так и повышение качества реализаций стеков протоколов за счет унификации модулей работы с данными.

Литература

1. **Fielding R., Gettys J., Mogul J., Frystyk H.** and oth. Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. RFC 2616, June 1999 (<http://ietf.org/rfc/rfc2616.txt>).
2. **Rosenberg J., Schulzrinne H., Camarillo G.** and oth. SIP: Session Initiation Protocol. RFC 3261, June 2002 (<http://ietf.org/rfc/rfc3261.txt>).
3. **Yergeau F., Cowan J., Bray T.** and oth. XML 1.1. W3C Recommendation, February 2004. (<http://www.w3.org/TR/xml11>).
4. **Röning J., Laakso M., Takanen A., Kaksonen R.** PROTOS – systematic approach to eliminate software vulnerabilities. Invited presentation at Microsoft Research, Seattle, USA. May 6, 2002. (<http://www.ee.oulu.fi/research/ouspg/protos/sota/MSR2002-protos/index.html>).
5. **One Aleph.** Smashing the stack for fun and profit. Phrack Magazine. – 49. – Vol. 7. – issue 49. – file 14 (<http://www.phrack.org/phrack/49/P49-14>).
6. **Goldberg I., Wagner D.** Randomness and the netscape browser. Dr. Dobbs's Journal, January 1996. (<http://www.cs.berkeley.edu/~daw/papers/ddj-netscape.html>).
7. **Mankin A., Bradner S., Mahy R.** and oth. Change Process for the Session Initiation Protocol (SIP). RFC 3427, December 2002 (<http://ietf.org/rfc/rfc3427.txt>).
8. **Cowan C., Pu C., Maier D.** and oth. StackGuard: Automatic adaptive detection and prevention of buffer-overflow attacks. // Proceedings of 7th USENIX Security Conference. – 1998. – Texas, San Antonio. – P. 63–78.
9. **Holzmann G. J.** The Model Checker SPIN // IEEE Trans. on Software Engineering. – 1997. – 23(5) – P. 279–295.
10. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 8824-(1,2,3)-2001.** Абстрактная синтаксическая нотация версии один (АСН.1). Спецификация основной нотации. Спецификация информационного объекта. Спецификация ограничения.

УДК 621.391.28

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СЛЕДУЮЩЕГО ПОКОЛЕНИЯ

М. О. Колбанёв,

доктор техн. наук, доцент

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

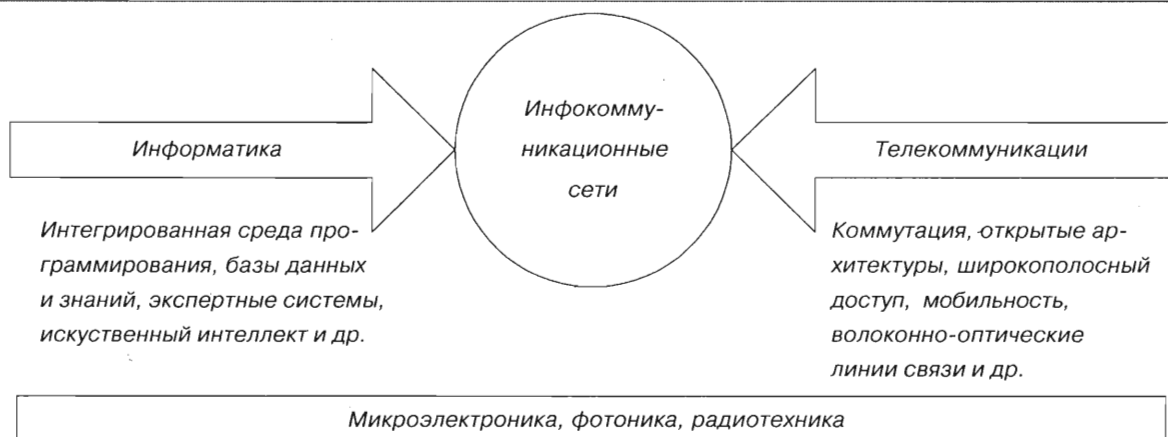
Рассматриваются принципы построения сетевых мультисервисных центров обработки информации и управления нового типа, которые представляют собой систему взаимосвязанных во времени и пространстве протокольных, вычислительных, алгоритмических и коммутационных средств и являются необходимым элементом инфокоммуникационных сетей следующего поколения.

Principles of construction of the network multiservice centers for information processing and management of new type are described in the paper. These centers represented by system of time and space connected protocol, computing, algorithmic and communication means, which are considered as a necessary elements of info communication networks of the next generation.

Необходимым условием формирования информационной инфраструктуры современного общества является создание инфокоммуникационных сетей (ИКС) следующего поколения, которые образуются за счет конвергенции информационных и телекоммуникационных технологий на базе достижений в области микроэлектроники, фотоники и радиотехники (рис. 1). Внедрение ИКС позволит создать техническую базу для построения глобального информационного пространства, изменить не только способ производства продуктов и услуг, но и формы организации досуга, воспитания и образо-

вания, окажет решающее воздействие на социальную структуру общества, экономику, политику, развитие общественных институтов.

В отличие от сетей предыдущего поколения, ИКС должна обеспечивать не только передачу информации между пользователями, но и доступ пользователей к информационным услугам и контенту, что меняет концепцию сетевого управления. Соответствующие процессы реализуют сетевые мультисервисные центры обработки информации и управления (ЦОУ) нового типа, которые представляют собой систему взаимосвязанных во времени и



■ Рис. 1. Конвергенция информационных и телекоммуникационных технологий

пространстве протокольных, вычислительных, алгоритмических и коммутационных средств и являются необходимым элементом ИКС независимо от сетевой архитектуры и принципа интеллектуализации сети. Характерными особенностями ЦОУ по сравнению с узлами и станциями традиционных сетей являются [1]:

увеличение сложности центров как объектов исследования, что связано с использованием распределенных архитектур управления, необходимостью реализации большого числа протоколов сигнализации и передачи информации, изменением характера поступающей нагрузки, более сложной и разнообразной логикой процедур предоставления информационных услуг, ужесточением требований к информационной безопасности и надежности;

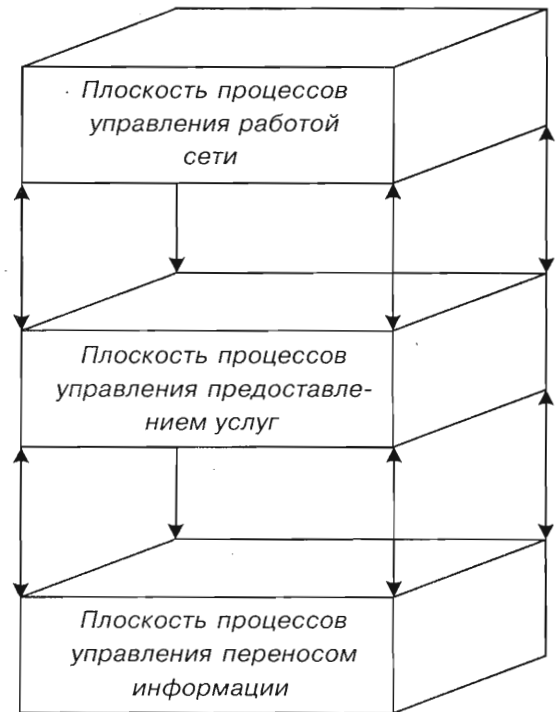
изменение критериев качества функционирования центров, которое теперь должно оцениваться по конечному результату предоставления пользователям инфокоммуникационных услуг, а не качеством работы отдельных подсистем;

расширение состава и изменение характера услуг, предоставляемых ИКС, что заставляет центры дополнительно решать широкий набор задач по управлению базами данных, экспертными системами, специальными интеллектуальными устройствами и ресурсами, обеспечивающими распознавание речи, синтез речи по тексту, передачу голосовых сообщений и т. п.;

повышение степени открытости центров, которые должны не только взаимодействовать с внешним окружением в соответствии со стандартными протоколами сигнализации и передачи информации, но и допускать изменение состава предоставляемых услуг в процессе эксплуатации и др.

На рис. 2 показаны три плоскости, между которыми разделяются процессы управления инфокоммуникационными сетями. Система административного управления: управление конфигурацией и наименованием; управление ошибочными ситуациями; управление производительностью и надежностью; управление безопасностью; управление учетом работы сети. Система управления предоставлением услуг: управление соединениями и вызовами; управление сетевыми ресурсами; управление сеансами связи; управление приложениями и их информационная поддержка. Система управления переносом информации: управление каналом доступа; управление элементами коммутации; управление путями доставки пакетов; управление интенсивностью входного потока; другие алгоритмы регулирования качества. Главная особенность организации этих плоскостей вытекает из концепции построения ИКС, суть которой состоит в ориентации на создание и предоставление пользователям инфокоммуникационных услуг.

Управление на верхней плоскости должно быть организовано таким образом, чтобы сетевой оператор имел возможность путем изменения программного обеспечения и сетевой конфигурации



■ Рис. 2. Плоскости управления

вводить новые услуги управления сетью, а также делегировать пользователям право воспользоваться этими услугами [2]. Под делегированной услугой управления при этом понимается возможность самостоятельного администрирования интересующих пользователя аспектов функционирования сети. Примером таких возможностей могут служить процессы [3]:

получения данных о неисправностях, качественных показателях функционирования сети, использовании сетевых ресурсов;

изменения конфигурации и наименования выделенной группы ресурсов;

получения рекомендаций по управлению трафиком;

сборки услуг в «пакеты» для определенных категорий пользователей;

получения детализированных данных о расчетах за предоставленные услуги.

Процессы управления второго уровня нацелены на предоставление пользователям таких услуг, которые предполагают автоматизированную обработку, хранение или предоставление по запросу информации с использованием вычислительной техники, как на входящем, так и на исходящем конца соединения. Эти услуги относятся к классу инфокоммуникационных, поскольку:

являются приложениями и предоставляются при помощи программного обеспечения, распределенного между оборудованием пользователя и специальных сетевых центров;

предполагают обработку и передачу мультимедийной информации в широком диапазоне скоростей при несимметричности исходящего и входяще-

го информационных потоков и гарантированном качестве обслуживания;

связаны с установлением мобильных и/или многоточечных соединений при помощи большого спектра протоколов сигнализации и сложной системы адресации;

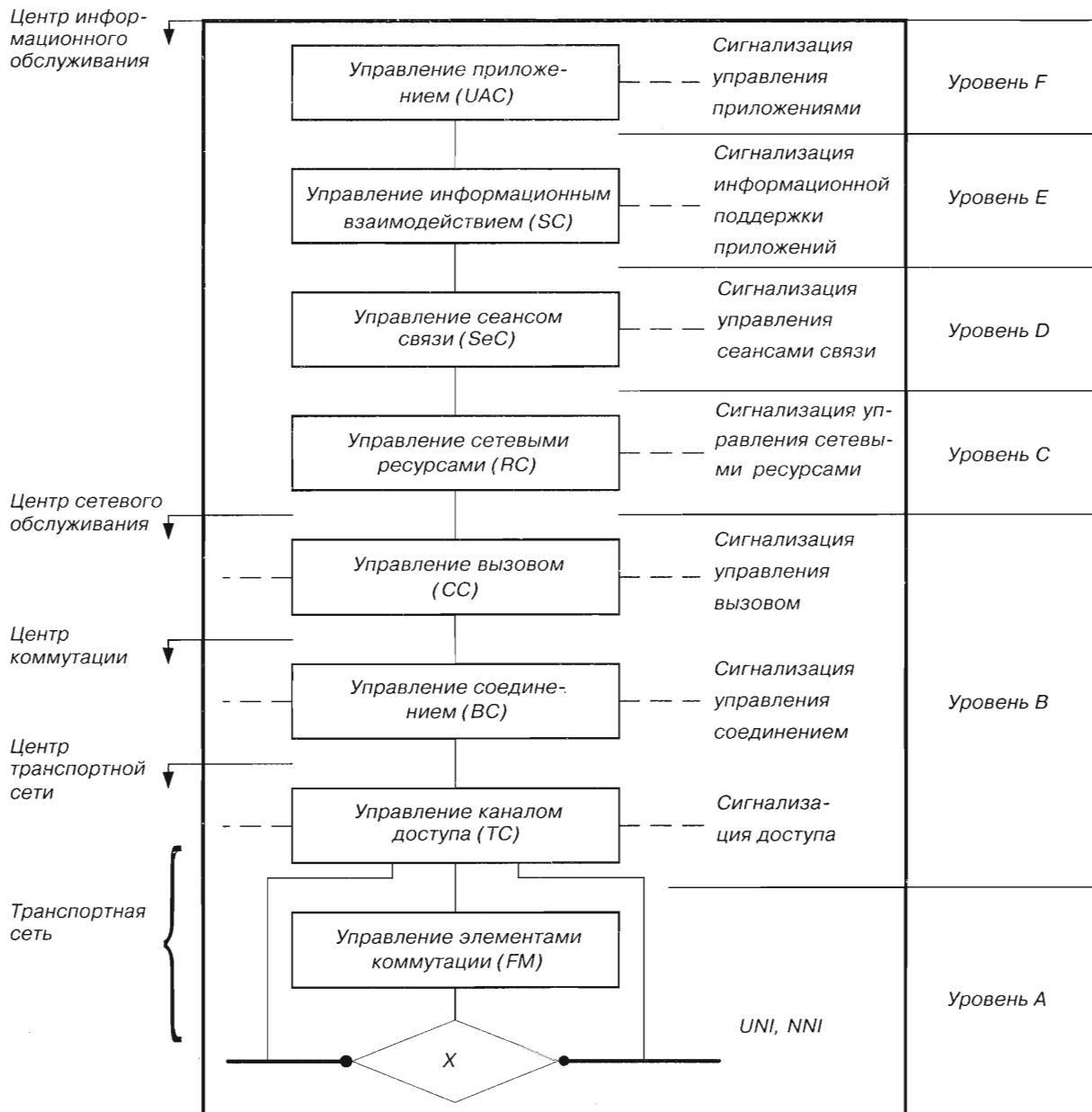
обеспечиваются в результате взаимодействия пользователей, операторов сетей связи, поставщиков услуг и контента, а также разнообразных информационных посредников;

могут создаваться в целом или фрагментарно не только участниками процесса предоставления услуг, но и самими пользователями.

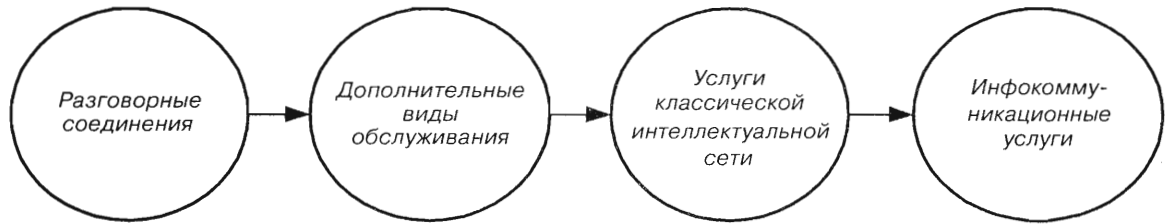
Нижняя плоскость объединяет процессы управления, которые связаны с услугами переноса информации между сетевыми центрами без какого-либо

анализа или обработки ее содержания. Режим управления здесь зависит от способа, используемого для переноса, и охватывает аспекты передачи, мультиплексирования и коммутации.

Каждая из плоскостей имеет уровневую архитектуру (рис. 3), ориентированную на предоставление и внедрение всего спектра инфокоммуникационных услуг. Выделяется шесть сервисных уровней: *A* – физический, *B* – сетевой, *C* – ресурсный, *D* – транспортный и сеансовый, *E* – поддержки приложений и *F* – приложений. На рис. 3 выделены подмножества функций, которые выполняются в процессе предоставления услуг центрами разных типов: информационного и сетевого обслуживания, коммутации, а также транспортной сети [4].



■ Рис. 3. Унифицированная функциональная архитектура плоскостей управления



■ Рис. 4. Этапы эволюции услуг сетей связи

Принципы построения ЦОУ существенно отличаются от принципов построения центров сетей связи предыдущих поколений и являются следствием состава и характера услуг, предоставляемых ИКС. Вектор развития услуг сетей связи, приведший к текущему состоянию, показан на рис. 4. Основными этапами эволюции здесь являются:

сети с электромеханическими центрами коммутации, услуги которых ограничиваются соединением однотипных абонентов по набранному номеру; сети на базе центров коммутации с программным управлением, предоставляющих широкий набор дополнительных видов обслуживания, направленных на ограничение связи, на обслуживание отсутствующих, занятых и разговаривающих абонентов, на организацию многоадресных соединений и др.;

классическая интеллектуальная сеть, в которой базовые функции коммутации отделены от дополнительных сервисов, что упрощает создание и внедрение новых услуг. Примерами предлагаемых здесь сервисов могут служить бесплатный вызов, виртуальная частная сеть, сокращенный набор, опрос общественного мнения, работа на дому, маршрутизация в зависимости от времени, телефонная конференция, универсальный номер и др.;

инфокоммуникационные сети, которые должны предоставлять инфокоммуникационные услуги при помощи мультисервисных ЦОУ [5].

Инфокоммуникационные услуги охватывают все стороны жизни человека и могут быть разделены на такие группы, как телемониторинг, теленавигация, телесигнализация, телеуправление, телеметрия, телемедицина, телеобучение, телебизнес, телеработа, телеофис, телеразвлечения и другие. Реализация некоторых услуг требует оснащения сетевых центров специальными, интеллектуальными устройствами и ресурсами, обеспечивающими распознавание речи, синтез речи по тексту, передачу голосовых сообщений и т. п.

На рис. 5 представлена классификация некоторых из известных инфокоммуникационных услуг с точки зрения требований к пропускной способности каналов связи и характера приложений. Для объективного ответа на вопрос о целесообразности использования технологии инфокоммуникационных сетей в таблице приводится оценка перспективности внедрения некоторых услуг [6].

Ни одна из существующих сетей связи не поддерживает предъявленный спектр услуг с учетом качества, конфиденциальности, гибкости и других

ВЫСОКАЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ					
Интерактивные	Точка-точка	Односторонние	Односторонние с доставкой по требованию	Многоточечные	Широковещательные
Видео-конференции	Дистанционная медицинская диагностика	Видеокаталог и покупки	Видео по требованию		ТВ
Видеофоны	Банкинг	Дистанционное обучение	Видео-плеер	Навигация	
	Веб-просмотр		Караоке	Доставка данных	Радио
	Электронная почта с приложениями	Издание цифровых газет	Аудио-плеер		
Телефония	Голосовая почта				
НИЗКАЯ СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ					

■ Рис. 5. Классификация услуг инфокоммуникационной сети

■ Перспективы внедрения инфокоммуникационных услуг

Услуги	Характерные примеры	Оценка	
		сегодня	в перспективе
Интерактивная речь	Телефония, аудиоконференция	Высокая	Высокая
Передача изображений в реальном времени	Факсимильная связь	Высокая	Низкая
Электронная почта (накопление и передача)	Телетекст, речевая почта, факсимильная почта	Низкая	Средняя
Обработка документов на базе услуг мультимедиа	WWW/Интернет, специализированные базы данных	Низкая	Высокая
Видео по требованию	Фильмы, новости, музыка, каналы по требованию	Низкая	Средняя
Услуги интерактивного обмена видеоинформацией	Видеотелефония, видеоконференции, игры, покупки, медицина, обучение	Низкая	Высокая
Совместная работа, поддерживаемая компьютерами	Работа на расстоянии, совместное редактирование и разработки	Низкая	Высокая
Подготовка программ для теле- и радиовещания	Подготовка программ	Низкая	Средняя
Распределение программ теле- и радиовещания	Телевещание, услуги с оплатой за просмотр или за канал	Средняя	Высокая
Распределенная обработка данных	Распределенное производство, управление в реальном времени, техобслуживание сетей связи	Низкая	Высокая
Поиск в реальном времени для систем с многоточечной конфигурацией	Видеонаблюдения, сбор новостей, изучение реального рынка, телеголосование	Низкая	Средняя

* Услуги, которые должны реализовываться в условиях жесткого времени.

требований пользователей, поэтому мультисервисность, выражающаяся в способности оказывать эти услуги, следует рассматривать как первый важнейший принцип построения ЦОУ.

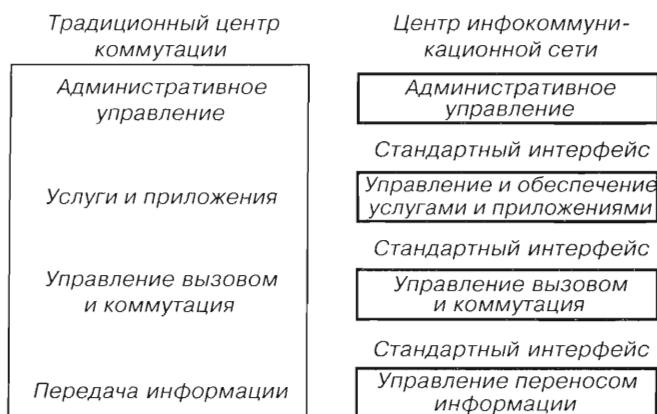
Необходимым условием реализации принципа мультисервисности является переход к распределенным архитектурам управления и пакетным технологиям коммутации.

Вектор развития архитектур управления сетевых центров иллюстрирует рис. 6. За первые сто лет существования сетей связи эти архитектуры прошли путь от полной централизации (ручные телефонные

станции) через полную децентрализацию (декадношаговые центры коммутации) до полной централизации на базе электронных управляющих машин аналоговых центров коммутации с программным управлением. Затем, при переходе к цифровым сетям, намечился обратный процесс децентрализации структуры управления. Для ЦОУ ИКС первостепенное значение имеет принцип построения управления в соответствии с распределенной архитектурой, которую следует понимать как в функциональном, так и в структурном смысле.



■ Рис. 6. Этапы развития архитектур управления



■ Рис. 7. Сравнение центров традиционной и инфокоммуникационной сетей

Функциональная распределенность означает, что в ЦОУ можно выделить четыре независимых с точки зрения реализации функциональных модуля, ответственных за процессы доставки информации, установление, поддержание и разрушение соединений, создание и предоставление информационных услуг и административное управление (рис. 7). Такой подход позволяет структурировать процедуры взаимодействия ЦОУ с внешним окружением и внедрять новые услуги и приложения путем модернизации аппаратного и программного обеспечения действующих модулей независимо от других модулей. Можно сказать, что концепция современной инфокоммуникационной сети должна развивать основную идею классической интеллектуальной сети, когда функции управления разделяются между отдельными модулями со стандартными интерфейсами между ними.

