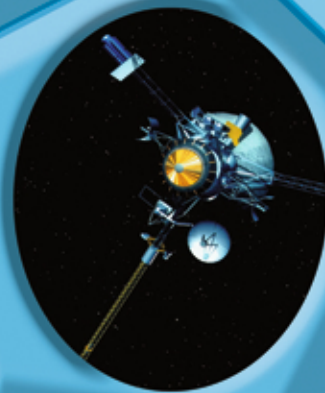
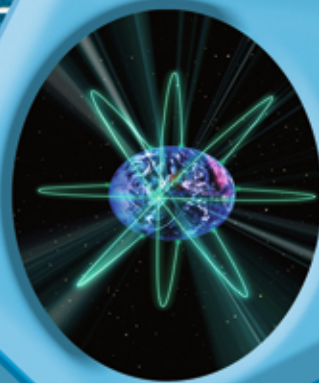


ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



4(35)/2008

4(35)/2008

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

РЕЦЕНЗИРУЕМОЕ ИЗДАНИЕ

Учредитель

ОАО «Издательство «Политехника»»

Главный редактор

М. Б. Сергеев,
доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

Г. Ф. Мощенко

Редакционный совет:

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

Редакционная коллегия:

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

Редактор: А. Г. Ларионова

Корректор: Т. В. Звертановская

Дизайн: М. Л. Черненко, А. Н. Колешко

Компьютерная верстка: С. В. Барашкова

Ответственный секретарь: О. В. Муравцова

Адрес редакции: 190000, Санкт-Петербург,

Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ

Тел.: (812) 494-70-36

Факс: (812) 494-70-18

E-mail: 80x@mail.ru; ius@aanet.ru

Сайт: www.i-us.ru

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

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

Журнал распространяется по подписке. Подписку можно оформить через редакцию, а также в любом отделении связи по каталогам: «Роспечать»: № 48060, № 15385; «Пресса России»: № 42476.

© Коллектив авторов, 2008

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ

Коржавин Г. А., Подоплекин Ю. Ф., Бредун И. Л. Кроссиндикация групповой помехи в моноимпульсной РЛС 2

Моисеенко А. С., Матяш В. А. Разработка методов скрещивания эпох для предотвращения сходимости генетического алгоритма 9

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

Шишлаков В. Ф., Шишлаков Д. В., Цветков С. А. Синтез и моделирование автономной электроэнергетической установки 14

Семенцов С. Г. Моделирование передаточной функции вторичного канала систем активного гашения шума 18

ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Толмачев А. С. Язык моделирования бизнес-процессов BPD 23

ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

Мальцев Г. Н., Теличко В. В. Оптимизация состава средств защиты информации в информационно-управляющей системе с каналами беспроводного доступа на основе графа реализации угроз 29

ИНФОРМАЦИОННЫЕ КАНАЛЫ И СРЕДЫ

Красюк В. Н., Бестугин А. Р., Рыжиков М. Б. Микрополосковая сферическая активная фазированная антенная решетка с электронным сканированием путем перекоммутации излучателей 34

Зикратов И. А., Зикратова Т. В. Оптимизация зоны покрытия систем сотовой связи на загородных участках местности методом стохастического программирования 39

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБРАЗОВАНИЕ

Тазетдинов А. Д. Автоматный подход в построении компьютерных обучающих диалогов 42

Алсынбаева Л. Г. E-Learning в системах корпоративного обучения в России: тенденции, проблемы, перспективы 49

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Сальников А. В., Лившиц И. Л., Унчун Чо. Повышение эффективности использования алгоритма композиции оптических систем с применением современных информационных технологий 53

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

Международная научная конференция «Дни кодирования в Санкт-Петербурге» 57

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

58

АННОТАЦИИ

62

ЛР № 010292 от 18.08.98.
Сдано в набор 00.00.00. Подписано в печать 00.00.00. Формат 60×841/8.
Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBook. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 7,5. Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 1000 экз. Заказ 395.

Оригинал-макет изготовлен в редакционно-издательском центре ГУАП. 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

Отпечатано с готовых диапозитивов в редакционно-издательском центре ГУАП. 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

УДК 621.396.96: 621.391.828

КРОССИНДИКАЦИЯ ГРУППОВОЙ ПОМЕХИ В МОНОИМПУЛЬСНОЙ РЛС

Г. А. Коржавин,

канд. техн. наук, генеральный директор

Ю. Ф. Подоплекин,

доктор техн. наук, первый зам. генерального директора

И. Л. Бредун,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник

ОАО «Концерн «Гранит-Электрон»

Предлагаются меры, обеспечивающие надежное распознавание групповой маскирующей помехи в РЛС. Приводятся результаты исследований, полученные на математической модели.

Введение

Шумовые маскирующие помехи создают серьезные трудности для работы радиолокационных станций (РЛС), препятствуя нормальному процессу обнаружения и сопровождения целей. В частности, при их постановке может существенно снизиться эффективность работы моноимпульсной РЛС, являющейся элементом системы управления противокорабельной крылатой ракетой (ПКР). Разработчики РЛС предпринимают меры, направленные на повышение их помехозащищенности. Это и использование шумоподобных сигналов, затрудняющих разведку излучения РЛС; и перестройка несущей частоты сигналов; и пространственно-временная селекция целей; и комплексирование РЛС с системами, работающими в других диапазонах электромагнитных волн, и множество других мероприятий [1–7]. Однако проблему эффективной работы РЛС при наличии маскирующих помех нельзя считать окончательно решенной.

Важным элементом обеспечения помехозащищенности РЛС относительно маскирующих помех является их надежное распознавание. Действительно, перед тем как принимать меры по преодолению воздействия помехи или, по крайней мере, по уменьшению ее эффективности, необходимо установить сам факт ее постановки. А для этого требуются надежные способы обнаружения помехи, реализуемые в индикаторах воздействия помехи. Такие индикаторы в арсенале средств разработчика РЛС имеются. К ним, в частности, относится устройство обнаружения помехи в стробах, в которых выключается быстродействующая автоматическая регулировка усиления и производит-

ся сравнение сигнала на выходе приемника с порогом, по превышению которого и принимается решение о наличии помехи [7].

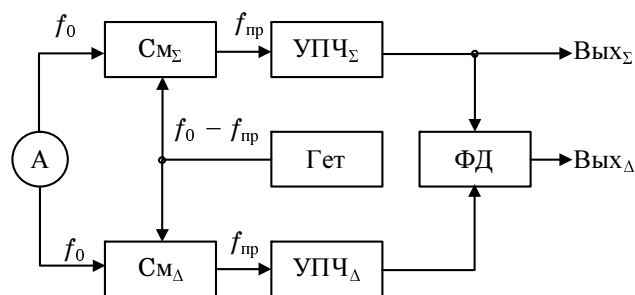
Однако кроме самого факта наличия помехи представляют интерес и такие ее характеристики, как энергетика, диапазон излучения и т. д. Для оценивания этих характеристик применяются специальные методы и средства. Так, для оценки энергии помехи можно измерять уровень шума на выходе приемника, а для определения частот ее излучения — фиксировать наличие помехи при настройке приемника на различные несущие частоты. Представляет интерес исследовать еще одно свойство помехи, связанное с пространственным распределением источников помехи по азимуту. При этом на каждом азимуте, на котором воздействует помеха, желательно знать, производится ли излучение из одной точки пространства или помеха является результатом излучения с нескольких (двух или более) пространственно разнесенных постановщиков. Эта информация может использоваться в различных режимах работы РЛС. На этапе обнаружения целей при излучении помехи с одного направления в моноимпульсной РЛС могут эффективно применяться методы пространственно-временной селекции целей на фоне помехи, в то время как при излучении с нескольких разрешаемых по углу направлений эти методы не являются эффективными [7]. На этапе сопровождения помехи в целях самонаведения ПКР — носителя РЛС на ее источник — необходимая точность попадания ПКР в источник помехи обеспечивается только при ее излучении из одной точки. При попадании в диаграмму направленности антенны

(ДНА) помех с нескольких различных направлений точность самонаведения ПКР на постановщик любой помехи заметно снижается. Поэтому использование информации о характере излучения помехи может существенно повысить общую эффективность применения РЛС. Не занимаясь здесь вопросами разработки общей логики использования РЛС в различных режимах ее работы и в различных помеховых ситуациях, рассмотрим способ определения обобщенного признака, характеризующего пространственное распределение помех в пределах ДНА РЛС.

Индикация распределения помех в одной плоскости

Упрощенная схема приемной части моноимпульсной РЛС автосопровождения цели в одной плоскости [8] представлена на рис. 1.

Высокочастотные суммарный и разностный сигналы с антенны A преобразуются в смесителях суммарного $СМ_{\Sigma}$ и разностного $СМ_{\Delta}$ каналов с несущей частоты f_0 на промежуточную частоту $f_{пр}$ под воздействием сигнала гетеродина $Гет$, имеющего частоту $f_0 - f_{пр}$, и усиливаются в усилителях промежуточной частоты $УПЧ_{\Sigma}$, $УПЧ_{\Delta}$. Сигнал с выхода суммарного канала $Вых_{\Sigma}$ используется для дальнейшей обработки в обнаружителе целей и помех и в системе сопровождения цели по дальности, а также обрабатывается совместно с разностным сигналом в фазовом детекторе $\Phi Д$, на выходе $Вых_{\Delta}$ которого образуется сигнал углового рассогласования, используемый в системе автоматического сопровождения цели по угловой координате. (В приведенной схеме опущен ряд элементов, не являющихся существенными для данного рассмотрения, например, выполняющих нормировку разностного сигнала по суммарному.) Обычно разностный канал используют только в режиме сопровождения цели или источника помехи, а для обнаружения целей и помех ограничиваются информацией суммарного канала. Но при использовании разностного канала не только при сопровождении выбранного объекта, но и в режиме обнаружения появляются новые возможности для анализа свойств помех, источники которых попадают в ДНА РЛС. Для реализации этих возможностей необходимо предварительно преобразовать



■ Рис. 1. Схема автосопровождения цели по углу

схему, представленную на рис. 1, дополнительно введя в нее фазовый детектор $\Phi Д_2$, на который суммарный сигнал подается со сдвигом фазы на $\pi/2$ (рис. 2).

На выходе $Инд$ этого фазового детектора и образуется сигнал, пороговая оценка которого является основой для индикации распределенной по углу (групповой) помехи. Рассмотрим этот процесс отдельно для случаев воздействия на вход РЛС одной помехи и двух разнесенных по азимуту помех.

Для случая приема одной помехи обозначим через X_{Σ} , Y_{Σ} и X_{Δ} , Y_{Δ} ортогональные составляющие суммарного и разностного сигналов соответственно на выходах $УПЧ_{\Sigma}$ и $УПЧ_{\Delta}$. Поскольку на выходе фазового детектора формируется скалярное произведение векторов сигналов, поступающих на его входы, сигнал на $Вых_{\Delta}$ $\Phi Д_1$ равен

$$U_{\Phi Д_1} = X_{\Sigma} X_{\Delta} + Y_{\Sigma} Y_{\Delta}. \quad (1)$$

А для сигнала на выходе индикации групповой помехи $Инд$ $\Phi Д_2$, с учетом того, что при повороте фазы суммарного сигнала на угол $\pi/2$ составляющие суммарного сигнала X_{Σ} , Y_{Σ} преобразуются соответственно в Y_{Σ} , $-X_{\Sigma}$, аналогичное выражение принимает вид

$$U_{\Phi Д_2} = Y_{\Sigma} X_{\Delta} - X_{\Sigma} Y_{\Delta}. \quad (2)$$

Поскольку суммарный и разностный сигналы в моноимпульсной РЛС могут находиться только в фазе или в противофазе, в зависимости от направления отклонения цели (или помехи) от равносигнального направления антенны, составляющие этих сигналов X и Y ортогональны. Поэтому из выражения (2) следует, что