Распределенность аппаратных средств, с одной стороны, обеспечивает способность ЦОУ к масштабированию, что позволяет оказывать влияние на производительность, надежность и управляемость системы. С другой стороны, она позволяет адаптироваться к пространственной распределенности пользователей и объектов исполнительной системы, а также дает возможность уменьшить затраты и сократить время создания систем связи в результате применения универсальных технических и программных средств.

Распределенность системы управления и связанная с этим масштабируемость – второй базовый

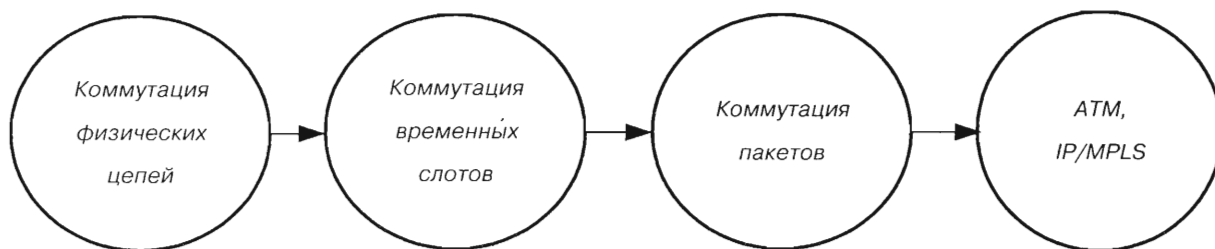
принцип построения ЦОУ инфокоммуникационных сетей.

Вектор эволюции технологий коммутации показан на рис. 8. Первые поколения сетевых центров использовали технологию коммутации каналов – сначала в форме коммутации физических цепей, затем в форме коммутации временных слотов. Ее основные недостатки – это низкий уровень использования сетевых ресурсов и сложные алгоритмы обмена управляющей (сигнальной) информацией. Этим недостатком лишена технология коммутации пакетов. Однако платой за высокую эффективность и упрощение алгоритмов сигнализации здесь являются негарантированное время и сложные алгоритмы управления переносом информации.

Технологии коммутации ИКС, реализуемые ЦОУ, занимают промежуточное положение и сочетают достоинства и недостатки технологий коммутации каналов и пакетов. С одной стороны, они тем или иным способом резервируют сетевые ресурсы для переноса пользовательской информации и таким образом гарантируют качество и/или упрощают процессы переноса информации. С другой стороны, они основаны на асинхронном режиме доступа к сетевым ресурсам, что позволяет увеличить и регулировать их использование. К числу таких технологий, в первую очередь, относятся протоколы ATM, а также протокол IP в сочетании с моделями интегрированного и дифференцированного обслуживания и связанными с ними методами резервирования ресурсов.

Появление новой технологии коммутации никогда не приводило к отмиранию прежней, поэтому ЦОУ должны функционировать в неоднородной программно-аппаратной среде и поддерживать большое число технологий коммутации и сигнальных протоколов. С каждым способом коммутации связаны определенный специфический процесс взаимодействия сетевых центров с внешним окружением и стандартизация этих процессов, которую применительно к ЦОУ инфокоммуникационных сетей следует понимать в четырех взаимосвязанных аспектах:

- 1) стандартные протоколы управления сетью;
- 2) стандартные протоколы сигнализации, которые дают возможность эффективно управлять процессами предоставления услуг;
- 3) разработка открытых интерфейсов для создания услуг и приложений;



■ Рис. 8. Этапы развития технологий коммутации

4) стандартизация протоколов доставки информации.

Вытекающие из рассмотренных эволюционных процессов принципы построения ЦОУ инфокоммуникационных сетей нового поколения являются главными факторами, на которых должны базироваться методы анализа ЦОУ ИКС.

Выводы

1. Развитие технологии построения систем связи и информатики, увеличение объемов передаваемой информации и пропускной способности сетевых ресурсов, изменение требований пользователей к качеству и содержанию информационного обслуживания привели к появлению нового сетевого объекта – мультисервисного сетевого центра обработки информации и управления, который в отличие от центров традиционных сетей выполняет широкий спектр функций, связанных не только с коммутацией, но и обработкой информации и предоставлением пользователям широкого спектра инфокоммуникационных услуг.

2. Базовые принципы построения ЦОУ – мультисервисность, масштабируемость и открытость – сформировались в процессе эволюции традиционных сетей связи в трех взаимосвязанных направлениях:

1) развитие функциональных возможностей от предоставления разговорных соединений через широкий спектр дополнительных видов обслуживания и выделенный интеллект классической интеллектуальной сети к инфокоммуникационным услугам нового поколения;

2) развитие архитектур управления сетевых центров от полной децентрализации через централи-

зацию функций управления к распределенной архитектуре управления современных сетевых центров;

3) развитие процедур взаимодействия сетевых центров с внешним окружением и стандартизация этих процедур в части систем сигнализации, протоколов передачи информации и интерфейсов для административного управления и создания услуг и приложений.

3. Исследование сетевых центров ИКС должно основываться на принципах системного анализа, что требует рассмотрения отдельных процессов обработки и доставки информации управления, с одной стороны, и процессов реализации информационных услуг, с другой, как взаимосвязанных этапов общего процесса инфокоммуникационного обслуживания пользователей.

Литература

1. Колбанёв М. О., Яковлев С. А. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. – СПб.: Изд. СПбГУ, 2002. – 230 с.
2. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России (<http://www.minsvyaz.ru/img/uploaded/2002020610512757.pdf>).
3. Князев К. Г. Системы управления сетями связи: источник новых качественных услуг // Вестник связи. – 2000. – № 1. – С. 26–29.
4. ИТУ-Т – Technical report TRQ.2001.
5. Кудрявцев А. В. Информационные услуги – новое направление развития «Электросвязи» // Сети и системы связи. – 2002. – № 5. – С. 35–41.
6. Крупнов А. Е. Современные телекоммуникационные технологии и услуги в России на рубеже XXI века (http://www.connect.design.ru/n3_97).

УДК 621.391

АНАЛИЗ НОВОГО ГИБРИДНОГО ПРОТОКОЛА МАРШРУТИЗАЦИИ ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОСИГНАЛА

А. В. Сергеев,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Предлагаемый в статье комбинированный протокол маршрутизации (CRP) для ad hoc-сетей предназначен для решения задач построения и поддержания маршрута в беспроводной сети без предварительной инфраструктуры. Для оценки эффективности работы нового протокола проводится его сравнение с другими, широко известными схемами маршрутизации (AODV, GPSR). Сравнение выполняется с использованием различных моделей распространения сигнала, учитывающих условия как городской застройки, так и пригородной зоны.

The proposed in the paper combined routing protocol (CRP) for ad hoc networks successfully solves the primary goals connected to the construction and route maintenance in a wireless network without a preliminary infrastructure. For an estimation of the new protocol work quality, it was compared with other, widely known circuits of routing (AODV, GPSR). The comparison is fulfilled with use of different models of signal distribution, taking into account city building conditions and residential areas conditions as well.

Введение

Беспроводные сети передачи данных, появившиеся в 70-х годах прошлого века как приложения для специальных и, главным образом, для военных задач, претерпевают сейчас бурное развитие. Причина этого – мощный рост и широчайшее распространение средств вычислительной техники и связи, позволившие значительно расширить сферу применения таких сетей.

Крупным подклассом беспроводных сетей являются *ad hoc-сети* (MANET – Mobile Ad Hoc NETWORKS) – сети без предварительной инфраструктуры, с изменяющейся из-за подвижности узлов топологией. Каждый узел в *ad hoc-сети* работает одновременно подобно конечной системе и маршрутизатору. Приложениями таких сетей являются различного рода телематические комплексы, системы управления движением, мобильные боевые системы и т. д. Ключевой задачей в *ad hoc-сетях* является задача маршрутизации.

Цель данного исследования – проведение анализа и оценка производительности нового комбинированного протокола (CRP), объединяющего возможности двух различных схем маршрутиза-

ции: 1) схем, использующих географическую информацию (таких, как GPSR); 2) алгоритмов, основанных на топологии сети (AODV). Сравнение проводится с использованием различных моделей распространения радиосигнала (2 Ray Ground, Shadowing, Walfish-Ikegami Pass Loss), имитирующих как открытое пространство, так и городские условия.

Интерес представляют относительно «плохие» условия средней плотности узлов в сети при их высокой подвижности.

Протоколы маршрутизации в ad hoc-сетях

Маршрутизация принадлежит сетевому уровню относительно семиуровневой ISO/OSI модели. В сетях с многократным переприемом, примером которых являются *ad hoc* сети, терминалы могут не иметь возможности для непосредственной связи друг с другом. Протоколы маршрутизации используются для обеспечения узлов информацией, необходимой для отправки пакетов следующему узлу на пути от источника до получателя по всем маршрутам. Согласно принятой классификации [1, 5], схемы маршрутизации в *ad hoc-сетях* делятся на три больших класса.

1. **Преактивные (Proactive).** Все узлы сохраняют представление всей сети. Информация о маршрутизации хранится в таблицах. Именно поэтому данный подход называют также табличным (table-driven).

2. **Реактивные (Reactive).** Известны также как инициализируемые источником по требованию (on demand). Этот тип протоколов устанавливает маршруты связи по запросу, только когда нужен путь до конечного узла. Одним из таких протоколов является AODV [2]. Для каждого объекта в сети таблицы маршрутизации содержат информацию о следующем узле на пути к узлу-получателю, временные метки и служебную информацию. Маршруты поддерживаются только в том случае, если они действительно используются. Во избежание заикливания и для подтверждения того, что маршрут действительно свежий, используются порядковые номера. AODV использует следующие типы пакетов: Приветственные сообщения, Запрос о маршруте связи (RREQ), Ответ о маршруте связи (RREP), Ошибка маршрута связи (RERR). Когда на узле появляется пакет данных для передачи, а путь до адресата не известен, инициируется широкоэвещательная передача сообщений RREQ всем «соседям». Маршруты, по которым следовал запрос, фиксируются на промежуточных узлах. Сообщения RREQ будут размножены через сеть во всех направлениях, пока не достигнут адресата или узла с достаточно свежим маршрутом, после чего по обратному пути от получателя к отправителю высылается сообщение типа RREP, устанавливающее на промежуточных узлах путь для последующей передачи пакетов данных. Основные проблемы протокола AODV заключаются в следующем:

разрывы в маршруте передачи данных приводят к потере пакетов данных или инициируют комплексную процедуру восстановления маршрута;

объем контрольного трафика растет с увеличением плотности и размера сети;

длинные маршруты слишком неустойчивы;

не поддерживаются множественные маршруты до узла-получателя.

3. **Маршрутизация на основе географической информации.** Предполагается, что все узлы оснащены приемниками системы мобильного позиционирования (GPS, ГЛОНАСС) и могут определить свое географическое положение. Между мобильными объектами в сети происходит постоянный обмен информацией о местоположении друг друга.

Представителем этого подкласса является протокол GPSR [3]. При использовании данного протокола узел-источник включает координаты узла-назначения в каждый передаваемый пакет. Промежуточные узлы принимают решение о дальнейшем направлении передачи (выбирают следующий узел), основываясь на координатах узла-назначения, содержащихся в пакете и координатах своих «соседей» (выбирается ближайший к узлу назначения «сосед» с точки зрения географического расстояния). Такой способ маршрутизации носит название «жадного» (Greedy mode).

В случае отсутствия узлов, более близких к получателю (основная проблема данного протокола), чем текущий узел, используется режим периметра (perimeter mode), основанный на обходе такого пустого пространства (void) по правилу правой руки.

«Проблема обхода периметра» является основной для всех схем, использующих «жадный» алгоритм маршрутизации, усугубляя и без того серьезные недостатки протокола GPSR:

маршруты становятся еще более неоптимальными и длинными;

из-за неэффективных маршрутов, непрерывного движения узлов и ограничений на время жизни пакета (TTL) вероятность его сбрасывания и удаления на промежуточных узлах возрастает;

эффективность протокола зависит от алгоритма планаризации графа сети.

Кроме того, узел-получатель может поменять свое местонахождение за время процесса передачи данных. GPSR не имеет средств для обновления этой информации во время установки маршрута, что, опять же, приводит к еще более длинным маршрутам и удалению пакета из-за ограничений на время его жизни. Таким образом, GPSR, по сути, «промахивается», полагаясь на данные от системы доставки географической информации, которая не согласована полностью с алгоритмом маршрутизации.

Комбинированный протокол маршрутизации

Создание эффективной комбинации реактивных и преактивных протоколов является одной из открытых проблем беспроводных ad hoc-сетей. Ставится задача на базе описанных выше протоколов (AODV и GPSR) создать новую, более эффективную схему маршрутизации. Основная идея предлагаемой схемы – использование протокола AODV как решение для «проблемы обхода периметра» GPSR. Формальное описание такого комбинированного протокола, названного Combined Routing Protocol (CRP), выглядит следующим образом.

ЕСЛИ возможно – используется GPSR в «жадном» режиме: передача пакетов «на лету» к ближайшему узлу, географически более близкому к получателю.

В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ – используется упрощенный AODV (без восстановления маршрута в случае разрыва), происходит прокладывание маршрута от текущего узла до получателя (вместо режима обхода периметра) с последующей передачей данных по нему.

Преимущества новой схемы маршрутизации в сравнении с двумя базовыми протоколами (GPSR и AODV):

1. Более стабильные маршруты в AODV-режиме. Это достигается путем уменьшения числа коммутаций и длины маршрутов за счет предварительного использования GPSR-режима. В результате для комбинированной схемы вероятность разрыва проложенного в AODV-режиме маршрута меньше, чем для обычного AODV:

$$P_{rb}(GPSR + AODV) < P_{rb}(AODV).$$

2. Быстрая передача данных между соседними узлами. Во многих случаях пакеты данных могут быть доставлены без использования режима AODV и механизмов установления маршрута (RREQ + RREP).

3. За счет предварительного использования GPSR установление AODV маршрутов происходит гораздо быстрее, так как эффективность широковещательной передачи RREQ пакетов в режиме AODV растет по мере приближения к узлу-получателю.

В отдельных случаях предлагаемая комбинированная схема может показывать худшие результаты по сравнению с базовыми протоколами. Причиной этого, в основном, являются усиленные наследственные «болезни» родительских протоколов. Скрещивание двух различных механизмов маршрутизации позволило получить целый ряд новых преимуществ, однако проблемы и «минусы» базовых схем во многом сохранились.

Ниже перечислены недостатки рассматриваемой гибридной схемы.

1. Маршруты до получателя могут включать циклы, что становится еще одной причиной появления неоптимальных маршрутов. Данная проблема получена в наследство от GPSR, в котором не предусмотрено никаких механизмов, предотвращающих заикливание маршрутов передачи (заиклиненные пакеты просто удаляются).

2. Режим AODV начинает работать только в случае провала «жадной» передачи GPSR; поэтому новой составной схеме требуется больше времени по сравнению со стандартным AODV для накопления информации о маршрутах в сети и заполнения маршрутных таблиц. Таблицы стандартного протокола AODV содержат более полную и актуальную информацию о сети.

3. В случаях, если пустая зона находится рядом с узлом-отправителем и при этом «жадный» GPSR-режим по какой-либо причине отказывает, эффективность составной схемы маршрутизации становится ниже, а вероятность появления цикла – выше.

Описание модели

На данный момент не известно ни одной общепринятой аналитической модели для оценки эффективности протоколов маршрутизации в ad hoc-сети. Поэтому исследования проводятся с помощью имитационного моделирования. Одним из наиболее известных и широко используемых пакетов для моделирования компьютерных сетей является симулятор Network Simulator 2 (ns-2) – дискретный симулятор, предназначенный для моделирования различных видов сетей, в том числе и беспроводных.

Основными параметрами модели ad hoc-сети являются:

параметры среды, в которой распространяется сигнал;

линейные размеры области, на которой находится моделируемая сеть;

■ Основные параметры модели

Число узлов	Размер сети, м	Время остановки, с	Размер пакета, байт	Трафик	Длительность эксперимента, с
30	1000 × 1000 550 × 550	40	512	CBR	500

количество узлов, участвующих в эксперименте; параметры мобильности узлов; параметры трафика; время эксперимента; протокол маршрутизации; протокол доступа к среде.

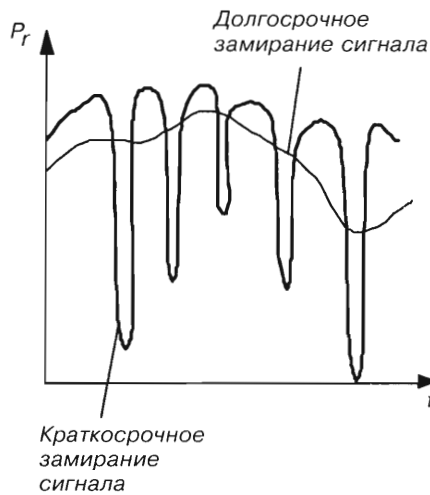
Реализация протокола AODV включена в состав ns-2, протокол GPSR был реализован Е. Линским [4] и А. Комратовым, протокол CRP – автором. Используемая модель (таблица) описывает множество мобильных узлов, передвигающихся по равнине без препятствий. Узлы передвигаются в соответствии с моделью случайных контрольных точек (random waypoint model) [5]: узел случайным образом выбирает конечную точку и скорость из некоторого диапазона и начинает двигаться согласно выбранным параметрам. После достижения конечной точки узел останавливается на заданный период времени и процесс начинается сначала. Время остановки характеризует степень мобильности узлов. Обмен пакетами происходит по протоколу UDP, протокол доступа к среде – 802.11.

Для работы протоколов GPSR и CRP необходимо наличие сервиса географических координат, который снабжал бы узел-отправитель координатами узла-назначения. При моделировании была использована идеальная модель данного сервиса. С учетом данного допущения, можно утверждать, что полученные результаты для GPSR и CRP соответствуют минимально возможному объему служебных сообщений.

Модели распространения радиосигнала

Распространение сигнала от источника до получателя можно представить в виде суммы сигналов, дошедших по разным путям от передающей до приемной антенны. Такое распространение называется многолучевым. Радиоволны приходят в точку приема в результате многократного переотражения от зданий и других объектов. Трасса распространения радиоволн, как правило, нестационарна, что связано как с изменением положения самого передатчика, так и с перемещением окружающих объектов (автомобилей, людей), в результате чего на приемном конце наблюдаются замирания сигнала (рис. 1). Радиоволны в подобных условиях подвержены воздействию следующих эффектов:

экранирование;
отражение от крупных объектов;



■ Рис. 1. Принимаемая мощность сигнала в зависимости от времени

преломление в зависимости от плотности среды прохождения;
 рассеивание из-за небольших препятствий;
 дифракция на углах;
 фединг и т. д.

Многочувное распространение приводит к тому, что в точке приема наблюдаться сигналы с различными временными задержками. Накладываясь один на другой, они могут приводить к заметному искажению исходного сигнала и межсимвольной интерференции (рис. 2).

Большая часть указанных эффектов может быть описана на приемной стороне следующими основными характеристиками:

- потери при распространении (pass loss);
- замираниями, связанными с многочувным распространением (multipath);
- затенением или экранированием (shadowing);
- интерференцией (interference).

Для моделирования условий среды распространения радиоволн были использованы следующие модели.

1. Модель двулучевого отражения от плоской поверхности Земли (Two Ray Ground). Имитирует распространение сигнала в пригородной зоне [1].

2. Модель затенения (Shadowing). Используется для моделирования городских условий [1, 5].

3. Модель затухания (Pass Loss) совместно с моделью Уолфиша-Икегами. Используется для моделирования городских условий [6].

Модель двулучевого отражения от поверхности Земли (Two Ray Ground). При распространении радиоволн в пригородной зоне для расчета радиотрасс на свободных от строений пространствах могут быть использованы так называемые отражательные формулы, согласно которым электромагнитное поле в точке приема может быть представлено в виде суммы прямой волны и волны, отраженной от поверхности Земли. В этом случае уравнение для вычисления принятой мощности сигнала выглядит следующим образом:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} P_t$$

где P_t – мощность передатчика; G_t и G_r – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; d – расстояние между приемником и передатчиком; h_t и h_r – высоты антенн приемника и передатчика.

Однако использование данной формулы на малых расстояниях между узлами дает не очень хорошие результаты. Поэтому используется так называемое *перекрестное расстояние*

$$d_c = (4\pi h_t h_r) / \lambda,$$

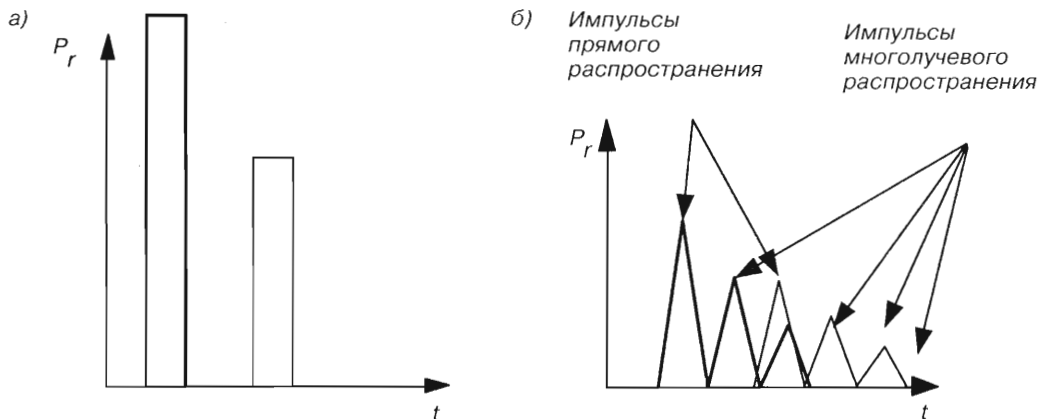
а мощность принятого сигнала в зависимости от расстояния d между узлами выглядит следующим образом.

Если $d > d_c$, то используется уравнение для модели отражения от плоской поверхности Земли:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L} P_t.$$

Если $d \leq d_c$, то используется модель распространения сигнала в свободном пространстве, которая предполагает идеальные условия распространения сигнала по единственному пути от передатчика к приемнику:

$$P_r(d) = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d L} \right)^2 P_t, \tag{1}$$



■ Рис. 2. Результат многочувного распространения: а – сигнал на передатчике; б – сигнал на приемнике

где λ – длина волны.

Модель затенения (Shadowing). Двухлучевая модель вычисляет принимаемую энергию сигнала как детерминистскую функцию от расстояния, а область связи представляется идеальным кругом. В реальных условиях принимаемая мощность сигнала является случайной величиной вследствие эффектов многолучевого распространения и экранирования. Для моделирования городской среды часто используется широко известная модель затенения, состоящая из двух частей.