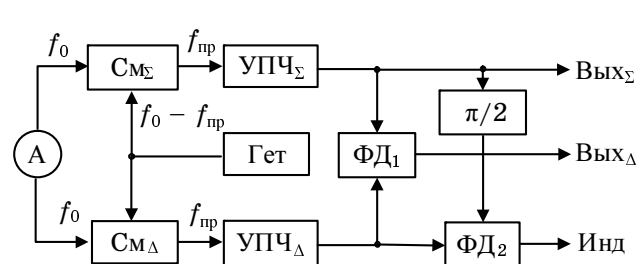
$$U_{\Phi Д_2} \equiv 0. \quad (3)$$

Для случая приема сигналов от двух разнесенных по углу помех введем аналогичные обозначения $X_{\Sigma i}$, $Y_{\Sigma i}$, $X_{\Delta i}$, $Y_{\Delta i}$, где индексом $i = 1, 2$ обозначен номер помехи, от которой принята соответствующая составляющая сигнала. В этом случае выражение (2) принимает следующую форму:

$$U_{\Phi Д_2} = (Y_{\Sigma 1} + Y_{\Sigma 2})(X_{\Delta 1} + X_{\Delta 2}) - (X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2})(Y_{\Delta 1} + Y_{\Delta 2}), \quad (4)$$

или после преобразований:

$$U_{\Phi Д_2} = (Y_{\Sigma 1} X_{\Delta 1} - X_{\Sigma 1} Y_{\Delta 1}) + (Y_{\Sigma 2} X_{\Delta 2} - X_{\Sigma 2} Y_{\Delta 2}) + (Y_{\Sigma 1} X_{\Delta 2} - X_{\Sigma 1} Y_{\Delta 2}) + (Y_{\Sigma 2} X_{\Delta 1} - X_{\Sigma 2} Y_{\Delta 1}). \quad (5)$$



■ Рис. 2. Схема индикации групповой помехи в одной плоскости

Поскольку составляющие сигналов в каждой из двух первых пар скобок выражения (5) принадлежат одной и той же помехе, то в соответствии с выражениями (2) и (3) эти составляющие равны нулю. Преобразуя оставшуюся часть выражения (5), будем иметь

$$U_{\Phi Д2} = (k_1 - k_2)(X_{\Sigma 1} Y_{\Sigma 2} - X_{\Sigma 2} Y_{\Sigma 1}), \quad (6)$$

где предполагается, что для каждой из двух помех составляющие разностных сигналов пропорциональны составляющим суммарных сигналов с коэффициентами пропорциональности, равными соответственно k_1 и k_2 :

$$\left. \begin{aligned} X_{\Delta 1} &= k_1 X_{\Sigma 1}; \\ Y_{\Delta 1} &= k_1 Y_{\Sigma 1}; \\ X_{\Delta 2} &= k_2 X_{\Sigma 2}; \\ Y_{\Delta 2} &= k_2 Y_{\Sigma 2}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Такое представление разностного сигнала как величины, пропорциональной суммарному сигналу, соответствует описанию сигналов в моноимпульсной РЛС [8]. Коэффициенты k_1 и k_2 зависят при этом от отклонения равносигнального направления антенны РЛС от направлений на источники первой и второй помехи. Из выражения (6) следует, что, в отличие от варианта одной помехи, при наличии двух помех в общем случае выходной сигнал $\Phi Д_2$ не равен нулю. Исключение возможно только при $k_1 = k_2$. Но при этом, согласно выражениям (7), разностные сигналы для обеих помех составляют одну и ту же часть соответствующего суммарного сигнала. А это означает, что они принимаются по одному и тому же уровню разностной ДНА, следовательно, источники помех совпадают по направлению, что эквивалентно постановке одной помехи.

Итак, мы пришли к заключению, что сигнал на выходе Инд $\Phi Д_2$ имеет нулевое значение при наличии помехи с одного направления и отличен от нуля для случая двух разнесенных по углу источников помех. Легко показать, что при наличии более чем двух разнесенных помех этот сигнал также принимает ненулевое значение. Следовательно, сравнивая уровень сигнала на выходе Инд с порогом, можно по результату этого сравнения определить, излучается ли принимаемая помеха с одного направления или же она создается несколькими разнесенными по углу источниками.

При анализе групповой помехи мы подвергали взаимной обработке в $\Phi Д_2$ ортогональные, т. е. перекрестные составляющие принимаемых от помехи сигналов. Поэтому мы назвали наше устройство *кроссиндикатором* групповой помехи.

Эффективность рассмотренного способа индикации групповой помехи может существенно снизиться при недостаточной точности установки фазы сигнала помехи на входах $\Phi Д_2$. До сих пор мы считали, что сигналы помехи с одного направ-

ления на входах этого фазового детектора ортогональны. Однако за счет неточного фазирования суммарного и разностного каналов ошибки поворота фазы в фазовращателе на $\pi/2$ (см. рис. 2) или погрешностей работы $\Phi Д_2$ возможны искажения фазы поступающих на эти входы сигналов. Это эквивалентно дополнительному изменению фазы сигнала на выходе фазовращателя $\pi/2$ на некоторый угол $\Delta\alpha$. Рассмотрим влияние этих искажений.