Первая часть вычисляет среднюю принимаемую энергию $\overline{P_r(d)}$ на расстоянии d , учитывая потери при распространении сигнала. Для этого используется расстояние ближнего радиуса d_0 ; $\overline{P_r(d)}$ вычисляется относительно $P_r(d_0)$ следующим образом:

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0} \right)^\beta, \quad (2)$$

где β – экспонента потерь при распространении, вычисляемая обычно эмпирически путем.

Из уравнения (2) видно, что для случая прямой видимости $\beta = 2$ и $P_r(d_0)$ может быть вычислено из уравнения (1). При пересчете величины потерь сигнала при распространении в децибелах получается следующее уравнение:

$$\left[\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} \right]_{db} = -10\beta \log \left(\frac{d}{d_0} \right). \quad (3)$$

Вторая часть модели затенения описывает колебания принимаемой энергии из-за возможного изменения пространственного положения передатчика или окружающих объектов. Данное явление моделируется с помощью случайной распределенной по логарифмически нормальному закону величины.

В целом, модель затенения задается следующим образом:

$$\left[\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} \right]_{db} = -10\beta \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{db}, \quad (4)$$

где X_{db} – гауссовская случайная величина, со средним, равным нулю и среднеквадратичным отклонением σ_{db} . Последнее носит название *разброс экранирования*. Таким образом, вместо идеально круглой зоны приема используется гораздо более реалистичная для городских условий модель – узлы с некоторой вероятностью могут создавать и поддерживать соединение друг с другом.

Модель трассировки потерь при распространении (Pass Loss Ray Tracing Model). В данной модели для вычисления мощности сигнала, излучаемого из одной точки, а принятого в другой, используются предварительно вычисленные или измеренные значения *потерь при распространении (PL, Pass Loss)*. Карта разбивается на сегменты одинакового размера, а затем в каждой ячейке сохраняется значение *величины потерь* сигнала от этой до всех остальных ячеек карты. Таким образом, эта величина (учитывающая одновременно затухание сигнала и эффект экранирования) известна для любой пары передатчик–приемник, расположенных в любой точке карты.

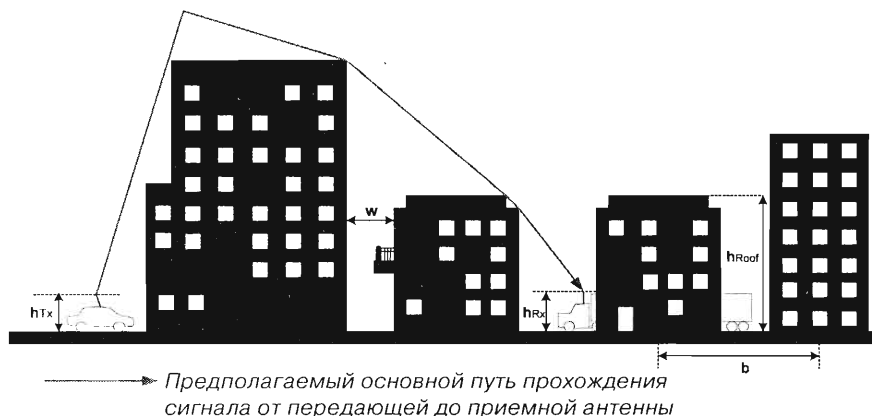
Сами значения предварительно вычислены с помощью любой модели распространения или измерены на реальной местности только один раз, а затем могут быть многократно использованы с любыми сценариями движения и трафика.

Величина принимаемой мощности сигнала в децибелах вычисляется простейшим уравнением

$$P_r = P_t - PL.$$

Вследствие вышесказанного, модель отличается высоким быстродействием, но крайне требовательна к оперативной памяти вычислительной системы. Так как величина затухания сигнала при распространении от передатчика к приемнику равна величине затухания при обратном распространении, то требуемый объем используемой памяти можно оценить как

$$([MapHeight^2 \cdot MapWidth^2] / 2 \cdot [SegmentSize^4]) + MapHeight \cdot MapWidth \text{ Byte.}$$



■ Рис. 3. Основной путь распространения радиосигнала и параметры модели Уолфиша-Икегами

В данной работе значения потерь при распространении для каждого сегмента карты были получены с помощью эмпирической модели Уолфиша-Икегами (Walfisch-Ikegami) [6].

Модель Уолфиша-Икегами. Данная модель относится к классу эмпирических и, по заявлению создателей, обладает достаточно высокой точностью при моделировании радиопередач в городских условиях. Модель утверждает (рис. 3), что в условиях города с относительно невысокой, но плотной застройкой основным путем распространения радиосигнала (в случае отсутствия прямой видимости между узлами) является путь, проходящий через крыши зданий (которые могут быть описаны как серии последовательных экранов), сопровождаемый многократным рассеиванием.

Основные параметры, используемые в модели: частота передачи (f); высота передающей антенны (h_{RX}); высота приемной антенны (h_{TX}); расстояние между приемником и передатчиком (d); средняя высота зданий (h_{Roof}); средняя ширина улиц (w); средний интервал между зданиями (b).

Энергия принимаемого сигнала зависит от того, где находится передатчик по отношению к приемнику.

1. В зоне прямой видимости («line of sight», LOS). Для вычисления величины потерь при распространении используется относительно простая формула

$$PL_p = 42,6 + 26 \cdot \lg\left(\frac{d}{km}\right) + 20 \cdot \lg\left(\frac{f}{MHz}\right).$$

2. Вне зоны прямой видимости («none line of sight», NLOS).

Этот случай более сложен. Значение, на которое уменьшается мощность принимаемого сигнала при прохождении пути от источника к получателю, задается следующей формулой:

$$PL_p = \begin{cases} l_0 + I_{rts} + I_{msd} & I_{rts} + I_{msd} > 0, \\ l_0 & I_{rts} + I_{msd} \leq 0, \end{cases}$$

где l_0 – потери при распространении в свободном пространстве, без препятствий,

$$l_0 = 32,44 + 20 \cdot \lg\left(\frac{f}{MHz}\right) + 20 \cdot \lg\left(\frac{d}{km}\right);$$

I_{rts} – потери на стороне получателя, вызванные рассеиванием радиосигнала при отражении от поверхности «конечной» улицы, на которой находится приемник,

$$I_{rts} = -16,9 - 10 \cdot \lg\left(\frac{w}{m}\right) + 10 \cdot \lg\left(\frac{f}{MHz}\right) + 20 \cdot \lg\left(\frac{h_{Roof} - h_{RX}}{m}\right) + I_{Ori};$$

где w – ширина дороги, h_{Roof} – высота зданий, h_{RX} – высота антенны на стороне получателя; параметр

I_{Ori} – по сути, эмпирическая поправка, получаемая путем реальных измерений на местности:

$$I_{Ori} = \begin{cases} -10 + 0,354 \frac{\varphi}{deg} & \text{for } 0^\circ \leq \varphi \leq 35^\circ \\ 2,5 + 0,075 \left(\frac{\varphi}{deg} - 35\right) & \text{for } 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ \\ 4,0 + 0,114 \left(\frac{\varphi}{deg} - 35\right) & \text{for } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ, \end{cases}$$

где φ – ориентация дороги по отношению к пути распространения сигнала; I_{msd} – оценка величины потерь, вызываемых многократным переотражением и рассеиванием радиосигнала от крыш домов (впервые опубликована Уолфишем и Бартоном);

$$I_{msd} = I_{bsh} + k_a + k_d \cdot \lg\left(\frac{d}{km}\right) + k_f \cdot \lg\left(\frac{f}{MHz}\right) - 9 \cdot \lg\left(\frac{b}{m}\right),$$

$$\text{где } I_{bsh} = \begin{cases} -18 \cdot \left(1 + \frac{h_{TX} - h_{Roof}}{m}\right), & h_{TX} > h_{Roof}, \\ 0, & h_{TX} < h_{Roof}; \end{cases}$$

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_{TX} > h_{Roof}, \\ 54 - 0,8 \frac{h_{TX} - h_{Roof}}{m}, & d \geq 0,5km, h_{TX} \leq h_{Roof}, \\ 54 - 0,8 \frac{h_{TX} - h_{Roof}}{m} \cdot \frac{d/km}{0,5}, & d < 0,5km, h_{TX} \leq h_{Roof}; \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_{TX} > h_{Roof}, \\ 18 - 15 \cdot \frac{h_{TX} - h_{Roof}}{h_{Roof} - h_{TX}}, & h_{TX} < h_{Roof}; \end{cases}$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0,7 \cdot \left(\frac{f/MHz}{925} - 1\right) & \text{для пригородных условий,} \\ 1,5 \cdot \left(\frac{f/MHz}{925} - 1\right) & \text{для города с плотной застройкой.} \end{cases}$$

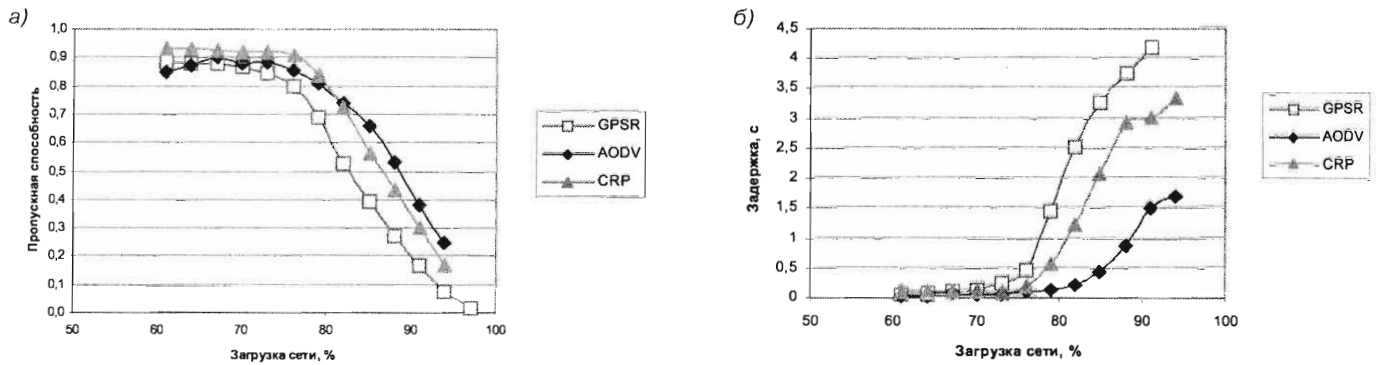
Параметры k_d и k_f определяют зависимость величины потерь при распространении от частоты сигнала и рассеивания при прохождении через последовательные экраны. Увеличение потерь при уменьшении высоты антенны по отношению к средней высоте окружающих зданий задается параметром k_a .

Результаты моделирования

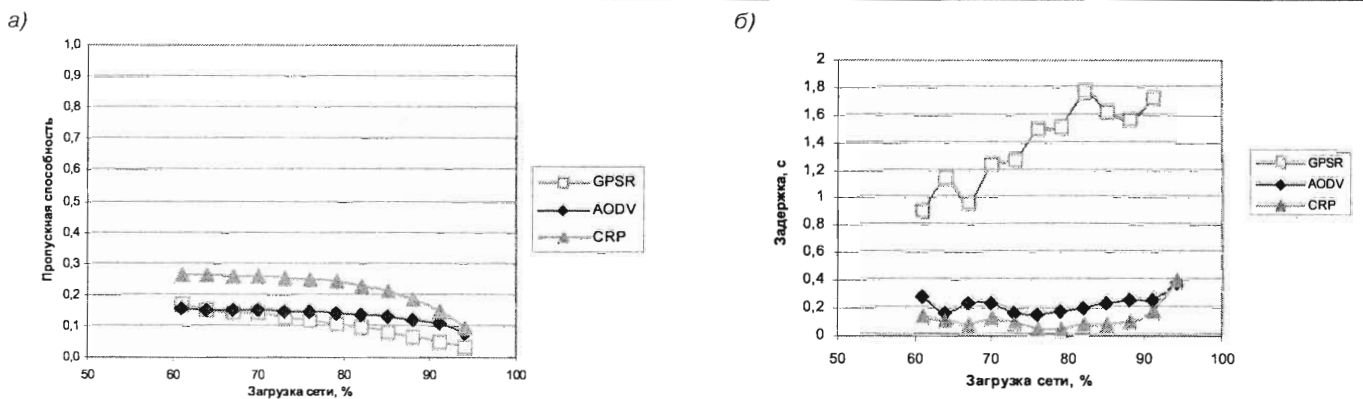
Сравнение производительности протоколов производилось по следующим величинам.

1. Средняя пропускная способность (throughput). Измерялась как отношение количества пакетов с данными, достигших узла назначения, к общему количеству передаваемых пакетов.

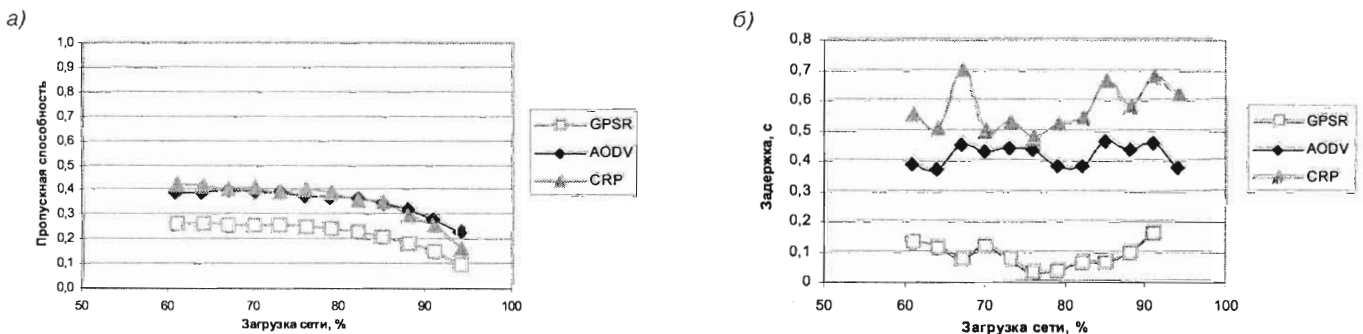
2. Средняя задержка пакета с данными (packet delay). Определяется как промежуток времени, который проходит с момента генерации пакета данных узлом-отправителем до момента его приема узлом-получателем.



■ Рис. 4. Средняя пропускная способность (а) и средняя задержка (б) для сети из 30 узлов в топологии 1000×1000 м: модель двулучевого отражения



■ Рис. 5. Средняя пропускная способность (а) и средняя задержка (б) для сети из 30 узлов в топологии 1000×1000 м: модель Затенения ($\beta = 3, \sigma = 4$)



■ Рис. 6. Средняя пропускная способность (а) и средняя задержка (б) для сети из 30 узлов в топологии 550×550 м (сценарий Манхеттен): модель трассировки совместно с моделью Уолфиша-Икегами

Измерения производились для значений загрузки сети от 97 до 60 % от пропускной способности канала, так как при меньшей загрузке значения оцениваемых параметров различных протоколов выравниваются. Результаты моделирования представлены на рис. 4–6.

Для модели двулучевого распространения лучшие результаты по средней задержке и пропускной способности при высокой загрузке сети демонстрирует протокол AODV. Если путь до адресата существует, то он будет найден, а маршруты, построенные этим протоколом, наиболее оптимальны. Са-

мая большая задержка при большом уровне трафика наблюдается у протокола GPSR. Причина этого – крайне неоптимальные маршруты, создаваемые этим протоколом.

Преимущества гибридной схемы маршрутизации начинают сказываться при малом и среднем (< 85 %) уровне загрузки сети. Такие результаты объясняются наличием двух режимов передачи пакетов данных: в случае большой плотности сети вокруг ретранслирующего узла используется передача «на лету» в GPSR-режиме, а при наличии пустых зон используются маршруты, прокладываемые AODV.

В случае использования модели Затенения, имитирующей «жесткие» городские условия, преимущества комбинированной схемы проявляются сильнее, а протокол CRP показывает наилучший результат для обоих оцениваемых параметров, выигрывая у протокола AODV.

Протокол GPSR в условиях города, когда число возможных маршрутов между узлами очень мало, работает крайне неудовлетворительно. Передача «на лету» не дает возможности определить верный маршрут (часто единственный) между источником и получателем. Ситуация невозможности дальнейшей перепосылки пакетов данных на промежуточных узлах является очень частой. Так как циклы и передача в обратном направлении не поддерживаются, то GPSR вынужден преждевременно удалять эти пакеты, что и объясняет небольшие значения средней задержки для данного протокола.

Моделирование городских условий с использованием предвычисленной (с помощью модели Уолфиша-Икегами) карты потерь при распространении

показывает похожие, в сравнении с приведенными выше, результаты для протоколов AODV и CRP по пропускной способности. При этом среднее время доставки пакетов при маршрутизации по AODV меньше, чем у CRP.

Выводы

Проведенный в работе анализ производительности нового комбинированного протокола маршрутизации в ad hoc-сетях (CRP) показал следующее.

1. Вне зависимости от условий распространения радиосигнала (город, пригород и т. п.) протокол CRP эффективно решает проблему периметра GPSR.

2. Протокол демонстрирует хорошие показатели средних пропускной способности и задержки при передаче пакетов по сравнению с базовыми схемами (AODV, GPSR) при любой степени загрузки сети.

Для некоторых моделей распространения CRP сильно выигрывает по приведенным показателям у этих протоколов.

Литература

1. Perkins C. E. Ad hoc Networks. – Addison-Wesley, 2001. – 384 с.
2. Perkins C. E., Royer E. M. Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing // Proceedings of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, February 1999. – С. 80–100
3. Karp V., Kung H. T. Greedy perimeter stateless routing for wireless networks // In Proc. of the 6th Annual ACM/IEEE Int.

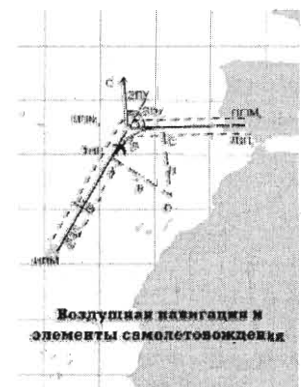
Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000). (<http://www.eecs.harvard.edu/~karp/gpvs-mobicom2000.ps>).

4. Линский Е. М. Сравнение производительности протоколов маршрутизации для ad hoc-сетей // Вторая конференция БИКАМП. – СПб.: СПбГУАП, 2001. – С. 197–200.
5. Tanenbaum A. S. Computer Networks Prentice-Hall 3rd edition, 1996. – 912 с.
6. Ikegami F. et. al. Theoretical Prediction of Mean Field Strength on Urban Streets // IEEE Trans. Ant. and Prop. – Vol. 32, N 8, 1984.

В. Я. Мамаев, А. Н. Синяков, К. К. Петров, Д. А. Горбунов
Воздушная навигация и элементы самолетовождения: Учеб. пособие /
СПб.: СПбГУАП, 2002. – 256 с.: ил. ISBN 5-8088-077-3

Учебное пособие является усеченной бумажной версией электронного учебного пособия и содержит основной теоретический материал предметной области – воздушной навигации. Оно предназначено для самостоятельного изучения дисциплины, снабжено тестовыми заданиями и контрольными задачами, обеспечивающими самоконтроль приобретенных знаний.

Предназначено для студентов и курсантов авиационных специальностей вузов.



УДК 681.327.8

УГЛУБЛЕННАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА ПОДГОТОВКИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Б. Я. Советов,

доктор техн. наук, профессор

В. В. Цехановский,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

На основе анализа различных форм, видов и направлений подготовки ИТ-образования даются рекомендации по дальнейшей модернизации образования в данной области в связи с подписанием Болонской конвенции и переходом российского образования на трехступенчатую систему подготовки специалистов.

On the basis analysis of various forms, kinds and directions preparation of IT-education recommendations for the further modernization of education in the given area are given in connection with signing Baloney convention and transition of our education to 3 step system of preparation experts.

Подписание Болонской конвенции означает переход российского образования на трехступенчатую систему подготовки специалистов: сначала присваивается квалификация бакалавра (не менее четырех лет обучения), затем квалификация магистра (еще не менее двух лет) и заключительная – квалификация доктора философии. Один из принципов Болонского процесса провозглашает совместимость квалификации на доступном и послестепенном уровнях. При этом первая степень должна вести к возможности занятости на рынке труда или быть подготовительной ступенью для дальнейшего обучения на послестепенном уровне.

При переходе к Болонскому процессу необходимо учитывать специфику отечественного образования. Основное отличие его от европейского заключается в том, что оно является профессиональным и дает возможность после окончания вуза заниматься профессиональной деятельностью. Потребность в выпуске специалистов в области информационных технологий будет возрастать, так как к 2025 году прогнозируется увеличение в масштабах страны доли сектора информационных технологий в 3–5 раз по сравнению с существующим уровнем. Таким образом, сложившаяся ситуация на рынке труда требует увеличения масштабов подготовки требуемых

специалистов, что возможно двумя путями: увеличением плана приема абитуриентов или сокращением сроков подготовки. Предпочтительным является второй путь, так как он требует меньших финансовых и временных затрат. В силу указанных причин актуальны разработка и внедрение моделей бакалавра по направлению и по специальности, а также магистра по специальности.

В отличие от характерной для действующих ГОС квалификационной модели компетентностная модель специалиста, ориентированного на сферу профессиональной деятельности, менее жестко привязана к конкретному объекту и предмету труда. Это обеспечивает мобильность выпускников в изменяющихся условиях рынка труда.

Модель специалиста представляет собой набор компетенций, которыми должен обладать выпускник вуза, профессиональных функций, к которым он должен быть подготовлен, и степень его подготовленности к выполнению конкретных функций.

Компетентностная модель специалиста для сферы техники и технологии включает в себя следующие группы компетенций:

- социально-личностные;
- экономические и организационно-управленческие;

общенаучные;
 общепрофессиональные;
 специальные.

Социально-личностные, экономические и организационно-управленческие, общенаучные и общепрофессиональные компетенции служат фундаментом, позволяющим выпускнику гибко ориентироваться на рынке труда и быть подготовленным к продолжению образования как на второй (магистерской) ступени ВПО (для бакалавра), так и в сфере дополнительного и послевузовского образования (для бакалавра и магистра).

Специальные компетенции (профессионально ориентированные знания и навыки) решают задачи объектной и предметной подготовки, т. е. обеспечивают привязку к конкретному объекту, предмету труда.

Когнитивной основой всех компетенций являются научные знания. Однако наиболее сильно этот аспект проявляется в подготовке магистров по специальности, что обеспечивает способность этих специалистов к решению сложных вопросов и принятию самостоятельных решений.

Для обеспечения возможности адаптации выпускника к динамично развивающейся сфере техники и технологии он должен обладать широким кругозором, общетехнической образованностью, выходящей за рамки общей образованности, формируемой средней школой. Фундаментальные знания, определяющие общетехническую образованность, должны формироваться в результате освоения студентом циклов естественно-научных и математических дисциплин, а также общих для широкого круга профессий знаний в области организационно-управляющей деятельности, информационных технологий, материаловедения, электротехники, инженерной графики и др.

Для области знаний, важнейшей тенденцией развития которой является быстрое расширение ее научных и прикладных горизонтов, двухступенчатая модель более логична. На первой стадии обучения осуществляется подготовка не по конкретной специальности (каких могут быть в этой области сотни), а по образовательному направлению (крупной самостоятельной дисциплине, такой как математика, ИТ, физика, философия и пр.). В результате завершения первой стадии обучения студент получает базовые знания по фундаментальным и специальным предметам, необходимые для профессиональной деятельности и для дальнейшего профессионального совершенствования. Завершением первой стадии обучения является присвоение образовательной степени бакалавра. Те, кто стремится повысить свой образовательный ценз и специализироваться в более конкретных областях ИТ, продолжают учиться в магистратуре, а затем, возможно, и в аспирантуре. В международной образовательной системе используется именно такая модель.

Основными образовательными направлениями высшего образования в области информационных

технологий, по которым осуществляется подготовка кадров, являются следующие.

1. Направление 512000 – Прикладная математика и информатика. Степени: бакалавр прикладной математики и информатики, магистр (науки) прикладной математики и информатики (12 магистерских программ).

2. Направление 552800 – Информатика и вычислительная техника. Степени: бакалавр техники и технологий, магистр техники и технологий (26 магистерских программ).

3. Направление 554400 – Информационные системы. Степени: бакалавр техники и технологий, магистр техники и технологий (магистерские программы в стадии разработки).

4. Направление 511900 – Информационные технологии. Степени: бакалавр информационных технологий и магистр информационных технологий (24 магистерские программы). Отнесено к группе 510000 «Естественные науки и математика».

5. Направление 511800 – Математика. Компьютерные науки. Степени: бакалавр, магистр математики (13 магистерских программ). Однако это направление не утверждено Министерством образования РФ и подготовка по нему не осуществляется.

Таким образом, из приведенного перечня направлений непосредственно к инженерному относятся первые три. Данные государственные образовательные стандарты представляют собой важные нормативно-методические решения, позволяющие осуществить подготовку кадров в области ИТ на основе сохранения традиций российского инженерного образования. В частности, это углубленная, целенаправленная математическая подготовка, составляющая основу качества и фундаментальности профессионального ИТ-образования. Однако современное состояние области ИТ и требования рынка требуют дальнейшей модернизации ИТ-образования на основе учета следующих факторов:

сближение отечественных стандартов в области ИТ с международным стандартом Computing Curricula 2001 (CC2001), что позволит иметь достаточно широкое представительство на мировом рынке образовательных услуг, оцениваемом в миллиарды долларов;

создание целостной системы подготовки ИТ-кадров на основе дальнейшего взаимоувязывания стандартов путем формирования ядра профессиональных знаний, что позволит реализовать принцип модульности;

оптимальное сочетание фундаментальной и специальной подготовки;

предоставление широких возможностей для оперативного реагирования на изменения в теоретической и технологической сферах ИТ-технологий.

Подготовка бакалавров по специальности должна осуществляться с наименьшими затратами, поэтому проведем анализ различных форм и видов бакалаврской подготовки.

Введение бакалаврской подготовки различных видов возможно на основе сочетания сложившихся образовательных подсистем (одноступенчатой и двухступенчатой) и методов их реализации (независимой, линейной или разветвляющейся).

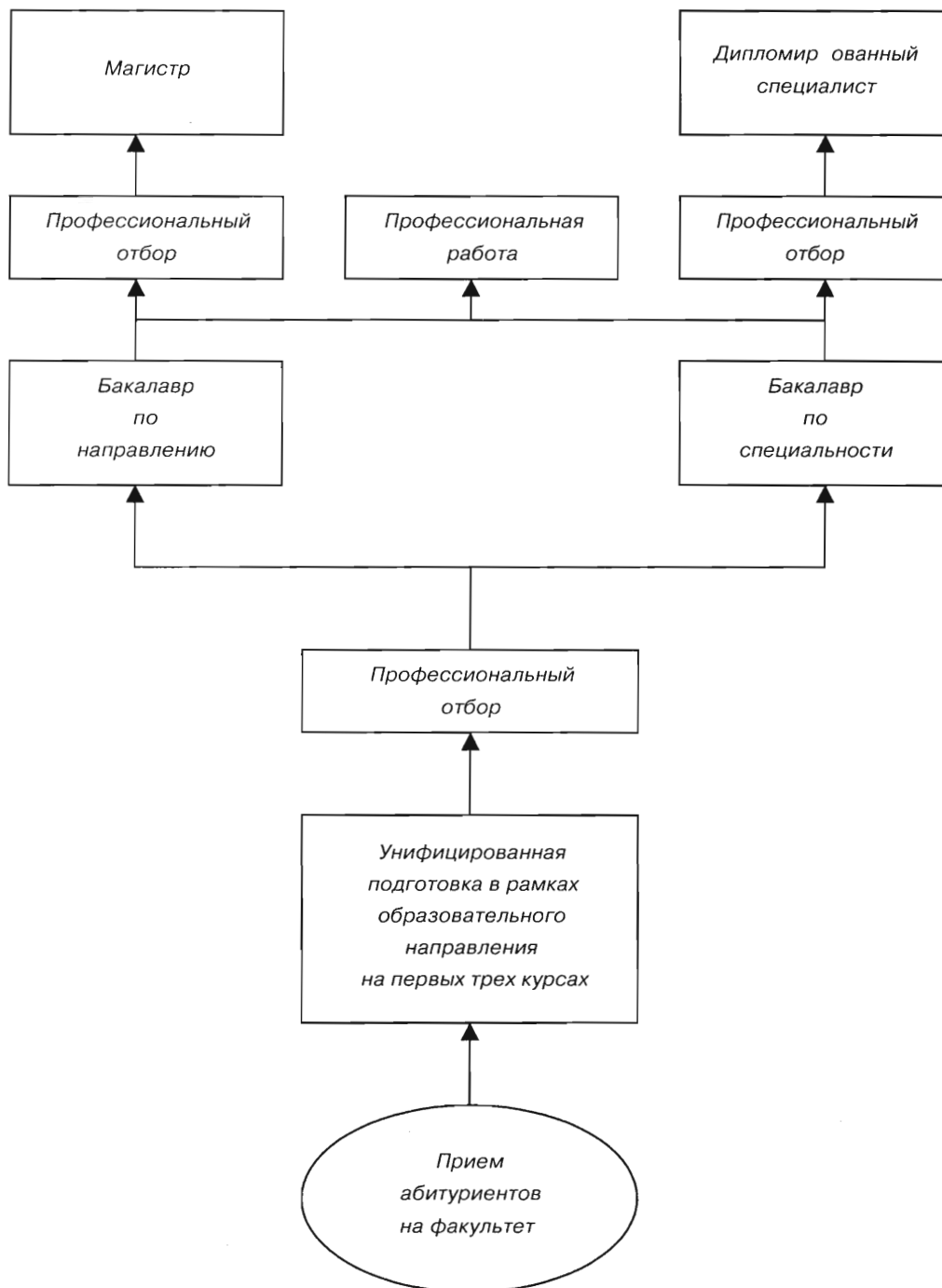
Рассмотрим различные варианты внедрения прикладной бакалаврской подготовки:

двухступенчатая, зависимая на первых трех курсах и разветвляющаяся после четвертого курса (рис. 1);

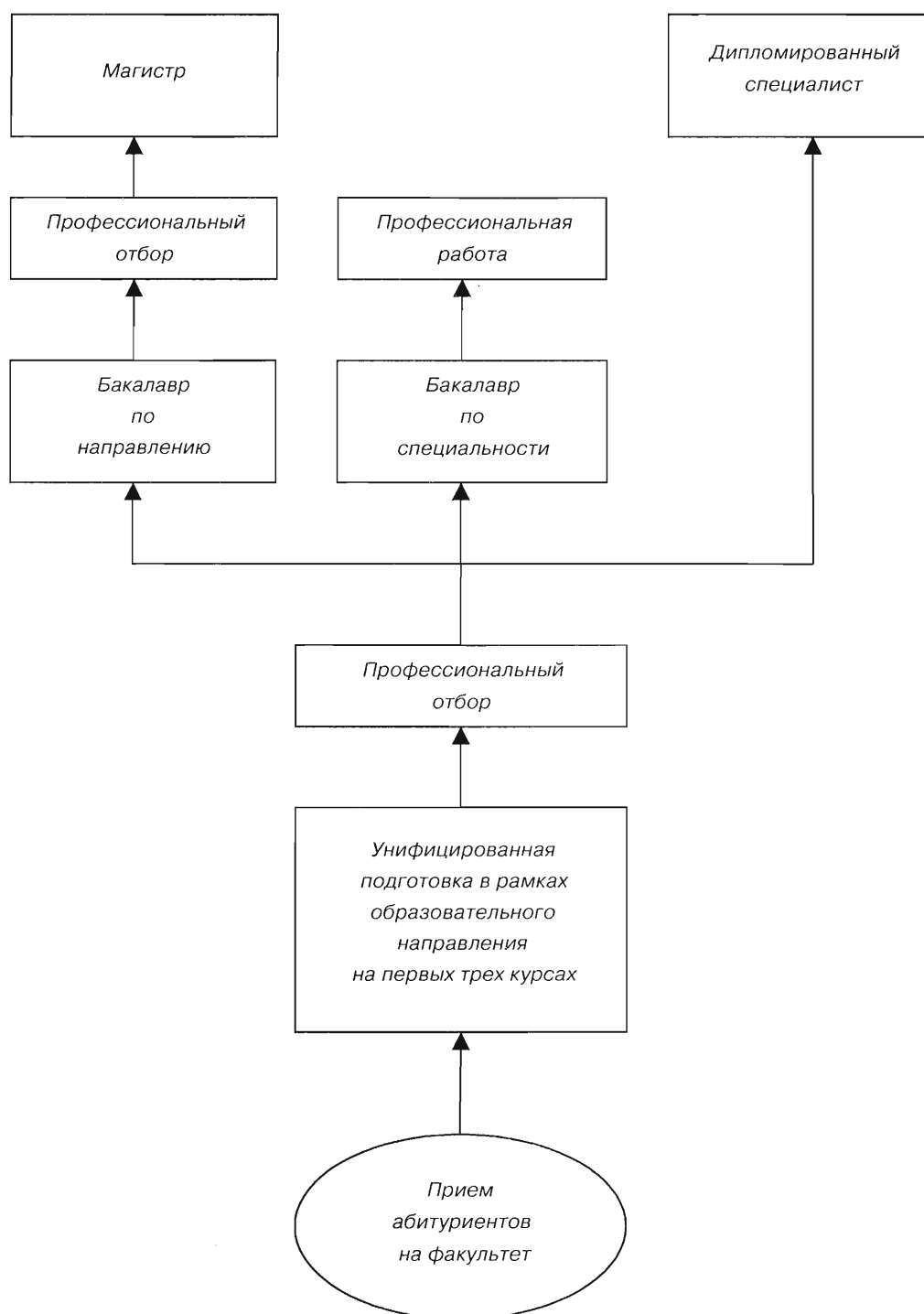
комбинированная (сочетание одноступенчатой и двухступенчатой), зависимая на первых трех курсах и разветвляющаяся после третьего курса (рис. 2);

независимая, нелинейная для разных видов подготовки (рис. 3);

частично независимая, разветвляющаяся после третьего курса на уровне бакалавра по специальности (рис. 4);



■ Рис. 1



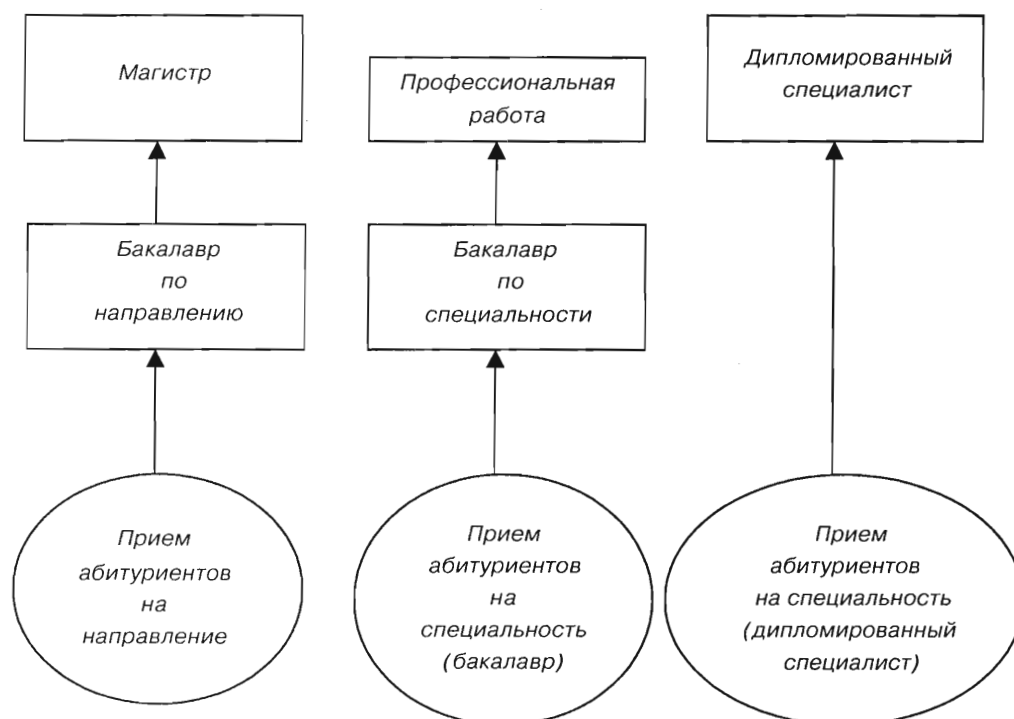
■ Рис. 2

частично независимая, разветвляющаяся после третьего курса на уровне бакалавра по направлению (рис. 5).

При выборе оптимальной схемы внедрения прикладной бакалаврской подготовки следует воспользоваться следующими критериями.

1. Соответствие требованиям спроса рынка специалистов. Практика подготовки специалистов в области информационно-телекоммуникационных

технологий показывает, что не менее 50 % студентов (оценка заниженная) при сроке обучения 5,5 лет фактически учатся 4 года, так как к этому времени большинство из них работает по специальности. Это связано с высоким спросом на специалистов в данной области при высоком уровне зарплаты. Сложившаяся ситуация приводит к напрасному расходованию средств.



■ Рис. 3

2. Ясная и простая схема набора абитуриентов. Практика показывает, что при независимой или частично независимой схеме обучения прием абитуриентов значительно затрудняется. Это вызвано тем, что абитуриент осуществляет свой выбор исходя не из «внутреннего» содержания будущей специальности, а ее «внешнего» имиджа. Данный фактор приводит к ошибочному выбору формы образования и в дальнейшем – к массовой миграции обучающихся с одной формы образования на другую.

3. Минимизация ресурсного (финансового, материального и технического) обеспечения. Данный фактор является очень важным, так как внедрение новой формы обучения не должно приводить к значительному увеличению затрат. Это возможно при наиболее высоком уровне унификации образовательного процесса для различных форм образования. В этом плане предпочтительной является линейная схема подготовки.

4. Соответствие существующим федеральным законам, в том числе закону «О высшем и послевузовском профессиональном образовании».

5. Возможность получения второго высшего образования.

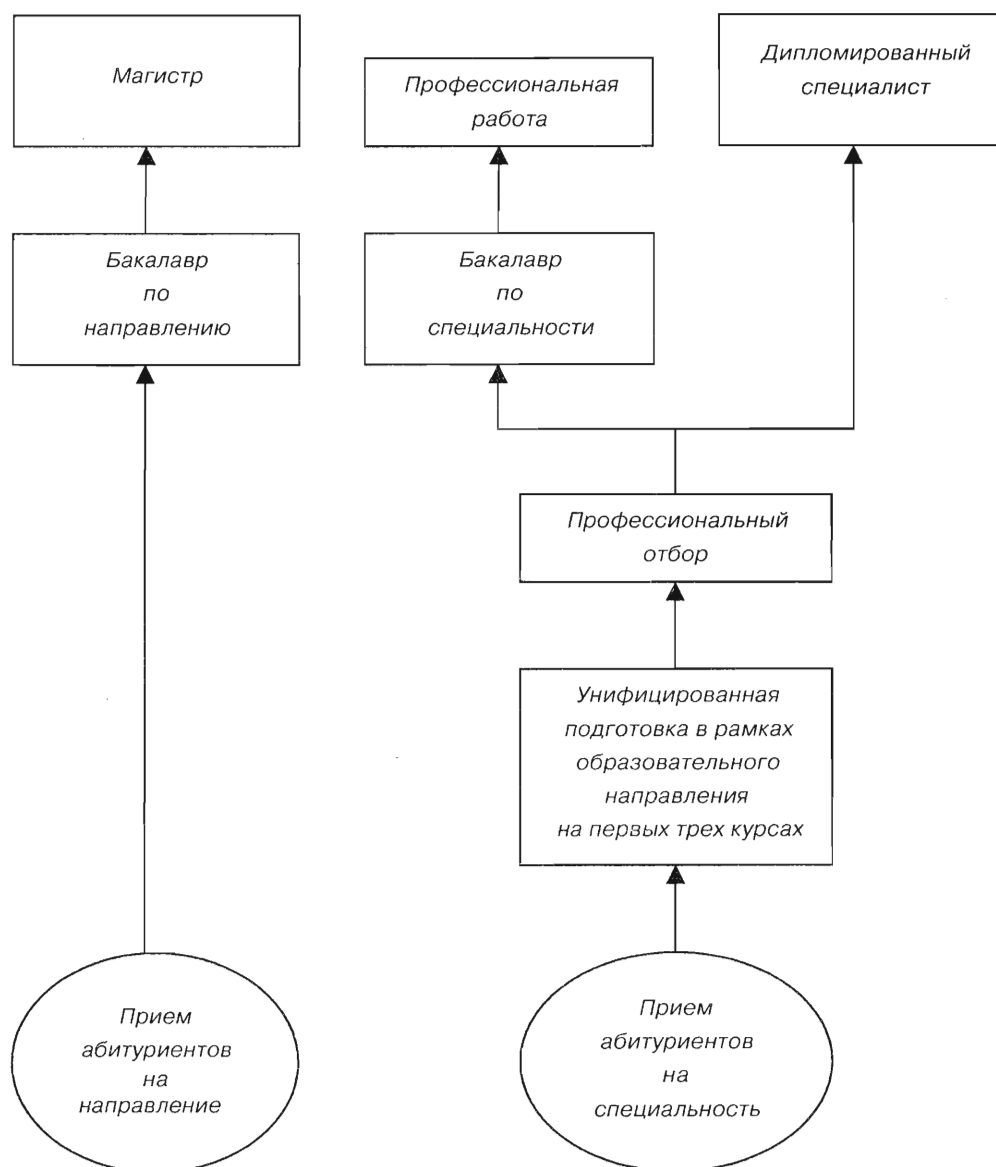
Исходя из приведенных критериев, наиболее оптимальной, на наш взгляд, является частично независимая схема (см. рис. 5). На рис. 6 представлен развернутый вариант данной схемы с указанием степени унификации по уровням подготовки (естественно-научной, общепрофессиональной и специальной) и их дальнейшее развитие по степеням сложности.

Одним из динамично развивающихся направлений подготовки специалистов в области ИТ-технологий является направление «Информационные системы». Область профессиональной деятельности выпускника по направлению «Информационные системы» – это область науки и техники, которая включает совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, направленных на создание и применение систем сбора, передачи, обработки, хранения и накопления информации.

Объектами профессиональной деятельности инженера по данному направлению являются информационные системы и сети, их математическое, информационное и программное обеспечение, способы и методы проектирования, отладки, производства и эксплуатации программных средств информационных систем в различных областях человеческой деятельности.

При разработке государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки специалистов 654700 – Информационные системы (квалификация выпускника – бакалавр по специальности) основное внимание было уделено внедрению дисциплин специальной подготовки на различных уровнях. Часть фундаментальной подготовки была перенесена на вторую магистерскую ступень, что позволило увеличить качество часов на профессиональную подготовку.

В цикле общепрофессиональных дисциплин – информационные технологии, информационная безопасность и защита информации, моделирова-



■ Рис. 4

ние систем, архитектура ЭВМ и систем, операционные системы, технология программирования, компьютерная геометрия и графика, банки и базы данных.

В цикле дисциплин направления – теория информационных процессов и систем, информационные сети, представление знаний в информационных системах, интеллектуальные информационные системы, мультимедиа технологии, мировые информационные образовательные ресурсы, архитектура информационных систем, коммуникационные технологии, администрирование в информационных системах, Web-технологии.