Прежде всего, заметим, что при наличии помех с нескольких направлений влияние этого фактора не проявляется. Действительно, при этом сигнал на выходе Инд превышает пороговый уровень даже при $\Delta\alpha = 0$. Поэтому дополнительное увеличение этого сигнала только подтверждает, что его величина больше порога. Но при приеме помехи с одного направления ненулевой уровень этого сигнала может существенно исказить результаты ее тестирования. Поэтому мы рассмотрим влияние искажения фазы именно для этого случая.

Заменим в выражении (2) ортогональные составляющие суммарного сигнала X_{Σ} , Y_{Σ} их значениями, повернутыми по фазе на угол $\Delta\alpha$:

$$\left. \begin{aligned} X'_{\Sigma} &= X_{\Sigma} \cos \Delta\alpha - Y_{\Sigma} \sin \Delta\alpha; \\ Y'_{\Sigma} &= Y_{\Sigma} \cos \Delta\alpha + X_{\Sigma} \sin \Delta\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

После такой подстановки получим

$$U_{\Phi Д2} = (Y_{\Sigma} \cos \Delta\alpha + X_{\Sigma} \sin \Delta\alpha) X_{\Delta} - (X_{\Sigma} \cos \Delta\alpha - Y_{\Sigma} \sin \Delta\alpha) Y_{\Delta}, \quad (9)$$

или после преобразований:

$$U_{\Phi Д2} = (Y_{\Sigma} X_{\Delta} - X_{\Sigma} X_{\Delta}) \cos \Delta\alpha + (X_{\Sigma} X_{\Delta} + Y_{\Sigma} X_{\Delta}) \sin \Delta\alpha. \quad (10)$$

В соответствии с выражениями (2) и (3) первая скобка в формуле (10) имеет нулевое значение. Дальнейшие результаты зависят от того, в каких элементах схемы рис. 2 имеет место ошибка по фазе $\Delta\alpha$. Если УПЧ сфазированы точно, а ошибка присутствует только в фазовращателе на $\pi/2$ или в $\Phi Д_2$, то для сигнала на выходе $\Phi Д_1$ сохраняется справедливое выражение (1), с учетом которого можно переписать выражение (10) в виде

$$U_{\Phi Д2} = U_{\Phi Д1} \sin \Delta\alpha, \quad (11)$$

откуда следует:

$$\Delta\alpha = \arcsin \frac{U_{\Phi Д2}}{U_{\Phi Д1}}. \quad (12)$$

В случае же, если фазовращатель на $\pi/2$ и $\Phi Д_2$ настроены точно, а ошибка $\Delta\alpha$ возникает только из-за неточной настройки по фазе УПЧ $_{\Sigma}$, УПЧ $_{\Delta}$, выражение для выходного сигнала $\Phi Д_2$ (10) остается справедливым, но выходной сигнал $\Phi Д_1$ (1), с учетом (8), изменяется:

$$U_{\Phi Д1} = (X_{\Sigma} \cos \Delta\alpha - Y_{\Sigma} \sin \Delta\alpha) X_{\Delta} + (Y_{\Sigma} \cos \Delta\alpha + X_{\Sigma} \sin \Delta\alpha) Y_{\Delta}, \quad (13)$$

или после преобразований:

$$U_{\Phi Д1} = (X_{\Sigma} X_{\Delta} + Y_{\Sigma} Y_{\Delta}) \cos \Delta\alpha - (Y_{\Sigma} X_{\Delta} - X_{\Sigma} Y_{\Delta}) \sin \Delta\alpha. \quad (14)$$

Произведя деление выражения (10) на выражение (14) с учетом (2) и (3), получим

$$\frac{U_{\Phi Д2}}{U_{\Phi Д1}} = \operatorname{tg} \Delta\alpha, \quad (15)$$

откуда следует:

$$\Delta\alpha = \arctg \frac{U_{\Phi Д2}}{U_{\Phi Д1}}. \quad (16)$$

Сравнивая между собой выражения (12) и (16), заключаем, что ошибка по фазе $\Delta\alpha$ определяется по-разному в зависимости от того, возникает ли она из-за неправильной настройки фазовращателя на $\pi/2$ (12) или по причине неточной фазировки УПЧ (16). В общем случае, когда имеют место ошибки обоих отмеченных видов, выражение для них имеет более сложный вид, а вычисляемые с его помощью значения $\Delta\alpha$ являются промежуточными между определяемыми выражениями (12) и (16). Полагая при этом, что ошибка $\Delta\alpha$ мала,

а также учитывая, что при $|\alpha| < \frac{\pi}{2}$

$$\arctg \alpha \leq \alpha \leq \operatorname{arcsin} \alpha, \quad (17)$$

можно приближенно записать

$$\Delta\alpha \cong \frac{U_{\Phi Д2}}{U_{\Phi Д1}}, \quad (18)$$

откуда

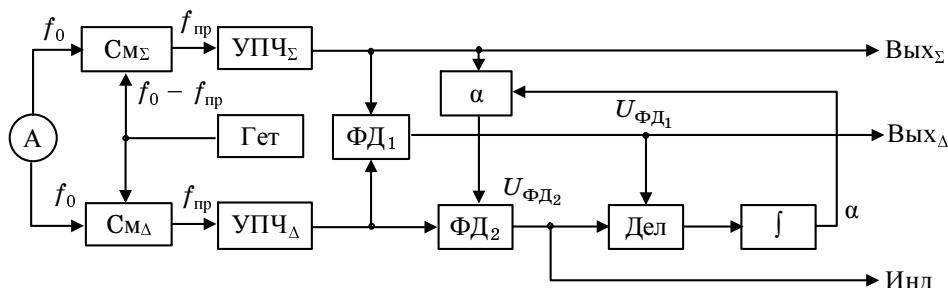
$$U_{\Phi Д2} \cong U_{\Phi Д1} \Delta\alpha. \quad (19)$$

Из выражения (19) следует, что даже в случае воздействия единственной помехи при наличии существенной ошибки по фазе $\Delta\alpha$ сигнал на выхо-

де *Инд* $\Phi Д2$ может составить заметную величину, соизмеримую с сигналом углового рассогласования $U_{\Phi Д1}$, который, составляя на равносигнальном направлении величину, близкую к нулю, может получить достаточно большие значения при отклонении оси антенны РЛС от направления на помеху. Поэтому желательно принять меры, уменьшающие влияние этого фактора. В качестве одной из таких мер можно использовать специальную схему автоподстройки кроссиндикатора групповой помехи по фазе (рис. 3).

По сравнению со схемой на рис. 2, в этой схеме фазовращатель на $\pi/2$ заменен фазовращателем на угол α , который вырабатывается с помощью интегратора \int , на вход которого поступает выходной сигнал с блока деления *Дел*, осуществляющего вычисление ошибки по фазе $\Delta\alpha$ в соответствии с выражением (18). Если при воздействии помехи с одного направления угол α с учетом поправок, компенсирующих ошибки фазировки всех элементов схемы, отличен от $\pi/2$, то на выходе блока деления *Дел* образуется сигнал, равный ошибке фазировки $\Delta\alpha$. Интегратор \int работает циклически, в темпе поступления радиолокационной информации о помехе. При этом в каждом цикле производится вычитание из выходной величины α ошибки ее значения $\Delta\alpha$, в результате чего управляющий сигнал фазовращателя α принимает правильное значение. Для исключения установки явно ошибочных значений фазы α предусматривается ограничение выходной величины интегратора \int предельно допустимыми значениями, отличающимися от угла $\pi/2$ не более чем на $\pm\Delta\alpha_{\max}$ — величину, равную максимально возможной суммарной ошибке фазировки сигналов на входах $\Phi Д2$. При этом величина α может быть установлена на интервале значений $[\pi/2 - \Delta\alpha_{\max}, \pi/2 + \Delta\alpha_{\max}]$.

Для проверки принципа компенсации ошибок установки фазы была разработана математическая модель устройства, представленного на рис. 3, и проведено математическое моделирование его работы. Результаты проверки показали, что при наличии помехи с одного направления рассмотренная схема обеспечивает быструю и точную установку правильной фазы сигналов α за одну-две итерации работы интегратора \int , в зависимости от исходного значения ошибки $\Delta\alpha$.



■ Рис. 3. Схема автоподстройки индикатора групповой помехи

При наличии помехи с нескольких направлений схема в принципе обрабатывает ошибку фазировки по средним значениям сигналов с выходов ФД₁ и ФД₂. Однако, как показали исследования на математической модели, эта обработка идет с такой низкой скоростью и с такими большими флюктуациями, что ее правильное завершение практически исключается. Это объясняется тем, что при наличии помехи с двух или более различных направлений в выражениях для выходных сигналов ФД₁ (14), ФД₂ (10) появляются комбинационные составляющие, вызывающие случайные отклонения этих сигналов от средних значений. В результате значения ошибок по фазе, вычисляемые в соответствии с выражением (18), содержат существенные искажения, исключающие возможность их практического использования.

Таким образом, при наличии помехи с одного направления схема, приведенная на рис. 3, обеспечивает правильную и быструю компенсацию ошибок настройки по фазе, в то время как в случае установки помех с нескольких направлений фаза устанавливается с непредсказуемыми ошибками, но при этом, с учетом ограничения выходной величины интегратора \int , не выходящими за пределы интервала значений $[-\Delta\alpha_{\max}, \Delta\alpha_{\max}]$. Однако рассмотрение общей логики работы схемы показывает, что нарушение фазировки сигналов в последнем случае не нарушает общей работоспособности системы индикации групповой помехи.

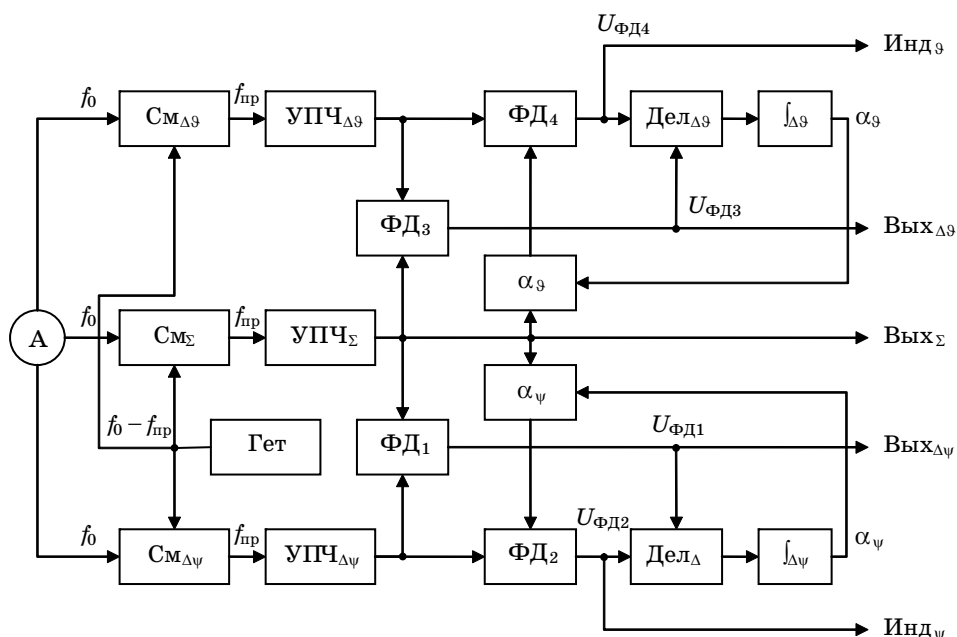
Действительно, пусть РЛС работает в режиме кругового обзора или секторного сканирования. Предположим, что в процессе перемещения ДНА последовательно просматриваются участки без помехи и участки, на которых имеется помеха с одного направления или помехи с нескольких