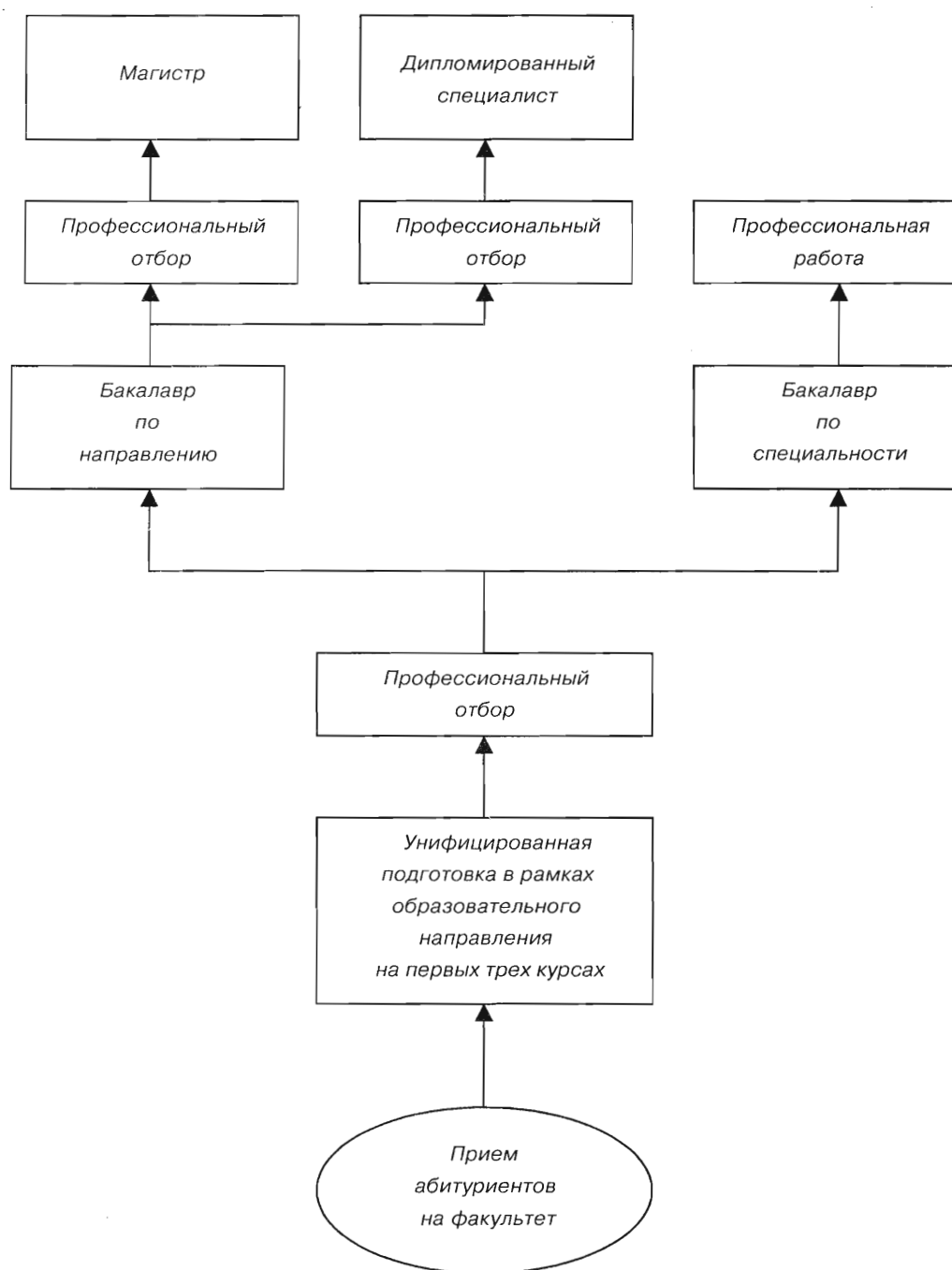
В цикле специальных дисциплин:

специальность 071900 – «Информационные системы и технологии»: корпоративные информационные системы, геоинформационные системы, надежность информационных систем, безопасность

информационных систем, протоколы и интерфейсы информационных систем, распределенные информационные системы;

специальность 073700 – «Информационные технологии в образовании»: информационные системы в управлении учебным процессом, мультимедиа технологии в образовании, дистанционные технологии в образовании, психолого-педагогические основы проектирования информационных систем в образовании, распределенные базы данных в образовании, электронные библиотеки.

При разработке государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки специалистов 654700 – Информационные системы (квалификация выпускника – инженер-магистр) в цикле естественно-научных, математических и профессиональных дисциплин направления были введены дисциплины



■ Рис. 5

следующих аспектов: теоретического (теоретические основы информатики), математического (дискретная математика), физического (инструментальные платформы информационных и коммуникационных технологий) и специального.

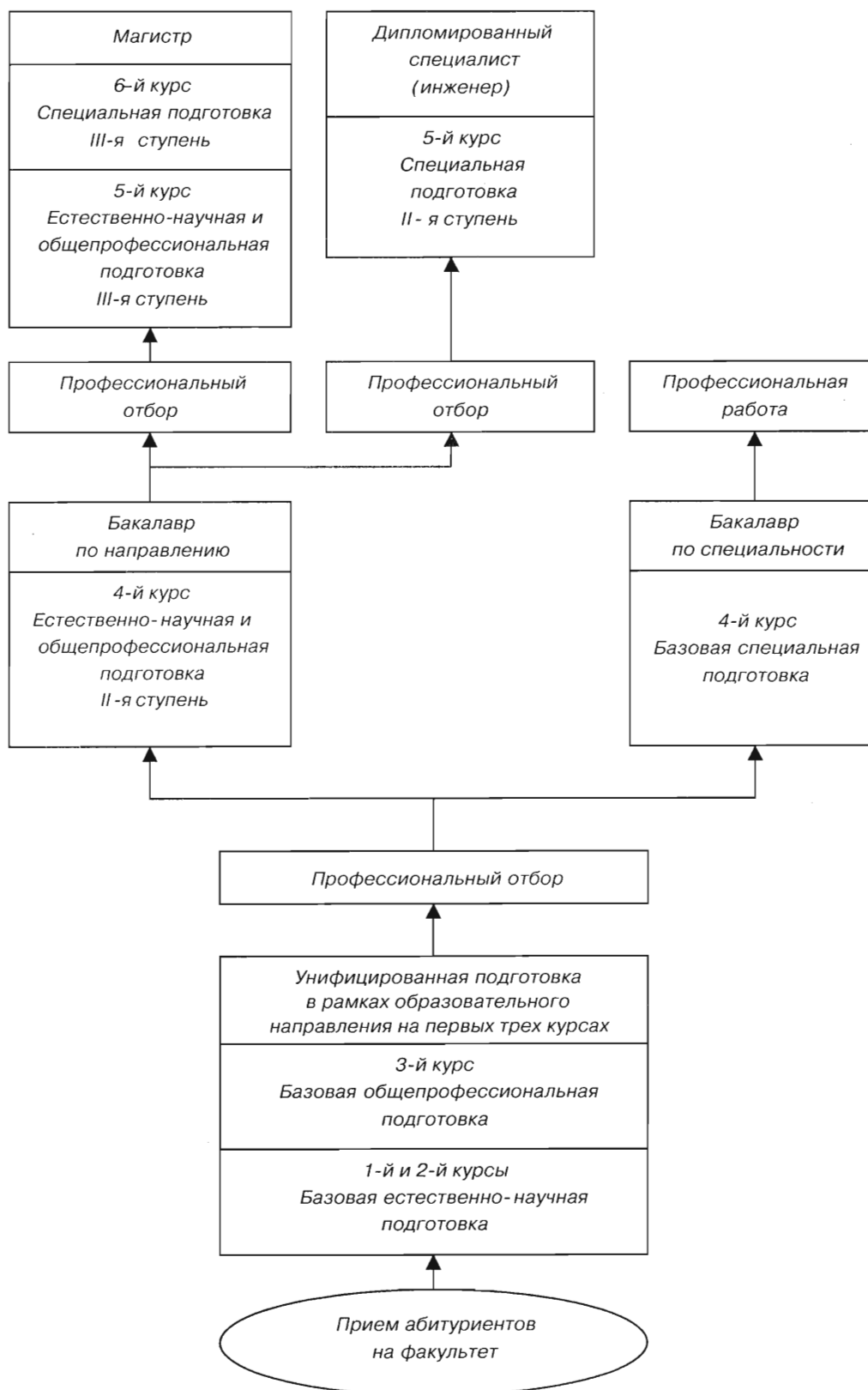
В цикле специальных дисциплин:

специальность 071900 – «Информационные системы и технологии»: анализ и синтез информационных систем, математические модели информационных процессов, проектирование информационных систем, средства автоматизированного проектирования информационных систем;

специальность 073700 – «Информационные технологии в образовании»: анализ и синтез информационных систем в образовании, математические модели представления знаний; проектирование информационных систем в образовании; психологические и педагогические аспекты информатизации образования.

Заключение

Отличие бакалавра по специальности от академического бакалавра, помимо содержания подго-



■ Рис. 6

товки, заключается в том, что бакалавр по специальности может продолжать образование в магистратуре по специальности, а академический бакалавр – в магистратуре и докторантуре по философии.

Важным вопросом является качество образования. В данном случае нельзя говорить о том, что оно будет лучше или хуже. Оно будет другим. Качество образования должно определяться требованиями общества исходя из конкурентоспособности. В связи с этим внедрение двухступенчатой системы подготовки кадров по направлению «Информационные системы» будет способствовать решению проблемы дефицита кадров в области информационных технологий.

Литература

1. **Никандров Н. Д., Советов Б. Я.** Развитие информационного общества и проблемы подготовки кадров в области информационных технологий // Информационно-управляющие системы. – № 4. – С. 42–48
2. **Федоров М. Б., Коршунов С. В., Советов Б. Я.** Перспективы подготовки кадров по направлению «Информационные системы» // Информационно-управляющие системы. – № 5. – С. 38–43.
3. **Яковлев С. А.** Методические основы использования имитационного моделирования в учебном процессе при подготовке по направлению 654700 – Информационные системы // Информационно-управляющие системы. – № 5. – С. 44–49.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья редактируется и рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи, а также фотографию и краткое изложение сведений о себе.

Процедуры согласования текста статьи, предоставления фото (размером 4×5,5 см) и сведений об авторе могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (электронный вариант фото в виде файла *.tif, *.jpg с разрешением 300 dpi).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию. При необходимости доработать статью — рецензию.

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.

ИММОД – 2003: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

23–24 октября 2003 г. в ЦНИИ технологии судостроения (Санкт-Петербург) состоялась 1-я Всероссийская научно-практическая конференция «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках»¹.

Итоги конференции целесообразно осмыслить с разных точек зрения, которые могут быть интересны для разных категорий пользователей: по методам моделирования, инструментальным средствам, областям применения. Ниже предлагается обзор сделанных на конференции докладов в предположении о достоверности их содержания. Оценка полученных результатов дается лишь в случаях, непосредственно затрагивающих научные интересы автора обзора, и может не совпадать с точкой зрения оргкомитета. Ссылки на доклады в тексте сведены к минимуму и даются по фамилии первого автора.

Развитие имитационного моделирования в России

На конференции отмечались давние традиции развития и использования моделирования в СССР в 1960–1980 гг.: созданы научные школы (прежде всего Н. П. Бусленко); получен ряд практических результатов: языки программирования СЛЭНГ, НЕДИС, СТАМ и другие, система агрегативного моделирования. Семейство GPSS и другие языки моделирования были адаптированы к применявшейся в стране вычислительной технике. Все они широко использовались в реальном секторе экономики.

Развал страны и «демократические» реформы привели к утрате связей между научными коллективами и отдельными учеными, прекращению активной деятельности многими из них, нарушению преемственности поколений, приостановке или прекращению ряда перспективных разработок. Умирающая промышленность утратила интерес к практическому моделированию, что иссушило внебюджетные ручки финансирования исследований.

Современное состояние имитационного моделирования

Мировая наука и экономика в трудные для России последние десятилетия не стояли на месте и интенсивно развивались. За рубежом регулярно проводились конференции по теории и практическим

¹ Материалы 1-й Всероссийской научно-практической конференции «Опыт практического применения языков и программных систем имитационного моделирования в промышленности и прикладных разработках». Т. 1–2 – СПб.: ЦНИИ технологий судостроения, 2003.

аспектам имитационного моделирования, оно все шире внедрялось в практику проектирования производственных (в самом широком смысле слова) процессов и оперативного управления ими. На повестке дня встал вопрос о *сплошном* применении цифровых моделей (Digital Factory) в процессе проектирования и эксплуатации производственных систем. Этот метод дает возможность наблюдать статические объекты, как правило, в виде трехмерных изображений (виртуальная реальность – VR). Наличие имитационной модели и обоснование с ее помощью выбранного варианта проектирования в западных странах являются обязательными в комплекте документов, подаваемых на рассмотрение для проектирования или модернизации нового производства либо технологического процесса. Модели используются и для обучения персонала. Эта концепция называется e-manufacturing. Убеденными сторонниками ее являются, в частности, ведущие автомобильные компании: Daimler-Chrysler, Mercedes-Benz, BMW, Audi, Toyota. Этот подход применяется и на сборке аэробусов А-380 в Гамбурге (Ю. И. Толуев).

Целый ряд фирм выпускает программные продукты как широкого назначения (модифицируемые), так и специализированные (по логистике, различным отраслям промышленности и социальной сферы). Однако в условиях чрезвычайной сложности и дороговизны этих разработок из европейских компаний только Technomatics и DELMIA претендуют на полное покрытие e-Manufacturing своими продуктами.

В обзорном докладе К. А. Аксенова отмечались типичные недостатки систем моделирования:

- трудоемкость моделирования,
- сложность проведения экспериментов,
- слабость средств моделирования конфликтов за общие ресурсы,
- отсутствие поддержки русского языка.

Недостатки имитационного моделирования вынуждают комбинировать его с аналитическими моделями. Поскольку наиболее широкий класс моделей, охватывающий сборочное производство, транспортные системы, системы логистики, разного вида обслуживающие и коммуникационные системы – это сети массового обслуживания, такие модели и алгоритмы также активно разрабатываются.

Имитационный ренессанс

Наметившийся рост экономики взбудрил оставшихся (главным образом в вузах) энтузиастов моделирования, оживил их интерес к преподаванию моделирования, теоретическим исследованиям и прикладным разработкам. В настоящее время 150 вузов

России ежегодно выпускают более 10 тыс. специалистов, знакомых с основами компьютерного моделирования. Аналогично обстоит дело и в странах СНГ. Моделирование введено в учебные планы не только компьютерных, но и ряда экономических специальностей. В Интернете появились сайты, посвященные этой проблеме (gpss.ru, simulation.org.ua, gpss-forum.narod.ru). Уже к середине 2003 г. было зарегистрировано 25 729 посещений первого из них (В. В. Девятков). В докладе А. И. Микова сообщается о разработке исследовательского портала «Имитационное моделирование». Вышел из печати учебник В. Н. Томашевского, объявлено о подготовке к изданию еще нескольких.

Общая оценка и результаты конференции

Конференция прошла при большой заинтересованности участников, ее организацию и научный уровень можно оценить достаточно высоко. Труды конференции были изданы до ее начала. Было сделано пять докладов на пленарном заседании и по 31 – на двух секциях (теоретической и «прикладной»). Кроме того, без выступлений было представлено 13 секционных докладов. Почти все доклады были оформлены в виде компьютерных презентаций; многие секционные и стендовые доклады (последних было запланировано 29) сопровождалась эффектными и поучительными анимациями.

Основная цель каждой конференции – установление единства взглядов, личных и производственных контактов – была достигнута и в данном случае. На итоговом заседании было принято решение впредь проводить конференции по имитационному моделированию регулярно и изучить вопрос о придании им статуса международных (впрочем, и на нынешней конференции были представлены докладчики из Латвии, Германии и США, а также стран СНГ).

Перейдем к обзору содержания докладов по основным группам проблем.

Методология моделирования

Общие принципы. Участники конференции дружно подтвердили свое согласие с известными принципами моделирования сложных систем:

- системный подход при решении задач анализа и синтеза;
- множественность моделей по функциональному назначению;
- множественность моделей по их математической структуре (аналитико-имитационные, лингвистические, логико-алгебраические) и их комбинирование;
- иерархия моделей должна давать упрощенное (агрегированное) описание различных сторон моделируемых явлений;
- в комплекс моделирования должны входить как универсальные (с возможностями настройки) сред-

ства, так и специализированные по предметным областям.

Для моделирования, помимо совокупности моделей, необходимы:

- информационная подсистема, включающая базу (банк) данных, а в перспективе – базу знаний, основанную на идеях искусственного интеллекта;
- система управления и сопряжения, обеспечивающая взаимодействие всех компонент системы и работу с пользователем в режиме диалога;
- средства визуализации хода и результатов моделирования.

Н. Н. Лычкина предложила характеризовать технологический уровень современной системы моделирования следующими ее свойствами:

- универсальностью и гибкостью концепций структуризации и формализации моделируемых динамических процессов, заложенных в систему моделирования;
- возможностями обмена между транзактами информацией об их параметрах и определения времени реализации критических событий – для непрерывных компонент процесса;
- наличием средств проблемной ориентации (система моделирования должна содержать наборы понятий, абстрактных элементов, языковые конструкции из предметной области исследования);
- применением объектно-ориентированных специализированных языков программирования, поддерживающих авторское моделирование и процедуры управления процессом моделирования;
- наличием удобного и легко интерпретируемого графического интерфейса, где схемы дискретных моделей и потоковые диаграммы реализуются на идеографическом уровне, а параметры моделей определяются через подменю;
- использованием развитой анимации в реальном времени;
- возможностью реализации нескольких иерархических уровней представления модели средствами для создания стратифицированных описаний;
- наличием процедур: анализа входных данных; чувствительности к ним; планирования и организации статистического эксперимента; анализа поверхности отклика и процедур оптимизации и др.

Визуализация моделирования позволяет:

- проверить адекватность модели реальной ситуации;
- обеспечить контроль пользователя над механизмом функционирования;
- повысить интерес заказчиков и облегчить внедрение и применение системы.

Ряд докладчиков отмечал как недостаток GPSS/W ее неспособность к «фотореалистичной» анимации. Однако даже здесь возможны постпроцессорная анимация, основанная на трассировочных данных, и оперативная анимация посредством PLUS-процедур. Оба упомянутых механизма рассчитаны на использование анимационных пакетов сторонних разработчиков или авторские разработки пользователя.

На рынке существует много анимационных пакетов. Часть из них уже интегрирована в системы моделирования (например, eM-Plant с 3D-анимацией). Из инструментов визуализации считается предпочтительным VRML по следующим причинам:

- язык является открытым, и для начального процесса обучения не нужно покупать дорогие пакеты по созданию анимации (достаточен стандартный Интернет-браузер);

- VRML через Java Script допускает сопряжение с другими программными средствами;

- различные узлы VRML (LOD, SENSOR, INTERPOLATOR), а также методы прототипирования (PROTO) позволяют получать объекты различной степени детализации и повторно использовать объекты (метод порождения), что ускоряет разработку анимации;

- VRML широко применяется в автоматизированном проектировании и, в частности, играет ведущую роль в концепции Virtual Factory.

В докладе Р. Г. Гиниятуллина предложена комплексная технология. Сложные объекты (вагоны метрополитена, грузовики, самолеты) создаются в любом пакете 3D-графики, после чего идет редактирование самой модели VRML с включением в нее ранее созданных объектов. Компоновать объекты в единые сцены можно с помощью пакетов, подобных Internet Scene Assembler.

Распределенные объекты и распределенное моделирование. Объекты имитационного моделирования почти всегда являются пространственно распределенными. Для придания им достаточной автономности распределенные интеллектуальные системы должны проходить обучение (самообучение). Соответственно, для их работы (и моделирования таковой) необходимы подсистемы эволюционного развития (медленная, адаптивная с функциями идентификации) и оперативная (С. А. Яковлев).

Новые проблемы возникают при переходе к мультиагентным задачам. Под интеллектуальным агентом понимается объект, имеющий внутреннюю структуру, собственное поведение и возможность взаимодействия с другими агентами (А. В. Борщев). Каждый агент имеет неполную информацию и/или недостаточные возможности для выполнения общей задачи и при отсутствии централизованного управления выполняет ее в кооперации с другими агентами. К этим проблемам непосредственно примыкает описание сложного поведения объектов (О. Ю. Яковенко). В частности, в докладе последнего сообщалось о разработке моделей поведения:

- одиночного бойца в специальной операции;
- танка в бою;
- отдельного человека в местах скопления больших масс людей.

С другой стороны, представляет значительный интерес *распределенное моделирование*. Система SIMNET использовалась для обучения армейского персонала действиям в чрезвычайных ситуациях

(В. Б. Бигдан). Распределенное моделирование необходимо и при недостаточных вычислительных ресурсах для особо сложных задач (расчет гидродинамических полей и метеоявлений).

Методы моделирования. Здесь мы перечислим редко используемые «продвинутые» методы.

Из нестандартных методов статистики сошлемся на проверку однородности данных непараметрическим критерием Вилкоксона.

Для аналитического расчета сетей обслуживания применялась их *потокоеквивалентная декомпозиция*.

Методы понижения дисперсии моделирования обсуждались только в докладе А. Г. Варжапетяна. Отмечались обязательность отдельных ДСЧ для каждой случайной величины и метод дополняющих переменных, причем для получения таковых в командах RMULT из GPSS-программы использовались дополняющие начальные установки. Для вычисления вероятностей редких событий использовалось условное моделирование. Все эти технологии новы, но, к сожалению, неизвестны практикам и совершенно не применяются ими. Хочется надеяться, что «лед когда-нибудь тронется».

Сети Петри, по существу, являются одной из форм имитации дискретных процессов. Они были в большой моде лет двадцать назад, когда с их помощью надеялись *рассчитывать* упомянутые процессы (без имитации). В подавляющем большинстве применений от обычных имитационных моделей они отличаются лишь большим наукообразием и специфической терминологией. В докладе Р. Г. Загидуллина предложен метод синтеза сетей Петри на базе функциональных подсетей и сообщается о разработанном программном продукте FMSim. П. В. Гречишкин для имитации процесса очистных работ в длинном забое использовал проблемно ориентированный имитатор сетей Петри. По В. Л. Коноху, имитация шахтных робототехнических систем сетями Петри позволила выбрать структуры роботизированных технологий горных работ и обосновать требования к шахтным роботам.

В докладе В. В. Золотухина к анализу сетей интегрального обслуживания применяется *тензорный метод*, результаты которого сопоставляются с применением GPSS. Однако вопрос о том, что реально дает применение столь сложной математики, остается открытым.

Известна сложность оптимизации автоматических систем регулирования. По В. Р. Сабанину, *генетический алгоритм оптимизации* в терминологии нейросетей формулируется следующим образом:

- 1) в пространстве поиска случайным образом задается популяция возможных решений (особей);

- 2) вычисляются значения вектора функции цели для всех особей;

- 3) из популяции отбираются и удаляются, например, 10% худших по значению целевой функции особей. Оставшиеся образуют родительскую группу.

- 4) из родительской группы случайным образом выбираются пары особей в количестве тех же 10% от общего числа;

5) новое поколение особей генерируется в результате обмена участками родительских хромосом (кроссинговер), а также мутаций;

6) это поколение восполняет популяцию до исходной численности.

Далее этапы, начиная со второго, повторяются, пока во всех координатных точках значения оптимизируемой функции не станут отличаться друг от друга меньше, чем на заданное малое число. Предложена также комбинация генетического алгоритма с градиентным поиском локальных экстремумов и заменой ими «плохих» точек.

В докладе Г. В. Пушкарева обсуждается гибридный генетический алгоритм для проектирования траекторий минимальной длины движения резака при термической резке металла. Предложены модификации вышеупомянутых основных операций, в которых более четко прописаны вероятностные и имитационные элементы. При скрещивании один из родителей выбирается с наилучшим показателем целевой функции, тогда как другой – случайным образом. В хромосоме, подвергающейся мутации, два случайно выбранных гена меняются местами. Оператор *разнообразия* улучшает особь методом спуска. Оператор *селекции* уничтожает большую часть популяции, заменяя ее лучшим материалом. Стратегия селекции может быть *элитной*: некоторое количество лучших особей переходит в следующее поколение без скрещивания и мутаций.