направлений. При отсутствии помехи эта ситуация легко распознается путем пороговой проверки сигнала на выходе суммарного канала РЛС Вых_Σ (см. рис. 3) [7], поэтому результаты анализа признака групповой помехи не имеют значения. Если появляется помеха с одного направления, то, как было показано, за одну-две итерации обеспечивается правильная фазировка схемы, и помеха с одного направления распознается по низкому уровню сигнала на выходе Инд ФД₂. При наличии помехи более чем с одного направления фазировка схемы нарушается. Но это уже не имеет значения, поскольку при этом сигнал на выходе Инд имеет высокий уровень вне зависимости от ошибки установки фазы. Если в процессе перемещения ДНА вновь возникнет ситуация одной помехи, то за ограниченное время ошибка установки фазы снова скомпенсируется, и сигнал на выходе Инд снизится до уровня ниже порогового. В результате эта ситуация будет быстро распознана.

Работа схемы кроссиндикации групповой помехи в рассмотренной динамически меняющейся ситуации была протестирована на математической модели реализующего ее устройства. Результаты тестирования показали способность схемы надежно распознавать групповую помеху при любых реальных ошибках взаимной фазировки различных элементов суммарного и разностного каналов моноимпульсной РЛС.

Индикация распределения помех в двух плоскостях

При нахождении носителя РЛС на такой высоте, что обнаруживаемые цели и помехи могут различаться по углу места на величины, соизмеримые с шириной ДНА в вертикальной плоскости, зада-



■ Рис. 4. Схема индикации групповой помехи в двух плоскостях

ча кроссиндикации групповой помехи может независимо решаться в двух ортогональных плоскостях: горизонтальной и вертикальной. Дополнительно реализуемая при этом кроссиндикация помехи по углу места принципиально ничем не отличается от рассмотренной ранее кроссиндикации по азимуту. Единственной особенностью этого случая является то, что в схеме вместо горизонтально-разностного сигнала используется вертикально-разностный сигнал приемника РЛС. Схема, в которой реализуется кроссиндикация групповой помехи одновременно в двух плоскостях, представлена на рис. 4.

В этой схеме все элементы, относящиеся к горизонтально-разностному каналу и ранее рассмотренные на схеме рис. 3, обозначены индексами $\Delta\psi$, а вновь введенные элементы вертикально-разностного канала — индексами $\Delta\theta$. Функционирование схемы полностью соответствует приведенным ранее разъяснениям. Единственный вопрос, который при этом возникает, — это способ объединения результатов тестирования групповой помехи одновременно в двух плоскостях с принятием общего решения о пространственном распределении помехи.

Логика такого объединения зависит от назначения информации о наличии групповой помехи. Например, если рассматривается задача пространственно-временной селекции целей на фоне помех, то при отсутствии признака групповой помехи хотя бы в одной из плоскостей (горизонтальной или вертикальной) может быть использован линейный компенсатор помехи по сигналу в той из плоскостей, в которой этот признак отсутствует [7]. В то же время при наличии признака групповой помехи в обеих плоскостях для пространственно-временной селекции целей необходимо использовать пространственный компенсатор помехи [7]. Если же признак групповой помехи используется при решении задачи распределения ПКР залпа по целям атакуемого соединения, то обеспечивается возможность опознавания тех из источников помех, которые обнаружены как обособленные объекты и которые, следовательно, могут рассматриваться как объекты целераспределения наряду с обнаруженными целями. К таким объектам следует отнести те из помех, по которым признак групповой помехи отсутствует для обеих плоскостей. В других возможных случаях логику применения этого признака можно также выработать, исходя из конкретного содержания решаемой задачи.

Влияние на кроссиндикацию неидентичности каналов приема

Разработанные схемы (см. рис. 3 и 4) обеспечивают качественную индикацию групповой помехи при любых ошибках фазировки элементов приемника РЛС, поскольку эти ошибки эффективно обрабатываются через соответствующие элементы

обратных связей. Но существует еще один источник снижения достоверности их работы: различие частотных характеристик суммарного и разностного каналов приемника. Действительно, при нашем рассмотрении мы предполагали, что одноименные ортогональные составляющие шумовых сигналов суммарного и разностного каналов, X_{Σ} , Y_{Σ} , X_{Δ} , Y_{Δ} , связаны между собой функциональной зависимостью (7). Эта зависимость означает, что разностный сигнал пропорционален суммарному.

В действительности же эта зависимость выполняется лишь приближенно, поскольку суммарный и разностный сигналы фильтруются различными УПЧ, частотные характеристики которых имеют неизбежные производственные разбросы. И поэтому эти сигналы связаны между собой не функционально, а только статистически. Практически это означает, что перекрестные составляющие сигналов суммарного и разностного каналов не являются строго ортогональными, и поэтому условие (3), на котором и основывается работа кроссиндикатора, выполняется не точно. Отсюда следует, что для эффективной индикации групповой помехи необходимо иметь суммарный и разностный каналы с идентичными частотными характеристиками.

В работе [7] показано, что такая идентичность может быть достигнута в случае применения в РЛС цифрового приемника, поскольку в нем электрические схемы всех элементов, в том числе фильтрующих каскадов УПЧ, преобразуются в эквивалентные им программы работы специализированных вычислительных средств. При этом снимаются все вопросы, связанные с производственным разбросом параметров элементов, их настройкой или старением, поскольку все дискретные аналоги моделируемых ими элементов схем имеют абсолютно одинаковые и не меняющиеся со временем характеристики.