Достоверность модели

На конференции большое внимание было уделено обеспечению достоверности имитационных моделей. В докладе В. А. Пепеляева воспроизводится схема О. Балчи (1, т. 1, с. 144). Далее определяются важнейшие понятия, связанные с достоверностью моделирования. Концептуальная модель на основе предположений относительно абстракции от реальности определяет иерархическую структуру исследуемой модели и связи между отдельными ее компонентами. *Квалификация* концептуальной модели есть подтверждение принятых соглашений и предположений для выбранной области применения. Модель взаимодействий отображает динамику функционирования системы, а ее *верификация* есть подтверждение корректности отображения взаимодействий объектов и динамики исследуемой системы в целом. Имитационная модель рассматривается как программный образ концептуальной модели, определенный на одном из высокоуровневых объектно-ориентированных языков программирования (моделирования). Верификация модели предполагает доказательство возможности использования создаваемой программной модели в качестве машинного аналога концептуальной модели при достаточном сходстве с последней. *Валидация данных* направлена на доказательство удовлетворительной

точности входных данных и корректности их использования.

Тестирование модели есть планируемый интерактивный процесс, направленный на поддержку процедур верификации и валидации имитационной модели, в том числе на поиск ошибок в программах.

В докладе приводится ряд методических рекомендаций по отдельным этапам обеспечения достоверности.

Четкость предложенных определений оставляет желать лучшего, а названные понятия явно не ортогональны (имеют пересечения). Валидация данных не должна связываться с корректностью их *использования*.

В близком по содержанию докладе И. В. Яцкив используются некоторые дополнительные понятия. В частности, если модель и ее результаты приняты пользователем и применяются для принятия решений, то модель считается *заслуживающей доверия* (credible). Далее обсуждаются процедуры проверки адекватности: концептуальные, операционные, основанные на выходных данных. *Концептуальные тесты* включают проверку постановки задачи моделирования, входных данных, структурных допущений, логическую валидацию. *Операционные тесты* анализируют адекватность поведения модели; включают тесты на непрерывность, анализ чувствительности, анализ вырождения, анализ анимации. *Анализ риска* состоит в определении вероятностей редких, но крайне нежелательных событий (ядерный инцидент, экологическая катастрофа, авария энергосистемы, финансовый крах).

Как особая категория тестов рассматриваются тесты, *основанные на выходах*. Здесь модель при реальных входных данных должна порождать данные, близкие к реальным выходным. Разумеется, исследователь должен располагать последними. Возможный подход к оценке адекватности модели – тест на статистическую однородность совокупности реальных и модельных выходных данных.

Языки и системы моделирования

Обзор новинок. Используя возможности визуального моделирования и современные технологии дизайна и анимации, можно существенно ускорить исследование. За рубежом появилось огромное количество современных систем имитационного моделирования. Коммерческие симуляторы специализированы по отраслям промышленности: eMPlant (машиностроение), DELMIA (судостроение), NETRAC (телекоммуникации и связь).

Ю. И. Толуев отмечает, что решение задач с преобладанием логистических аспектов может быть получено с помощью любых коммерческих симуляторов; чаще всего это GPSS, Simula, Arena, AutoMod, eM-Plant, Extend, Process Model, QUEST, SIMFACTORY, Taylor ED, WITNESS. Сколько-нибудь систематизированные сведения по большинству названных пакетов отсутствуют. По А. В. Борщеву,

Arena, Extend, ProModel, SimProcess используют ту же транзакт-парадигму, что и GPSS.

В докладе К. А. Аксенова отмечается, что система BPsim опирается на аппарат динамических экспертных систем и в значительной степени свободна от недостатков наиболее популярных симуляторов. В ней определены следующие классы объектов: операции, ресурсы, средства, процессы, источники и приемники ресурсов, перекрестки, параметры. Отдельно выделены *информационные* типы ресурсов: сообщения и заявки на выполнение операций. Параметры процесса задаются функцией от характеристик объектов и могут быть производными (свертка характеристик различного типа) и консолидированными (свертка одноименных характеристик нескольких операций процесса). Описание причинно-следственных связей задается специальными объектами.

В докладе А. В. Борщева представлен другой новый профессиональный инструмент – AnyLogic, который объединяет объектно ориентированный подход, визуальное проектирование, дружественный графический интерфейс, язык Java, агентные технологии, теорию гибридных систем. Визуализация динамики процессов и статистическая обработка случайных параметров являются встроенными и выполняются автоматически.

GPSS и его производные по-прежнему остаются самыми популярными языками моделирования в преподавании и практическом использовании. Версии GPSS/PC были посвящены доклады В. В. Афонина и С. А. Власова. А. Г. Варжапетян использовал язык GPSS/H в процедуре бенчмаркинга, Д. В. Турчановский применял GPSS/H-Proof со средствами анимации и поддержкой стратифицированных описаний. В докладе Р. Г. Гиниятуллина обсуждалась работа на GPSS World с широким использованием средств языка PLUS. Один из докладов Ю. И. Рыжикова был посвящен тестированию и комплексной оценке GPSS World.

C++ благодаря объектной ориентации и использованию его при написании ядра операционных и моделирующих систем облегчает интеграцию с последними вновь разработанных расширений и надстроек. В докладе К. В. Воронцова модель решения финансовых задач реализована на языке C++ в виде динамической библиотеки функций. Аналогичные решения для моделирования дискретных событий в стиле Simula обсуждались в докладах В. В. Окольниковой о разработке АСУ технологическим процессом, Л. М. Местецкого и Д. В. Щетинина в связи с имитацией работы аэропорта Шереметево.

В докладе В. Н. Томашевского пропагандируется язык SLX, объявленный как объектно-ориентированный GPSS. Новым здесь является написанный на языке C++ лингвистический процессор, который по интерактивно формируемому заданию строит GPSS-программу. В другом своем докладе В. Н. Томашевский отмечает, что современные программные средства благодаря использованию типовых

компонент и графического интерфейса позволяют автоматизировать построение модели; однако средства имитации, в которых нет возможности ввести новые моделирующие конструкции, обязательно окажутся неподходящими для некоторых практических ситуаций. Далее он заявляет, что «данную проблему можно решить путем использования генератора программ, которые создаются на некотором языке моделирования. В этом случае квалифицированный пользователь сможет изменить код программы». Нетрудно видеть, что возможности такой системы не могут выйти за рамки ее нижнего уровня, и SLX сохранит все ограничения GPSS.

Недостатками C++ считаются осязательная «тяжеловесность» (проще говоря, неудобство программирования) и трудность сопровождения программ. Корень этого и других недостатков данного языка – лежащая в его основе *статическая типизация*. Те же недостатки присущи языкам Java, Object Pascal, Delphi. Поэтому альтернативой может явиться SmallTalk – объектно ориентированный язык с *динамической типизацией*.

Другой причиной сложности программирования на C-подобных языках является их ориентация на проблемы системного, но не прикладного программирования.

Паскаль и Delphi. Представленная С. Н. Ковалевым система SIMPAS разработана в МГТУ им. Н. Э. Баумана на языке Pascal. Она предназначена для имитационного моделирования дискретных и непрерывных систем и отличается простотой и компактностью записи моделей. Помимо паскалевских, в ней предусмотрены специфические типы скалярных и множественных данных. К типу «объекты» отнесены транзакты, приборы, очереди, накопители и др. Для действий над ними используются специальные процедуры. Форма записи моделей напоминает GPSS.

О. А. Савина представила Events Modeling Language (EML), построенный как отдельный программный модуль в Borland Delphi. Здесь имеется примерно такой же перечень видов объектов. Объекты организованы в динамические списки. С. А. Лазарев докладывал о построенной на EML имитационной модели единичного и мелкосерийного производства. Аналогично построена и используется система SMPL (доклады С. В. Терентьева и О. А. Савиной).

Фортран. Ряд докладчиков предпочел моделирование на «универсальных» языках программирования численных задач. О работе на языке Фортран докладывал В. В. Миняев. На Фортране же Ю. И. Рыжиков проводил сравнительное тестирование GPSS и ставил имитационные эксперименты при разработке аналитического метода расчета многоканальных приоритетных систем.

Моделирование в образовании

Обсуждение этой темы целесообразно начать с базовых определений. *Моделированием* называ-

ют исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения и изучения их аналогов (Советский Энциклопедический словарь). Соответственно, эти аналоги называются моделями. Компьютерное моделирование имеет дело с абстрактными (знаковыми, математическими) моделями. Имитация есть подражание чему-либо; следовательно, *имитационным* нужно называть моделирование, сохраняющее внешнее сходство с исходным процессом. Наконец, *статистическим* естественно считать вид моделирования, при котором воспроизводятся аналоги массовых явлений с последующей обработкой результатов наблюдений методами математической статистики.

Из этих бесспорных определений следует относительная независимость указанных признаков. Проиллюстрируем этот тезис на примерах.

1. Составление и решение описывающих процесс дифференциальных уравнений или исследование характеристик системы автоматического управления методом частотных характеристик является моделированием математическим, но не имитационным и не статистическим. Соответственно, входящий в состав MatLab'a Simulink никакого отношения к двум последним видам моделирования не имеет.

2. Визуализацию логистического процесса (например, передвижения внутри цеха крупногабаритной заготовки) можно назвать математической (но не статистической) имитацией.

3. Вычисление многомерного интеграла методом Монте-Карло – это *статистическое*, но не имитационное моделирование.

4. Моделирование задач теории очередей на GPSS и других языках программирования является одновременно имитационным и статистическим.

Все указанные виды математического моделирования и их комбинации могут быть полезны по-разному (и в разных ситуациях). Соответственно, они имеют право на включение в учебные программы – в пропорциях, определяемых конкретными специальностями. На моделирование (и не только на него) не следует вводить жесткие стандарты: полезно вспомнить часто цитируемого в недавнем прошлом классика о том, что успех дела определяется составом лекторов. Однако общие положения о моделировании и специфику его видов необходимо предусмотреть обязательно. В докладе Ю. И. Рыжикова предлагался учебный план «Компьютерного моделирования» для специальностей «Математическое обеспечение ЭВМ», «Управление космическими системами» и др., включающий вышеупомянутую вводную часть, теорию очередей, принципы и технику имитационного моделирования на языках высокого уровня и их реализацию в GPSS World.

К. В. Кумунжиев (Ульяновский университет) в связи с подготовкой специалистов на факультете информационных и телекоммуникационных технологий заявил, что «многие вузы ограничиваются использованием одного языка моделирования, чаще всего типа GPSS. Мы сочли такую позицию далеко

не лучшей. Освоение общих принципов и технологии должно быть построено на использовании нескольких языков, ориентированных на различные предметные области». Конкретно им предлагались системы моделирования IMITA – для потоковых и сигнальных схем, ДИСПАС – для систем управления, GPSS World – для систем массового обслуживания. Ясно, однако, что знание языков и технологий не заменяет усвоения *ключевых* понятий, т. е. элементов фундаментального образования. Впрочем, и сам К. В. Кумунжиев пишет, что «знания человека должны быть системой. Это способствует сохранности знаний и их актуализации».

К этому обзору можно добавить предложения других докладчиков о включении нужных разделов моделирования в более специальные дисциплины (внедрение GPSS/W в курс теории телетрафика для изучения характеристик потоков вызовов с такими распределениями, как Вейбулла, Пирсона, логнормальное, а также моделирования неполнодоступных систем – Д. Ю. Пономарев). Заметим, что перечисленные задачи о входящем потоке легко решаются численными методами теории очередей.

На заключительном заседании конференции поднимался выходящий за рамки компетенции собравшихся вопрос о расширении преподавания компьютерного моделирования для экономистов и о его введении для будущих медиков. Дело хорошее, но требующее солидной базы по высшей математике и теории вероятностей, без которых преподавание компьютерного моделирования невозможно.

Применение моделирования

Перечислим основные области применения разработанных докладчиками имитационных моделей.

Региональные модели социально-экономического развития. Наиболее масштабным проблемам были посвящены доклады Н. Н. Лычкиной об имитационном моделировании социально-экономического развития регионов и А. А. Громовой – о системе прогнозирования такового.

Организация промышленного производства. Типичные модели обычно включают: детальные модели производства, позволяющие проводить анализ узких мест; комплексное управление логистическими процессами; выбор эффективных стратегий управления запасами; анализ финансово-экономического состояния предприятия; оперативное и календарное планирование. Большинство ответственных решений принимается в ходе диалога – с помощью интерактивных процедур, запускающих имитацию реальных процессов для различных альтернатив.

Отметим новые и уже ставшие общими тенденции в применении имитационных моделей. Помимо исследовательских и проектных работ, они используются (В. В. Окольников):

- в отладочном стенде для комплексной отладки подсистем АСУ ТП;

- в тренажере для обучения и аттестации управляющего персонала;

- в оперативном контуре управления АСУ ТП для предсказания нежелательного поведения реальной системы, выдачи предупреждений и рекомендаций персоналу.

Данная модель разрабатывалась для АСУ работой тепловентиляционного оборудования Северомуйского тоннеля (трасса БАМ).

Мелкосерийное производство. Моделям для таких применений посвящены доклады С. А. Лазарева и С. В. Терентьева. В последнем случае рассматривается объединение «Научприбор», изготавливающее аппаратуру для цифровой рентгенографии, рентгеновской спектрометрии, жидкостной хроматографии и др. Центральным элементом модели производства изделия (партии изделий) является сетевой график, который строится по детализированной технологической схеме изготовления изделия. Одновременно реализуется множество графиков.

Для получения календарного плана выполнения работ применяется имитационное моделирование с использованием системы *правил предпочтения*.

При этом учитываются:

- взаимозаменяемость ресурсов;
- совместное использование ресурсов;
- режим использования ресурса (с участием человека и без него);
- количество одновременно обрабатываемых деталей;
- затраты времени на переналадку оборудования.

Гибкое автоматизированное производство. Этой важной проблематике посвящен только один доклад – Р. Р. Загидуллина.

Металлургия. С. А. Власов сообщает об использовании имитационной системы для следующих объектов металлургического производства:

- кислородно-конвертерные цеха с отделениями разлива в слитки и непрерывной разлива;
- электросталеплавильные цеха с непрерывной разливкой; миксерные отделения доменных цехов – конвертерные цеха;
- технологические комплексы «конвертеры (электропечи) – агрегаты внепечной обработки стали – разливочные агрегаты – склады – нагревательные агрегаты»;
- технологические комплексы «печи – стан» различных видов;
- технологические комплексы заготовочных и сортовых станов со складским, транспортным и другим оборудованием.

Судостроение. В этой области представлены две работы (обе – на базе GPSS World). Доклад А. М. Плотникова был посвящен моделированию судокорпусного производства на «Адмиралтейских верфях» (Санкт-Петербург) и на Рыбинском судостроительном заводе.

Б. К. Елтышев применял GPSS/W для проектирования циклограмм автоматизированных гальванических линий на «Адмиралтейских верфях». Здесь модель включена в систему оперативного управления, в связи с чем потребовался предельно упрощенный интерфейс. Исходные данные вводились через экранные формы Microsoft Access, после чего на внутреннем уровне корректировались операнды соответствующих блоков GPSS в тексте модели-прототипа.

Сантехника. Редкой для науки, но чувствительной для всех области посвящена модель производства унитазов, сливных бачков, писсуаров, умывальников, пьедесталов и урн на заводе «Стройфарфор» (Л. А. Осипов). Перед моделированием были поставлены следующие цели:

- выявить соотношение брака и годных изделий за любой период;
- определить интенсивность замены форм;
- выявить частоту дефицита форм на складе и скорректировать стратегию пополнения запасов;
- построить гистограммы распределения длительности работы станков до смены форм;
- построить гистограммы распределения брака в натуральном и стоимостном выражении;
- вывести графики выпуска изделий по участкам;
- выявить продолжительность переходного режима.

Энергоснабжение. В докладе О. А. Савиной была построена модель энергопотребления промышленного предприятия для проведения энергосберегающих мероприятий.

Метрологическое обеспечение. В. М. Прищенко разработал модель технической эксплуатации средств измерения с учетом:

- количества рабочих мест по ремонту и поверке;
- вероятности достаточности ЗИП;
- укомплектованности метрологических и ремонтных органов обменными фондами, технологическим оборудованием, передвижными лабораториями.

Очевидна возможность применения такой модели для анализа работы ремонтных служб разнообразного профиля.

Логистика. Под логистикой понимаются разнообразные процессы перемещения материальных объектов. Доклад Ю. И. Толуева дает хорошее представление об этом круге проблем. Он сообщает о внедрении моделей:

- сборочных конвейеров;
- систем транспортировки грузов внутри предприятия (краны, погрузчики, трейлеры и т. п.);
- стационарных напольных и подвесных систем транспортировки грузов;
- складских процессов (прием грузов, их перемещение в зоны хранения и обратно, отбор, комплектация, упаковка и отправка);
- технологических операций, выполняемых роботами (кинематические, временные и эргономические);

- перемещения крупных объектов (фюзеляжей самолетов, корпусов судов);
- анализа взаимного пространственного расположения компонент изделия;
- физического изменения изделий при прессовке, гибке и т. п.;
- ситуаций типа Crashtest (последствий удара, столкновения и т. п.).

В докладе А. В. Абросимова имитационное моделирование используется при реконструкции металлургических заводов для анализа логистических задач:

- совместной работы технологического и подъемно-транспортного оборудования на уровне цеха;
- внутризаводских транспортных потоков, включая склады полупродукта и готовой продукции, в связи с пуском новых агрегатов (цехов) и выводом из действия устаревшего оборудования.

При этом учитываются пространственное взаимодействие агрегатов на уровне кранового оборудования и вероятностный характер процессов, в частности: переменная длительность операций, совпадение требований на обслуживание, взаимные помехи при работе на одном уровне, износ оборудования.

Разработана человеко-машинная процедура анализа логистических систем, сочетающая эвристические решения проектировщика с имитационными моделями на GPSS. Предложенные варианты проверяются на моделях по производительности, условиям работы оборудования (фонд времени, технология обработки технологических и транспортных потоков), задержкам в обслуживании технологических агрегатов, портфелю заказов. Затем определяются капитальные затраты на реализацию каждого из отобранных вариантов и делается окончательный выбор. Сообщается, что использование накопленного опыта проектирования обеспечивает быструю сходимостью процедуры.

Приводится пример реконструкции сталеплавильного цеха ОАО «Северсталь» (замена электродуговых печей на шахтные, установка сортовой машины непрерывной разливки и реконструкция слябовой) при сохранении существующего здания цеха и подъемно-транспортного оборудования.

По разделу железнодорожного транспорта определены местоположение дополнительных путей, их необходимая длина и места установки дополнительных стрелочных переводов. Рассчитано необходимое число вагонов в составе и количество локомотивов. Проведена оценка пропускной способности автомобильных дорог предприятия с учетом задержек на железнодорожных переездах.

Транспортные проблемы. В докладе Ю. И. Жукова моделируется организация северного завоза грузов – по железной дороге и кораблями. Д. А. Ломаш моделировал подвоз экспортного груза к припортовой станции (Новороссийск).

В. В. Зимин исследовал алгоритмы диспетчирования в междугородных автогрузовых перевозках. Требовалось найти ответы на следующие вопросы:

• какой наибольший суточный поток заявок заданной структуры может обработать фирма при уровне обслуживания не ниже 80 % и существующем парке грузовиков?

• сколько и каких грузовиков надо иметь фирме для обеспечения 80 %-ного уровня обслуживания при поступлении 30–40 заявок за каждые 6 часов?

• имеет ли смысл для повышения уровня обслуживания и прибыльности компании откладывать выполнение заявки до освобождения транспорта?

Р. Г. Гиниятуллин моделировал работу казанского метро. Были поставлены следующие задачи:

• анализ влияния интенсивности пассажиропотоков на загрузку метрополитена и возможные организационные способы устранения очередей в часы «пик»;

• исследование вариантов расписаний движения поездов;

• исследование влияния надежности работы оборудования на пропускную способность системы;

• анализ эффекта организационных мероприятий: количества и расстановки турникетов, расстановки ограждений, введения (отмены) льготного проезда;

• экономическая оценка функционирования метро;

• оценка работоспособности служб метрополитена в чрезвычайных ситуациях: резкое увеличение пассажиропотока, выход из строя большого количества оборудования, снижение энергоснабжения.

Авиация. М. С. Неймарк моделировал эффективность применения самолетов в авиакомпаниях. Входными данными были:

• периодичность и продолжительность планового и непланового технического обслуживания;

• организация его (пропускная способность производственных цехов, квалификация персонала);

• расписание и характеристики маршрутов;

• показатели надежности и эксплуатационной технологичности самолетов;

• перечень оборудования;

• организация снабжения запасными частями.

Модель применялась в конкретных авиапредприятиях для оценки результатов реальной эксплуатации ИЛ-62, ИЛ-86 и для прогнозов – по разрабатываемым Ил-96-300 и Ил-114.

А. А. Артамонов моделировал использование воздушного пространства в зоне аэропорта Рига. Моделирование потребовалось потому, что штатная система управления воздушным движением лишь констатировала конфликтные ситуации (опасное сближение), не выдавая рекомендаций по их разрешению. Определялась вероятность конфликтных ситуаций и влияние на нее исходных параметров. Доклад интересен большим объемом реальных исходных данных. Странно, однако, что скорость самолетов измеряется в сугубо флотских единицах – узлах.

Л. М. Местецкий исследовал наземное движение воздушных судов в аэропорту. Целевыми характеристиками считались:

• суточная пропускная способность;

• параметры задержек вылетов;

- время руления по летному полю при взлете и посадке;

- время работы аэропорта в режиме перегрузки.

Компонентами модели были: редакторы карты летного поля, расписания, сценариев; имитатор; модуль статистики; модуль визуализации.

Как пример последнего уровня детальности назовем доклад К. И. Дизендорфа, посвященный моделированию бортовой системы управления полетом с воспроизведением электронной карты местности. Требовалось определить минимально достаточное число процессоров и распределение работы между ними.

Горное дело использует имитационное моделирование с 1958 г. В 1960-х гг. с помощью моделирования на Фортране анализировали работу шахтной транспортной сети, процессы камерной выемки, взаимодействие самосвалов и экскаваторов на разрезе, работу рельсового транспорта на поверхности. В последние годы модели горного дела чаще всего разрабатывают на GPSS/H (В. Л. Конюх).

Имитационные эксперименты с моделью горных работ позволяют до реальных инвестиций в производство ответить на вопросы:

- какие изменения техники и технологии приведут к увеличению производительности?

- как согласовать работу участков технологической цепи?

- какое оборудование потребуется при переходе на другие участки добычи?

- какое расписание участков эффективнее?

- как продолжать работу при отказах оборудования?

Конкретными объектами моделирования послужили:

- сеть конвейеров шахты «Распадская»,

- диспетчеризация конвейерно-локомотивного транспорта шахты «Комсомолец»,

- взаимодействие экскаваторов и самосвалов на разрезе «Кедровский»,

- технологии проведения выработок (комбайновый и буровзрывной способы).

- компоновка оборудования очистного забоя.

П. В. Гречишкин для имитации процесса очистных работ в длинном забое использовал проблемно ориентированный имитатор сетей Петри.

Медицина. «Медицинские» доклады, как ни странно, не затрагивали процессы лечения больных. А. П. Рагулин моделировал транспортное обеспечение учреждения «семейной медицины». Рассматривались следующие «автомобильные стратегии»:

- предоставить автомобиль каждому врачу и через расширение клиентуры увеличить пропускную способность,

- выделить один автомобиль на несколько врачей,

- не предоставлять автомобиль никому.

И. А. Тогунов моделировал систему оплаты врача. В тексте доклада не удалось найти никаких следов имитации.

Упомянем также доклад Ю. В. Шорникова «Имитационное моделирование билиарной системы». Речь шла о работе (и диагностике) системы желчевыделения, описываемой системой дифференциальных уравнений с запаздывающим аргументом. Имитационные и статистические аспекты в докладе отсутствовали.

Финансы. Большинство участников конференции представляли точные и технические науки. Поэтому для них оказались новыми и интересными (между прочим, и с точки зрения платежеспособного спроса на моделирование) финансово-экономические приложения.

Э. Б. Песиков оценивал на имитационной модели эффективность и степень риска маркетинговых стратегий предприятия. Учитывались действия предприятий-конкурентов и поставщиков ресурсов, коэффициенты эластичности спроса в зависимости от цены товара и дохода потребителей, а также воздействие рекламы на объемы продаж (модель Видаля – Вольфа).

И. В. Яцкив применяла моделирование для оценки рисков инвестиционных проектов. Были выделены детерминированные и стохастические рисковые факторы, влияющие на изменения денежных потоков и упомянутую стоимость проекта. Приведена схема программы имитации. Создан «бизнес-калькулятор», позволяющий настраивать модель на реальные данные и проводить статистический анализ полученных результатов, а также выяснить чувствительность проекта к размеру и сроку банковской ссуды и проценту по ней.

Очень свежей (для инженеров) оказалась имитационная модель финансовых торгов (К. В. Воронцов). Торговля представлена как двойной аукцион. Участники торгов в произвольном порядке подают заявки с указанием направленности (покупка или продажа), цены и объема. Приняв заявку, «торговый автомат» просматривает очередь заявок, поданных ранее, пытается найти удовлетворяющую ей встречную заявку (цена заявки на покупку должна быть не меньше цены заявки на продажу). Приоритет имеют заявки, поданные по наилучшей цене, а среди имеющих одинаковую цену – поданные раньше. Если встречная заявка имеется, автомат фиксирует сделку. Если заявка не удовлетворяется или удовлетворяется частично, остаток ставится в очередь. Участник торгов в любой момент может снять заявку из очереди. В каждый момент максимальная цена в заявках на покупку меньше минимальной цены в заявках на продажу. Разница между ними называется *спрэдом*.

Модель воспроизводит реальную торговую сессию, имитируя действия отдельных участников. Каждый из них «видит» протокол торгов, текущее состояние очереди, собственную позицию (купленный и проданный объемы) и принимает решения о подаче или снятии своих заявок на основе формализованных *мотивов* (степеней целесообразности возможных действий). Чем больше мотив, тем выше

значения параметров сделки. В докладе рассматриваются специфические методы валидации обсуждаемой модели. Модель называется *адекватной*, если в ответ на типовое возмущающее воздействие возникает типичная ответная реакция (например, в ответ на единичную покупку большого объема происходит кратковременное расширение спреда и повышение цены, а затем откат обратно).

Информационные системы. Информационно-вычислительные системы всегда были популярными объектами математического (в частности, имитационного) моделирования. Самые общие проблемы в данной области рассматривались в докладе М. И. Коротина «Оценка живучести распределенных вычислительно-управляющих систем». К «широкоохватным» можно отнести также доклад В. С. Шерстнева об информационных потоках в корпоративной распределенной геоинформационной системе.

Вопросам анализа алгоритмов маршрутизации был посвящен доклад В. В. Колпакова, анализу протоколов маршрутизации – С. А. Макеева.

К проблеме коммутации в сетях передачи данных можно отнести доклады Д. Ю. Пономарева об использовании GPSS/W для изучения коммутационных систем, в том числе с различными типами потоков вызовов. С. Ю. Шерышов исследовал задержки информационных ячеек в узлах коммутации широкополосной сети. В. В. Афонин моделировал локальную вычислительную сеть с топологией «Общая шина».

К более частным (но не менее интересным) проблемам из этой области можно отнести сравнение М. С. Косяковым методов организации дискового пространства файловых серверов.

Несколько докладов было посвящено оценке эффективности мультимедийных технологий. Назовем доклад Р. Т. Алиева о передаче телефонного трафика (речи) по сети Ethernet в реальном масштабе времени и М. С. Косякова – по серверам мультимедиа. Наконец, упомянем работу В. В. Зимина о моделировании деятельности оператора кабельного телевидения. Здесь речь идет об экономической целесообразности установки оборудования для оказания клиентам Интернет-услуг. Предварительно были построены модели поведения потенциальных клиентов.

Коммунальное хозяйство. К данной сфере, проклятой богом и людьми, исследователи обращаются неохотно. По этому поводу процитируем крик души Л. А. Осипова: «Известный навигационный прибор GPS весом 200 г на маршрутах в десятки и сотни километров выводит путешественника к намеченной цели с точностью до одного метра! Неужели в социально-экономических системах вида ЖКХ мы не можем повысить точность расчетов?» Ясно, что сколь угодно адекватные математические модели проблем ЖКХ не решат, но пригодиться могут. Поэтому упомянем доклад Л. А. Осипова о моделировании службы ремонта теплосетей РТС-2 г. Сургута.

Недостатки конференции

Прежде всего отметим отсутствие «приглашенных» (заказных) докладов по общим проблемам имитационного моделирования. Важнейшей из них является сравнительный анализ и на его основе – выбор инструментальных средств. Однако ее решение под силу только *коллективу*. Оргкомитет очередной конференции, учитывая опыт первой, мог бы подготовить методику сопоставления (и, возможно, тестовые задачи), разослать «засветившимся» пользователям приглашения по их любимым системам и представить коллективный аналитический обзор. Такой доклад своей практической пользой окупил бы все затраты на подготовку конференции. Кстати, не обязательно дожидаться конференции: можно просто выпустить информационный или тематический сборник.

При общем высоком уровне конференции по содержанию и форме некоторых докладов приходится сделать ряд серьезных замечаний. Из уважения к проделанной докладчиками полезной работе фамилии авторов ошибок из данного раздела исключены.

Несоответствие тематики. Часть докладов (применение системы Simulink из MatLab, исследование комплексной передаточной функции многолучевой КВ-радиолинии, статистическое моделирование системы «трал – объект лова») не соответствует профилю конференции – имитационному моделированию.

Банальности. Многие доклады начинались с перечисления преимуществ и недостатков имитационного моделирования. Это естественно для лекции перед студентами, но излишне «в кругу своих».

Вряд ли интересно сообщение, что «внесение в цикл диспетчеризации временных задержек при передаче заявок на обслуживание не приводит к повышению уровня обслуживания и прибыльности».

В системе «аксиом» универсальной имитационной модели десятая утверждает, что «две системы, эквивалентные по уровню сложности, могут отличаться целью функционирования». Зачем и кому нужна такая аксиома? Тот же вопрос можно задать и относительно универсальной имитационной модели в целом.

Переоткрытие известного. В некоторых докладах проводится исследование простых систем массового обслуживания «для новых видов распределений» (например, Парето) с особыми свойствами («толстыми хвостами»). Схемы и примеры таких расчетов известны, а «толстый хвост» – просто признак распределения с коэффициентом вариации, превышающим единицу. Уж если заниматься такими исследованиями, то определять следует влияние разницы в высших моментах (при равных первых двух), например, для распределений гамма-, Вейбулла и того же Парето. Можно наперед сказать (есть опыт), что этот эффект будет весьма мал.

Для приоритетных систем доказывається, что среднее время пребывания заявки зависит от высших моментов распределения $A(t)$ интервалов между заявками рекуррентного потока. Из хорошо известной теории системы $G1/M/1$ следует, что распределение времени пребывания заявки в ней подчинено показательному закону со средним $\mu(1-\omega)$, где μ – интенсивность обслуживания, а ω – корень уравнения

$$\omega = \int_0^{\infty} e^{-\mu(1-\omega)t} dA(t).$$

Ясно, что ω определяется всеми существующими моментами распределения $A(t)$, и нет никаких оснований ожидать, что результат изменится для приоритетных систем.

Бессодержательность выводов. Прослушав некоторые доклады, хотелось спросить: «Ну и что?» Ведь на конференцию должны выноситься доклады, содержащие какие-то новые идеи или неожиданные применения. Выводы либо отсутствуют, либо сводятся к резюме: «в статье рассмотрены вопросы...».

Реклама непроверенного. В нескольких докладах излагается и развивается «бутстреп-метод». Имеющиеся N значений с дисперсией d образуют генеральную совокупность, из которой извлекаются B выборок с возвращением. По каждой из них строится оценка искомого параметра исходной случайной величины, затем полученные оценки усредняются. Утверждается, что бутстреп-оценка математического ожидания имеет дисперсию $d/(BN)$. Отмечается, что строгое обоснование метода отсутствует.

Идея этого метода вызывает серьезные сомнения уже с позиций «философии науки». Описанная технология не привлекает *никакой дополнительной информации* об исследуемом процессе (в отличие от методов расслоенных выборок, контрольных и коррелированных переменных, условной имитации) и, по-видимому, является самообманом.

Явные ошибки. Приводятся «схемы алгоритмов», которые никак нельзя признать таковыми (два входа, всякие фрагменты и т. п.).

Некоторые докладчики путают (или, по крайней мере, безответственно употребляют) такие понятия, как среднее квадратическое отклонение, дисперсия (вариация) и второй начальный момент распределения:

- «Немаловажную роль играет и вариация задержки $\sigma(U)$, представляющая собой разброс задержки очередного кадра по отношению к предыдущему»;
- «Второй начальный момент характеризует вариацию σ задержки кадров в сети».

Напомним, что σ – традиционное обозначение для *среднеквадратического отклонения*.

Утверждается, что «глобальные модели наиболее полно отображают структурные и функциональные особенности организации исследуемых систем и представляют собой модели с высоким уровнем

детализации». Общеизвестно, что глобальная модель представляет исходную систему *укрупненно*, и получать ее простым объединением детальных моделей не следует.

Среди уже упоминавшихся «аксиом» о сложных системах шестая утверждает, что «цель системы – своеобразный эталон ее функционирования». Эти два понятия путать никак нельзя.

Рецензент как профессиональный преподаватель и специалист по теории очередей никак не может согласиться с тремя тезисами одного из докладчиков:

1) определение соответствия схем и характеристик теории СМО не требует особого ума и труда не составляет;

2) процесс познания на основе метода Монте-Карло идет со скоростью работы ЭВМ;

3) метод имитационного моделирования не требует знания высшей математики.

Согласно мнению того же докладчика, «по формуле Полячека – Хинчина мы можем иметь расхождение системных характеристик по сравнению с традиционными результатами ровно в два раза, но не более». Напомним читателю эту формулу:

$$w = \frac{\lambda(b_1^2 + D_b)}{2(1 - \lambda b_1)},$$

где w – среднее время ожидания в очереди;

λ – интенсивность входящего потока (простейшего);

b_1 – средняя продолжительность обслуживания;

D_b – дисперсия длительности обслуживания.

Разницу с традиционным результатом (подразумевается система $M/M/1$) ровно в два раза в сторону уменьшения дает только система с регулярным обслуживанием. Для всех остальных систем разница будет иной, а для распределений с коэффициентом вариации, большим единицы, *может быть сколь угодно велика*. Однако (тут мы согласны с автором доклада) этот разброс не оправдывает безобразий, происходящих в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Литературные дефекты. В докладах встречаются высказывания, явно порожденные небрежным редактированием, к примеру «Аналитические методы исследования приоритетных систем обслуживания заявок разработаны в основном для дисциплин с одним классом приоритетов». Ведь если класс один, то теряет смысл понятие приоритета (по крайней мере, приоритета с прерываниями).

Утверждалось, что «менеджмент распределения данных используется для уменьшения объемов передачи и получения некорректных (!) данных». Если речь идет о тестировании процесса обработки данных при ошибочном вводе, это следовало оговорить явно.

Нельзя считать находкой противоестественные словообразования типа «десижентный» (от «decision»). Вполне подошло бы «решающий» – воз-

можно, с сохранением кавычек. Неудачна аббревиатура «ППР» для процесса преобразования ресурсов: слишком многие расшифруют ее как партполитработу.

Представление докладов. Обилие среди докладчиков научной молодежи (вплоть до школьников) является залогом преемственности и дальнейшего развития имитационного моделирования и в принципе может только приветствоваться. Однако «озвучивание» выполненных ими разработок часто оказывалось ниже всякой критики. Типичные недостатки их выступлений: нет четкой формулировки

основного результата и акцента на *смысле* предлагаемого; докладчик вязнет в частности и формализмах, «циклится», дословно читает текст на слайдах и в итоге не укладывается в регламент. От таких авторов следует требовать официального представления доклада научным руководителем с обязательным сообщением о заслушивании на семинаре кафедры (лаборатории, отдела). Все-таки уровень всероссийской конференции обязывает!

Рыжиков Ю. И.

ИНФОРМАЦИОННО – УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Научно-практический журнал
Рецензируемое издание

Подписной индекс по каталогу «Роспечать»:
«Газеты и журналы» – № 15385, «Издания органов НТИ» – № 69291

Журнал прошел экспертизу у ведущих специалистов ВИНТИ и был признан соответствующим тематическому содержанию Реферативного журнала и баз данных ВИНТИ, реферируется в органах ВИНТИ.

Периодичность – каждые два месяца. **Тираж** – 1000 экз. **Распространяется** только по подписке в России и странах СНГ. Возможна подписка через редакцию по заявке (по почте, телефону, факсу или e-mail), по которой высылаем счет. **Высылаем** по Вашей просьбе (бесплатно) образец журнала для подписки. **Стоимость** годовой подписки (6 номеров) – 1800 руб. (включая НДС 10 %), с добавлением стоимости доставки – 90 рублей по России и 300 рублей в страны СНГ. Подписчики информируются о новых книгах издательства «Политехника» и получают скидки на публикацию рекламы. При повторной подписке скидка 10 %.

Приглашаем к сотрудничеству специалистов по построению информационно-управляющих систем, системного анализа и обработки информации, моделирования систем и процессов, совершенствования информационных каналов и сред. Научные статьи, одобренные редколлегией, печатаются бесплатно. Рекламные – согласно расценкам (в рублях, включая НДС 20 %):

Цветные полосы		Черно-белые полосы		Скидки при единовременной оплате	
1-я стор. обложки	15000	1 полоса А4	4000	2-х публикаций	10 %
2-я стор. обложки и каждая стр. вкладки	12000	1/2 полосы	2500	3-х публикаций	15 %
3-я стор. обложки	10000	1/2 полосы	1125	4-х и более	20 %
4-я стор. обложки	12000	1/8 полосы	800		

Примечание: при размещении цветного рекламного модуля не менее 1/2 страницы сопутствующая статья (1–2 страницы) печатается бесплатно.

Требования к рекламным модулям. Принимаются оригиналы фотографий высокого качества и контрастности. Рекламные модули в файловом виде на компакт-дисках или присланные по e-mail в заархивированном виде (RAR, ZIP) с разбивкой на дискеты предоставляются только в форматах TIFF, JPEG, BMP (с разрешением не меньше 300 dpi), выполненные в программах Adobe Photoshop 5.0, Corel Draw 9.0, 10.0.

Научно-исследовательская лаборатория объектно-ориентированных
геоинформационных систем Санкт-Петербургского института информатики
и автоматизации Российской академии наук

ВТОРОЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР
«ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»
IF&GIS-2005

25–27 сентября 2005 г.

Место проведения семинара – Санкт-Петербургский Дом Ученых,
адрес: 191186, Россия, Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 26.

Спонсоры семинара

Российская Академия Наук
Министерство образования и науки РФ
U. S. Office of Naval Research GLOBAL, USA
Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ)
Журнал «Информационно-управляющие системы»

Цели семинара

Рассмотрение и обсуждение вопросов гармонизации, интеграции и слияния информации от разнотипных систем наблюдения с учетом географической информации и данных о среде для реализации процессов принятия решения в системах мониторинга различного назначения и уровня.

Вопросы интеграции информации рассматриваются в контексте практических приложений геоинформационных систем (ГИС) и теории поиска подвижных объектов.

Направления работы конференции

Геоинформатика и геоинформационные системы:
проблемы хранения, доступа и правильного использования доступных данных и информации;

ГИС-интерфейс;

системы преобразования различных форматов (системы импорта-экспорта);

двух- и трехмерное представление исходных данных и результатов моделирования в ГИС.

Интеграция информации в ГИС:

гармонизация, интеграция и слияние данных в ГИС;

импорт-экспорт данных в ГИС;

преобразование различных систем координат и проекций;

интеграция баз данных и баз знаний, ячеечная технология;

трехмерное моделирование, представление данных и результатов.

Исследование операций и теория поиска подвижных объектов для ГИС приложений:

интеграция информации от разнотипных систем обнаружения в реальных условиях изменяющейся среды в пространстве и времени;

оптимизация поиска с учетом географических характеристик и факторов;

понятие тактической ситуации поиска;

понятие операции поиска в реальной среде.

Компьютерная алгебра и компьютерные вычисления в ГИС-приложениях:

формальная постановка и описание проблемы интерпретации компьютерных моделей;

применение теории категорий для формального описания и исследования проблемы интерпретации компьютерных моделей;

сложные компьютерные вычисления и интерпретация результатов.

Технологии программирования ГИС и ГИС-приложений:

объектно-ориентированный подход;

RAD технологии;

объектно-ориентированные и гибридные СУБД;

многоагентные системы;

распределенные вычисления, GRID&SOA технологии.

Разработка ГИС-ориентированных онтологий:

универсальные (базовые) ГИС-онтологии;

онтологии поддержки принятия управленческих решений;

онтологии прикладных предметных областей;

применение XML технологий в ГИС;

использование UML в интересах ГИС.

Интеллектуальные ГИС:

системы автоматизированной (визуальной) разработки и тестирования сценариев;

алгоритмы логического вывода;

экспертные технологии на основе открытого кода;

интеллектуальные интерфейсы ГИС.

Морские ГИС.

Контрольные сроки

Тезисы докладов принимаются до 15 января 2005 г.

Уведомление о приеме – 1 марта 2005 г.

Полный текст доклада (в СПИИ РАН) предоставляется до 31 марта 2005 г.

Дополнительная информация и справки

Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия Васильевского острова, д. 39, СПИИРАН, НИЛ ООГИС

Владимир Николаевич Кожемяка

Тел.: (812) 328-01-79, факс: (812) 329-08-63,

e-mail: kvn@niggis.iias.spb.su

<http://niggis.iias.spb.su>

**БОЛЬШАКОВ
Кирилл
Ридович**



Ассистент кафедры безопасности информационных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1999 году окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Является автором двенадцати научных публикаций. Область научных интересов – безопасность информационных систем.

**ГАГАРИН
Константин
Юрьевич**



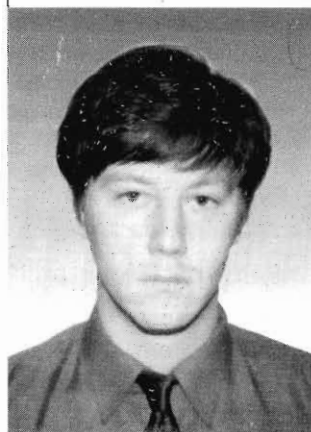
Докторант Санкт-Петербургского Государственного политехнического университета. В 1990 году окончил Ленинградский механический институт. В 1996 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 20 научных публикаций. Область научных интересов – цифровая обработка сигналов.

**ГРИШИН
Вячеслав
Васильевич**



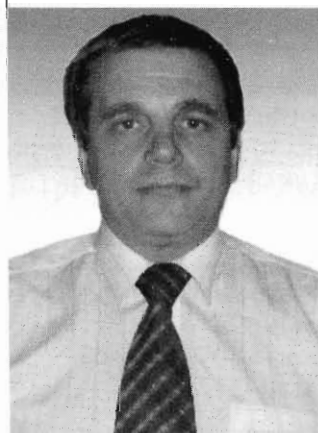
Старший преподаватель Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. В 1987 году окончил Военно-инженерный институт им. А. Ф. Можайского. В 2003 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 27 научных публикаций. Область научных интересов – надежность, готовность и диагностика сложных систем.

**ГУРОВ
Вадим
Сергеевич**



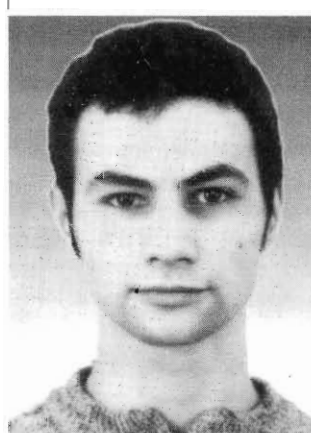
Ведущий программист фирмы eVeloopers Corporation, аспирант кафедры компьютерных технологий Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. В 2002 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. Является автором четырех научных публикаций. Область научных интересов – моделирование распределенных программных систем.

**КОЛБАНЕВ
Михаил
Олегович**



Доцент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, докторант кафедры «Информационные управляющие системы». В 1977 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. В 1987 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 80 научных и научно-методических публикаций. Область научных интересов – методы моделирования центров коммутации сетей связи.

**МАЗИН
Максим
Александрович**



Программист фирмы eVeloopers Corporation, студент кафедры компьютерных технологий Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. В 2004 году защитил дипломную работу на степень бакалавра прикладной математики в Санкт-Петербургском государственном университете информационных технологий, механики и оптики. Является автором четырех научных публикаций. Область научных интересов – теория автоматного программирования, конструирование программных систем на основе моделей, проверка корректности программных моделей.

**НАРВСКИЙ
Андрей
Сергеевич**



Директор компании eVelopers Corporation, сопредседатель Комитета по информатизации Американской торговой палаты (AmCham) в Санкт-Петербурге.