И это является еще одним полезным приложением использования цифрового приемника.

Выводы

1. Анализ взаимной корреляции ортогональных составляющих суммарного и разностного сигналов в моноимпульсной РЛС обеспечивает возможность распознавания групповой маскирующей помехи.
2. Для компенсации ошибок распознавания групповой помехи из-за неточности фазировки суммарного и разностного каналов можно применять автоматическую подстройку фазы обрабатываемых сигналов.
3. При большой высоте нахождения носителя РЛС целесообразно производить пространственное распознавание групповой помехи с использованием суммарного и двух разностных сигналов.
4. Предлагаемые средства распознавания групповой помехи наиболее эффективны в случае применения в РЛС цифрового приемника.

Литература

1. Вопросы перспективной радиолокации / Под ред. А. В. Соколова. М.: Радиотехника, 2003.
2. Защита радиолокационных систем от помех. Состояние и тенденции развития / Под ред. А. И. Канащенкова и В. И. Меркулова. М.: Радиотехника, 2003.
3. Быстров Р. П., Кузнецов Е. В., Соколов А. В., Чесноков Ю. С. Методы современной радиолокации и системы обработки сигналов // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 9.
4. Аникшин Р. Н. и др. Развитие радиоэлектронной техники радиолокационных систем // Успехи современной радиоэлектроники. 2005. № 10.
5. Петрович Н. Т., Размахин М. К. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Сов. радио, 1969.
6. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация. М.: Радио и связь, 1993.
7. Подоплекин Ю. Ф., Бредун И. Л., Зимин С. Н. Защита РЛС с ФМ-сигналом от маскирующих помех // Изв. Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2007. Вып. 3 (53).
8. Леонов А. И., Фомичев К. И. Моноимпульсная радиолокация. М.: Сов. радио, 1970.

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ ЖУРНАЛА

При подготовке рукописей статей редакция просит Вас руководствоваться следующими рекомендациями.

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 16 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала в Word шрифтом Times New Roman размером 13.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие и аннотация (5–7 строк) на русском и английском языках, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание, полное название организации.

Формулы набирайте в Word, при необходимости можно использовать формульный редактор; для набора одной формулы не используйте два редактора; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте вкладку Define; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = –.

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

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

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

Наличие подрисовочных подписей обязательно (желательно не повторяющих дословно комментарии к рисункам в тексте статьи).

В редакцию предоставляются:

- отпечатанный (формат А4) текст статьи, подписанный всеми авторами с указанием даты предоставления, и иллюстрации, пронумерованные с подрисовочными подписями (в двух экземплярах);
- полностью совпадающий с распечаткой текст в виде файла Microsoft Word (шрифт Times New Roman, тексты программ — Courier New) на дискетах 1,44 Mb или CD;
- название статьи и аннотация (5–7 строк) на русском и английском языках;
- фамилия, имя, отчество автора(ов) на английском языке;
- сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, факс, e-mail), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате *.tif, *.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40 × 55 мм;
- экспертное заключение.

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

- для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;
- для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;
- ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;
- при использовании web-материалов указывайте адрес сайта.

Адрес редакции:

190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67, ГУАП, РИЦ
 Редакция журнала «Информационно-управляющие системы»
 Факс: (812) 494 70 18
 Тел.: (812) 494 70 44
 E-mail: 80x@mail.ru
 Сайт: www.i-us.ru

УДК 519.681

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СКРЕЩИВАНИЯ ЭПОХ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СХОДИМОСТИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

А. С. Моисеенко,

аспирант

В. А. Матьяш,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрено применение генетических алгоритмов к эвристической задаче оптимизации расписаний. Анализируется проблема сходимости генетического алгоритма, предложен метод улучшения приспособленности поколений за счет применения так называемых алгоритмов скрещивания эпох.

Введение

Генетический алгоритм (ГА) представляет собой эвристический метод поиска глобального экстремума сложных многокритериальных функций, использующий механизмы кроссовера и мутации, лежащие в основе биологической эволюции. В качестве проблемной области рассмотрим задачу оптимизации расписаний.

Задача оптимизации расписаний, будь то составление графиков работы персонала на производстве, расписания движения поездов или занятий в учебных заведениях, является многопараметрической.

При поиске наилучшего расписания занятий критериями оптимизации являются в основном интересы групп и преподавателей, для которых составляется система штрафных баллов, позволяющая оценить каждый недостаток расписания по определенной шкале.

Система штрафов

Система штрафов представляет собой механизм, позволяющий регулировать процесс оптимизации. Варьируя значения критериев оптимизации в зависимости от точки зрения, можно получать расписание, удовлетворяющее тем или иным параметрам в большей или меньшей степени (в таблице представлен список критериев, используемый в реализованной программной системе).

Приспособленность варианта расписания, в нашем случае, обратно пропорциональна его весу. *А вес*, или *фитнес-функция*, — не что иное, как сумма штрафов, рассчитываемая для каждой группы и преподавателя по таблице штрафов.

Сравнение методов селекции, используемых в ГА

Эволюция особей, получаемых с использованием как классического ГА, так и его модификаций, в конечном итоге ведет к тому, что приспособленность популяций сходится к некоторому среднему значению.

В качестве примера можно рассмотреть процесс формирования семи поколений расписания, основанный на рулеточном методе селекции (реализованном по аналогии с природным механизмом селекции [1] — вероятность участия особи в производстве потомства прямо пропорциональна ее приспособленности).