В 1979 году окончил Ленинградский кораблестроительный институт по специальности "Прикладная математика".

В 1985 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 40 научных публикаций.

Область научных интересов – прикладная математика.

**СЕРГЕЕВ
Антон
Валерьевич**



Аспирант Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 2004 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

Является автором пяти научных публикаций.

Область научных интересов – кодовые методы сжатия аудио-видео, беспроводная связь и сети инфраструктуры (ad hoc-сети), криптография, стенография.

**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.

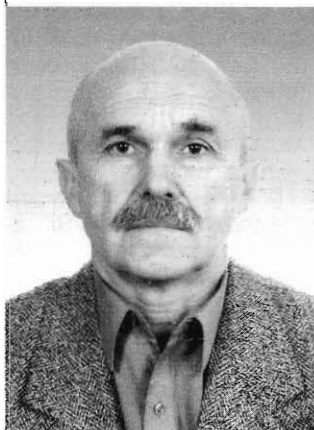
В 1960 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина).

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.

**ЦЕХАНОВСКИЙ
Владислав
Владимирович**



Доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, заслуженный деятель науки и техники РФ, действительный член Российской академии образования.

В 1967 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина).

В 1973 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Является автором более 150 научных публикаций.

Область научных интересов – информационные технологии.

**ШАЛЫТО
Анатолий
Абрамович**



Заведующий кафедрой технологий программирования Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. Ученый секретарь НПО "Аврора".

В 1971 году окончил Ленинградский электротехнический институт по специальности "Автоматика и телемеханика".

В 1999 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 250 научных публикаций, трех монографий и 70 изобретений.

Член редакционной коллегии журнала "Информационно-управляющие системы".

Области научных интересов – системы логического управления, автоматное программирование.

УДК 621.3

Быстрые преобразования Фурье в гиперкомплексных алгебрах с мультипликативной группой ортов
Гагарин К. Ю. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 6. – С. 2–7.

Представлены способы построения алгоритмов быстрого преобразования Фурье в гиперкомплексных алгебрах с мультипликативной группой мнимых ортов, являющихся расширениями поля рациональных чисел.

Список лит.: 5 назв.

УДК 621.396.6

Модель готовности сложной технической системы управления

Гришин В. В. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 6. – С. 8–11.

Техническая система управления рассматривается как сложная система, определяется понятие готовности, проводится анализ аналитических моделей готовности такой системы. Приводится формализованное описание готовности системы и предлагается аналитическая модель готовности с учетом режимов функционирования и интенсивности применения.

Список лит.: 4 назв.

УДК 681.3.06

UML. SWITCH-технология. Eclipse

Гуров В. С., Мазин А. А., Нарвский А. С., Шалыто А. А. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 6. – С. 12–17.

В статье описаны метод и процесс моделирования поведения программы с явным выделением состояний, основанные на SWITCH-технологии и UML-нотации. Также описан процесс создания для платформы Eclipse инструмента, поддерживающего этот метод.

Список лит.: 16 назв.

УДК 621.382.26

О проблемах протоколов взаимодействия распределенных вычислительных систем

Большаков К. Р. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 6. – С. 18–20.

В работе рассматриваются проблемы разработки протоколов уровня приложений и дается краткий обзор этих проблем и причин их возникновения. Предлагается подход к механизму конструирования таких протоколов, нацеленный на преодоление указанных проблем.

Список лит.: 10 назв.

УДК 621.3

Fast Fourier transforms in hypercomplex algebras with multiplicative group of orts

Gagarin K. Yu. – IUS, 2004. – N 6. – P. 2–7.

In this paper we present a methods of fast Fourier transform algorithmic design in hypercomplex algebras with multiplicative groups of imaginary orts. These orts are an extension of rational quantities field.

Refs: 5 titles.

УДК 621.396.6

The Readiness model of complex technical command and control system

Grishin V. V. – IUS, 2004. – N 6. – P. 8–11.

Technical command and control system is described as a complex system. The author gives the definition of readiness and analyzes the analytic readiness models of a complex structural system. Author proposes a new analytic readiness model. This model takes info account the functioning modes and the intensity of its application.

Refs: 4 titles.

УДК 681.3.06

UML. SWITCH-technology. Eclipse

Gurov V. S., Mazin A. A., Narvskiy A. S., Shalyto A. A. – IUS, 2004. – N 6. – P. 12–17.

This article describes method and process of state-based modeling of program behavior, based on SWITCH-technology and UML notation. Creation of plug-in for Eclipse platform, that supports this method, is also described.

Refs: 16 titles.

УДК 621.382.26

The problems of interaction protocols of the distributed computing systems

Bolshakov K. R. – IUS, 2004. – N 6. – P. 18–20.

This paper outlines current problems of development of application-level protocols in distributed systems. A review of issues and their corresponding causes is given. An approach to protocol construction is outlined that is aimed at overcoming these issues.

Refs: 10 titles.

УДК 621.391.28

Принципы построения центров обработки информации и управления инфокоммуникационных сетей следующего поколения

Колбанев М. О. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 6. – С. 21–27.

Рассматриваются принципы построения сетевых мультисервисных центров обработки информации и управления нового типа, которые представляют собой систему взаимосвязанных во времени и пространстве протокольных, вычислительных, алгоритмических и коммутационных средств и являются необходимым элементом инфокоммуникационных сетей следующего поколения.

Список лит.: 6 назв.

УДК 621.391

Анализ нового гибридного протокола маршрутизации для беспроводных сетей с учетом различных условий распространения радиосигнала

Сергеев А. В. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 6. – С. 19–26.

Предлагаемый в статье комбинированный протокол маршрутизации (CRP) для ad hoc-сетей успешно решает основные задачи, связанные с построением и поддержанием маршрута в беспроводной сети без предварительной инфраструктуры.

Для оценки эффективности работы нового протокола проводится его сравнение с другими, широко известными схемами маршрутизации (AODV, GPSR). Сравнение выполняется с использованием различных моделей распространения сигнала, учитывающих условия как городской застройки, так и пригородной зоны.

Список лит.: 5 назв.

УДК 681.327.8

Углубленная профессиональная двухступенчатая система подготовки по направлению «Информационные системы»

Советов Б. Я., Цехановский В. В. – Информационно-управляющие системы, 2004. – № 6. – С. 36–44.

На основе анализа различных форм, видов и направлений подготовки ИТ-образования даются рекомендации по дальнейшей модернизации образования в данной области в связи с подписанием Болонской конвенции и переходом российского образования на трехступенчатую систему подготовки специалистов.

Список лит.: 3 назв.

УДК 621.391.28

The principles of construction network multiservice centres of the next generation

Kolbanev M. O. – IUS, 2004. – N 6. – P. 21–27.

Principles of construction of the network multiservice centers for information processing and management of new type are described in the paper. These centers represented by system of time and space connected protocol, computing, algorithmic and communication means, which are considered as a necessary elements of info communication networks of the next generation.

Refs: 6 titles.

УДК 621.391

Performance comparison of the routing protocols for wireless ad hoc networks on the different radio propagation models

Sergeev A. V. – IUS, 2004. – N 6. – P. 19–26.

The proposed in the paper combined routing protocol (CRP) for ad hoc networks successfully solves the primary goals connected to the construction and route maintenance in a wireless network without a preliminary infrastructure. For an estimation of the new protocol work quality, it was compared with other, widely known circuits of routing (AODV, GPSR). The comparison is fulfilled with use of different models of signal distribution, taking into account city building conditions and residential areas conditions as well.

Refs: 5 titles.

УДК 681.327.8

The profound professional two-level system of preparation on a direction « Information systems »

Sovetov B. Y., Tsehanovskiy V. V. – IUS, 2004. – N 6. – P. 36–44.

On the basis analysis of various forms, kinds and directions preparation of it-education recommendations for the further modernization of education in the given area are given in connection with signing baloney convention and transition of our education to 3 step system of preparation experts.

Refs: 3 titles.

СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА «ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ» за 2004 г. [№ 1 – 6]

	№	Стр.
Алексеев К. В., Решетникова Н. Н. 3D интерактивная модель наблюдений астероидов. Позиционирование телескопа и ПЗС-наблюдения	5	28–37
Астапкович А. М. «Терминологический словарь по электронной технике»	1	56
Астапкович А. М. Формализм адресно-временных карт для описания алгоритмов функционирования многоканальных систем управления. Базовые объекты и операции с АТ-картами	2	26–37
Астратов О. С., Филатов В. Н., Чернышова Н. В. Видеомониторинг транспортных потоков	1	14–21
Бестугин А. Р. Иерархия протоколов для технологии АТМ	5	50–53
Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В. Мультипликативные мультифрактальные процессы в моделировании сетевого трафика	2	12–15
Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В. Оценивание фрактальной размерности	1	38–40
Большаков К. Р. О проблемах протоколов взаимодействия распределенных вычислительных систем	6	18–20
Биденко С. И., Самотонин Д. Н. Сплайн-интерполяция высот рельефа местности при моделировании распространения радиоволн с использованием векторных геоданных	3	22–30
Бубликов А. Б. О свойствах двоичных матриц, используемых в алгоритмах кодирования информации булевыми преобразованиями	5	26–27
Вилесов Л. Д. Обнаружение-измерение неизвестного числа объектов с неизменными параметрами на изображении	1	22–29
Воробьев С. Н. Марковская модель пересечения стационарного гауссова процесса с детерминированным уровнем	3	12–16
Воробьев С. Н. Пересечение гауссовым марковским процессом детерминированного уровня	2	16–20
Гагарин К. Ю. Быстрые преобразования Фурье в гиперкомплексных алгебрах с мультипликативной группой ортов	6	2–7
Гришин В. В. Модель готовности сложной технической системы управления	6	8–11
Гуров В. С., Мазин М. А., Нарвский А. С., Шалыто А. А. UML. SWITCH-технология. Eclipse	6	12–17
Дехканбаев Д. С. Уменьшение временной сложности алгоритмов вычисления фрактальной размерности трехмерных точечных фракталов	5	7–12
Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В. Методы быстрого распознавания символов, пригодные для аппаратной реализации	4	2–6
Ерош И. Л., Скуратов В. В. «Игры в прятки» с перехватчиком сообщений	2	45–49
Зикратов И. А., Степаненко К. В. Обоснование требований к точности цифровой картографической информации в геоинформационных системах проектирования и анализа радиолиний	2	21–25
Колбанев М. О. Принципы построения центров обработки информации и управления инфокоммуникационных сетей следующего поколения	6	21–27
Колбанев А. М., Яковлев С. А. Эволюция услуг сетей связи	4	36–41
Колесников Д. Н., Мендельсон А. М. Нейронные сети в задачах функционального и тестового диагностирования управляемых динамических объектов	4	21–30
Красильников Н. Н. Методы увеличения степени сжатия изображений энтропийными кодерами	1	10–13
Леонтьев А. Е. Применение UML при проектировании встраиваемых систем цифровой обработки сигналов	2	38–44
Лукманов Ю. Х. Региональная политика и управление отраслевыми промышленными системами	1	50–55
Мальцев Г. Н. Выбор режима регистрации изображений в оптических информационных системах с матричными фотоприемниками	2	2–5
Мальцев Г. Н. Потенциальные характеристики оптико-электронных систем сбора информации	3	17–21
Никандров Н. Д., Советов Б. Я. Развитие информационного общества и проблемы подготовки кадров в области информационных технологий	4	42–48
Обухова Н. А. Обнаружение и сопровождение движущихся объектов методом сопоставления блоков	1	30–37
Оводенко А. А., Красюк В. Н., Горбацкий В. В. Метод расчета характеристик излучения апертурных антенн на летательных аппаратах из композитов	4	31–35
Оводенко А. А., Красюк В. Н., Федотченко В. К., Горбацкий В. В. Экспериментальные исследования нагревостойких антенн с плиточной защитой при солнечном нагреве параболическим концентратором	3	43–51

	№	Стр.
Осипов Л. А., Смирнов М. А. Автопрогнозирование социально-экономических показателей посредством совокупности специализированных моделей	2	50–54
Осипов Л. А., Смирнов М. А. Использование методов сжатия данных без потерь информации в условиях жестких ограничений на ресурсы устройства-декодера	4	7–15
Охонский А. Г. Оптимизация азимутального сечения диаграммы направленности РЛС с синтезированной апертурой по критерию подавления периодической структуры дифракционных выбросов	2	6–11
Подкорытов Д. А. Модель политики безопасности вычислительных систем	1	41–49
Розов А. К., Бухарцев М. Н. Классификация морских объектов	5	2–6
Розов А. К., Лось А. П., Зелялютинов А. Р. Новые возможности в обнаружении движущихся объектов	4	16–20
Рыжиков Ю. И. ИММОД-2003 – аналитический обзор	6	45–56
Семенов А. С. Особенности создания систем трансляции радиолокационной информации по компьютерным сетям и узкополосным линиям связи	3	4–11
Сергеев А. В. Анализ нового гибридного протокола маршрутизации для беспроводных сетей с учетом различных условий распространения радиосигнала	6	28–35
Сергеев М. Б., Чудиновский Ю. Г. Перспективы использования коммуникационных процессоров для создания глобально распределенных IP-систем	3	31–34
Советов Б. Я., Цехановский В. В. Углубленная профессиональная двухступенчатая подготовка по направлению «Информационные системы»	6	36–44
Тимофеев Б. С. Системы видеонаблюдения железнодорожных составов	1	2–9
Федоров И. Б., Коршунов С. В., Советов Б. Я. Перспективы подготовки кадров по направлению «Информационные системы»	5	38–43
Шалыто А. А., Шопырин Д. Г. Синхронное программирование	3	35–42
Шамгунов Н. Н., Корнеев Г. А., Шалыто А. А. State Machine – новый паттерн объектно-ориентированного проектирования	5	13–25
Шепета А. П. Моделирование социально-экономических показателей посредством многоканальных нелинейных дискретных формирующих фильтров	4	49–56
Яковлев С. А. Методические основы использования имитационного моделирования в учебном процессе при подготовке по направлению 654700 – информационные системы	5	44–49
7-ая Международная конференция «Компьютерная алгебра и научные вычисления»	1	57
7-ая Международная конференция «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии» РОАИ-7-2004	1	57
20 лет Институту программных систем Российской академии наук	3	2
24-я Международная конференция по школьной информатике и проблемам устойчивого развития	6	64
25 лет конференции «Школьная информатика»	3	52–56
IV Международная конференция «Идентификация систем и задач управления» SICRO'05	2	57
IV Международная конференция «Приборостроение в экологии и безопасности человека»	3	57
XII Общероссийская научно-техническая конференция «Методы и технические средства обеспечения безопасности информации»	4	57
Аннотации	1	60–62
Аннотации	2	61–63
Аннотации	3	61–63
Аннотации	4	62–64
Аннотации	5	61–63
Аннотации	6	60–61
Второй международный семинар «Интеграция информации и геоинформационные системы» IF&GIS-2005	6	57
Международная научная конференция «ЭЭЭ – 2004»	2	55–56
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	4	58
Рекурсивные вычислительные системы	5	54–57
Сведения об авторах	1	58–59
Сведения об авторах	2	58–60
Сведения об авторах	3	58–60
Сведения об авторах	4	59–61
Сведения об авторах	5	58–60
Сведения об авторах	6	58–59
Содержание журнала «Информационно-управляющие системы» за 2004 год	6	62–63

24-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ШКОЛЬНОЙ ИНФОРМАТИКЕ И ПРОБЛЕМАМ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

15–16 апреля 2005 г., Санкт-Петербург

Конференция проводится в соответствии с планом мероприятий Министерства образования и науки РФ и ряда международных организаций.

Направления работы конференции

Предполагается обсудить вопросы развития и применения новых информационных технологий в искусстве, образовании, здравоохранении, экологии, экономике, юриспруденции, промышленности, сельском хозяйстве, местном самоуправлении, в космонавтике и авиации и других сферах. Будут рассматриваться вопросы моделирования различных систем, объектов и процессов, вопросы разработки баз и банков данных, экспертных систем и систем искусственного интеллекта, систем виртуальной реальности, обучающих программ, электронной коммерции, развлекательных и игровых программ и устройств, вычислительных сетей и систем интегрированного сервиса, вопросы музыкальной информатики, интерактивного компьютерного кино и других компьютерных искусств и виртуальных музеев и структур. На отдельной секции будут рассматриваться вопросы создания электронной базы данных музейных фондов в области научной, научно-технической и образовательной деятельности, находящихся в учреждениях и организациях города, вопросы создания визионариума, посвященного 60-летию Победы.

В рамках конференции будет проводиться фестиваль сайтов школ, классов, учеников, студентов и преподавателей.

Примерная структура сайтов:

характеристика территории (микрорайон, школа и др.);

характеристика населения (жители микрорайона, учителя, ученики школы);

пассионарность населения (его устремленность, героические поступки – история Отечественной войны и др.);

вид деятельности (образовательная, просветительская и воспитательная) школы, класса, отдельного человека;

экология и безопасность;

финансы, спонсоры, попечительский совет;

внешние связи (с другими школами, городами, странами и др.).

Также в рамках конференции проводится Санкт-

Петербургский фестиваль компьютерных искусств. В этом мероприятии может принять участие любой желающий. Жюри фестиваля в течение всего календарного года принимает работы, выполненные с использованием компьютерных технологий, в следующих номинациях: компьютерная графика, музыка, анимация и web-дизайн. Итоги фестиваля подводятся в актовом зале Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Авторы лучших работ награждаются в торжественной обстановке призами от компаний Microsoft, Intel, Lynx BCC, Linux Ink, «Титаник» и Musicland.

Отбор работ будет происходить анонимно (жюри рассматривает пронумерованные работы). Лишь после того, как работа займет призовое место, будут оглашены фамилия или псевдоним автора.

Авторам некоторых работ, даже не получивших призов, будет предложено дальнейшее сотрудничество, прежде всего это касается таких жанров, как музыка и анимация.

Фестивалю оказывают информационную поддержку издательства «Техноподиум», «КомпьютерPrice», «КомпьютерМаркет» и журнал «Информационно-управляющие системы».

Контрольные сроки

Тезисы докладов объемом в 1 страницу необходимо выслать до 1 февраля 2005 г. по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, ГУАП. Председателю Оргкомитета профессору М. Б. Игнатьеву.

Конкурсные работы в рамках фестиваля принимаются по адресу:

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67, ГУАП, каф. 44.

Дополнительная информация и справки

Тел.: (812) 313-70-44

Факс: (812) 315-77-78

e-mail: eisdp@aanet.ru

Координатор фестиваля Сергей Людиновсков.

Тел.: (812) 342-32-06

E-mail: ludinovskov@mail.ru

<http://ludinovskov.narod.ru>

ИНСТИТУТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ (ИЭТ ГА) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП)



Огромный научный потенциал и славные педагогические традиции Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), накопленные за его шестидесятилетнюю историю, позволили в 1992 году учредить на базе ГУАП Институт эксплуатационных технологий гражданской авиации (ИЭТ ГА).



ИЭТ ГА организует и проводит курсы повышения квалификации (КПК) и переподготовку инженерно-технических и руководящих работников предприятий, эксплуатирующих радиолокационное, радионавигационное и связное оборудование с выдачей государственного удостоверения о прохождении переподготовки или повы-

шения квалификации, а также координирует работу факультетов ГУАП по подготовке дипломированных специали-

стов по очной и заочной формам обучения по направлению 552000 "Эксплуатация авиационной и космической техники" (бакалавры и магистры) и специальностям: 201300 "Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования" (направление 658100 "Аэронавигация") и 131000 "Техническая эксплуатация авиационных электросистем и пилотажно-навигационных комплексов"

Тематика КПК

- Современное состояние и перспективы развития наземных средств обеспечения полетов (СОП)
- Современные методы и средства радиолокации в системе УВД
- Радионавигация и спутниковые системы
- Связь и телекоммуникация в системе УВД
- Аппаратура обработки информации и АС УВД

Направ-



ления переподготовки специалистов

- Моноимпульсный вторичный радиолокатор МВРЛ-СВК (совместно с ВНИИРА)
- АПОИ "Приор" (совместно с ЗАО "Приор")

Методическая и материально-техническая база КПК

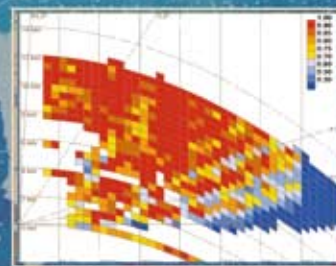
Занятия проводятся интегральными усилиями Ученых ГУАП, ГУТ, СЗПУ и др. вузов Санкт-Петербурга, главных конструкторов и ведущих специалистов – разработчиков средств обеспечения полетов, специалистов по эксплуатации ФГУАП "Пулково". За время занятий слушатели посещают промышленные предприятия: ВНИИРА, РИМР, и др. Обмен опытом эксплуатации наземных средств УВД проводится непосредственно в ФГУАП "Пулково"

Условия обучения на КПК

Продолжительность обучения: на КПК – 72 часа (2 недели), на курсах по переподготовке – 120 часов, студентов на очном и заочном отделениях – по плану ГУАП.

Проживание в комфортабельной гостинице на берегу Финского залива, в 15 минутах ходьбы от станции метро "Приморская".

Стоимость обучения в 2005 году: на КПК – 10000 руб., на курсах по переподготовке – по согласованию. Стоимость обучения студентов в 2004/2005 учебном году на дневном отделении – 1000 у. е., на заочном – 500 у. е. в год



Приглашаем Вас и Ваших сотрудников к взаимному сотрудничеству. Будем искренне рады видеть Вас в числе слушателей КПК или студентов различных форм обучения. Готовы ответить на все Ваши вопросы и конструктивные предложения.

Адрес : 190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67
Директор ИЭТ ГА : доктор техн. наук, проф. Красюк Владимир Николаевич
Зам. директора ИЭТ ГА : Аюков Борис Алексеевич
Методист : Рощина Галина Александровна
Тел./факс (812) 110-6288 E-mail: ietga@aanet.ru
Сайт: <http://aanet.ru/ietga/>

LIC Russia

7-я Международная специализированная выставка

Россия • Москва • КВЦ «Сокольники» 1-4 марта

**ЛАЗЕРЫ
ОПТИКА
ЭЛЕКТРОНИКА**

2005

ОРГКОМИТЕТ ВЫСТАВКИ:

107113 Москва
Сокольнический вал, 1, пав. 4
Тел.: (095) 105-3417,
268-0709, 269-5866
Факс: (095) 268-0891,
105-3489
E-mail: es@mvk.ru

www.lisexpo.ru

О Р Г А Н И З А Т О Р Ы :



**Лазерная
ассоциация**

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

ISSN 1684-8853



9 771684 885009