Пусть имеется некоторое стартовое поколение из семи особей (поколение 1) с разной приспособленностью. Все остальные поколения будут прямыми или косвенными его наследниками. Несмотря на то что во втором по счету поколении была получена особь (20,333), приближенная по своей приспособленности к лучшей особи стартового поколения, среднее значение фитнес-функции является примерно тем же (рис. 1, а). В целом приспособленность популяций, получаемых с использованием метода рулетки, рано или поздно сходится к некоторому неплохому значению.

Если создавать популяции независимо друг от друга, то они будут сходиться к разным значениям, совершенствуя одни и те же или разные характеристики. Теоретически их смешивание должно привести к получению особей, обладающих преимуществами таких популяций. Чтобы проверить это предположение, создадим для скрещивания несколько популяций, используя два различных

№	Критерий	Штраф, балл
<i>Штрафы, начисляемые за недостатки в расписании групп</i>		
1	Не предусмотрено время переезда между корпусами	67
2	За переезд между корпусами в имеющемся для этого «окне»	20
3	За «окно»	8
4	За «полуокно» — по четной или нечетной неделе (половина от штрафа за «окно»)	4
5	За каждое «окно» сверх одного	33
6	Пустая пара в начале дня	2
7	Последний день является рабочим	4
8	За каждую недостающую пару до минимального числа пар в день	6
9	За каждую лишнюю пару сверх максимального числа пар в день	6
10	За 2 занятия по одной и той же дисциплине в течение дня	4
11	За 3 занятия по одной и той же дисциплине в течение дня	10
12	За каждое занятие сверх имеющихся трех по той же дисциплине в течение дня	67
<i>Штрафы, начисляемые за недостатки в расписании преподавателей</i>		
13	Не предусмотрено время переезда между корпусами	67
14	За переезд между корпусами в имеющемся для этого «окне»	20
15	За каждую лишнюю пару сверх максимального числа пар в день	6
16	За наличие пар на выходных	4
17	За «полуокно» — по четной или нечетной неделе (половина от штрафа за «окно»)	4
18	За каждое «окно» сверх одного	33
<i>Общие штрафы</i>		
19	Непопадание одного занятия в сетку расписания	67

метода селекции: турнирный детерминированный и турнирный случайный.

При турнирном подходе [1] все особи популяции разбиваются на подгруппы с последующим выбором из них особи с наилучшей приспособленностью. Каждая подгруппа включает в себя некоторое количество особей с наилучшей приспособленностью в популяции по конкретному критерию. Количество подгрупп соответствует количеству критериев оптимизации. Различают два способа такого выбора: детерминированный (рис. 1, б) — из подгрупп выбираются самые приспособленные особи; случайный (рис. 1, в) — особи из подгрупп выбираются случайным образом.

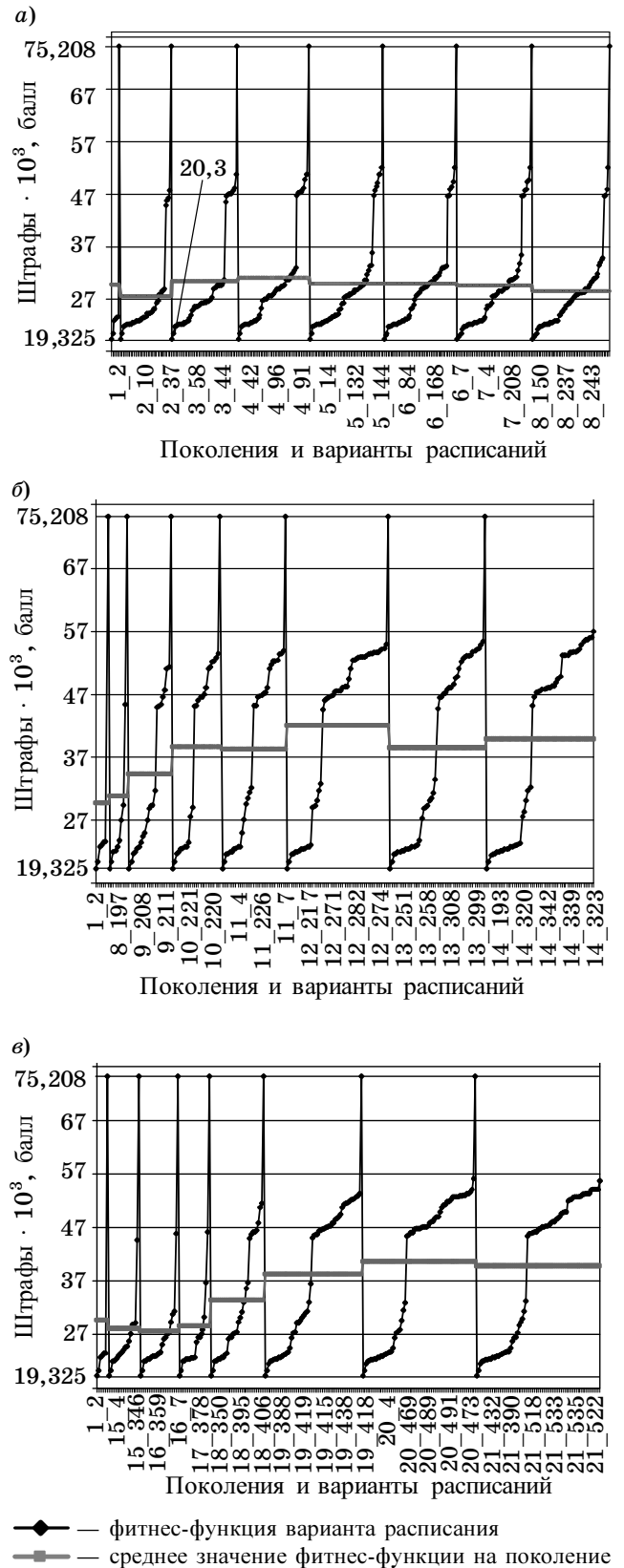
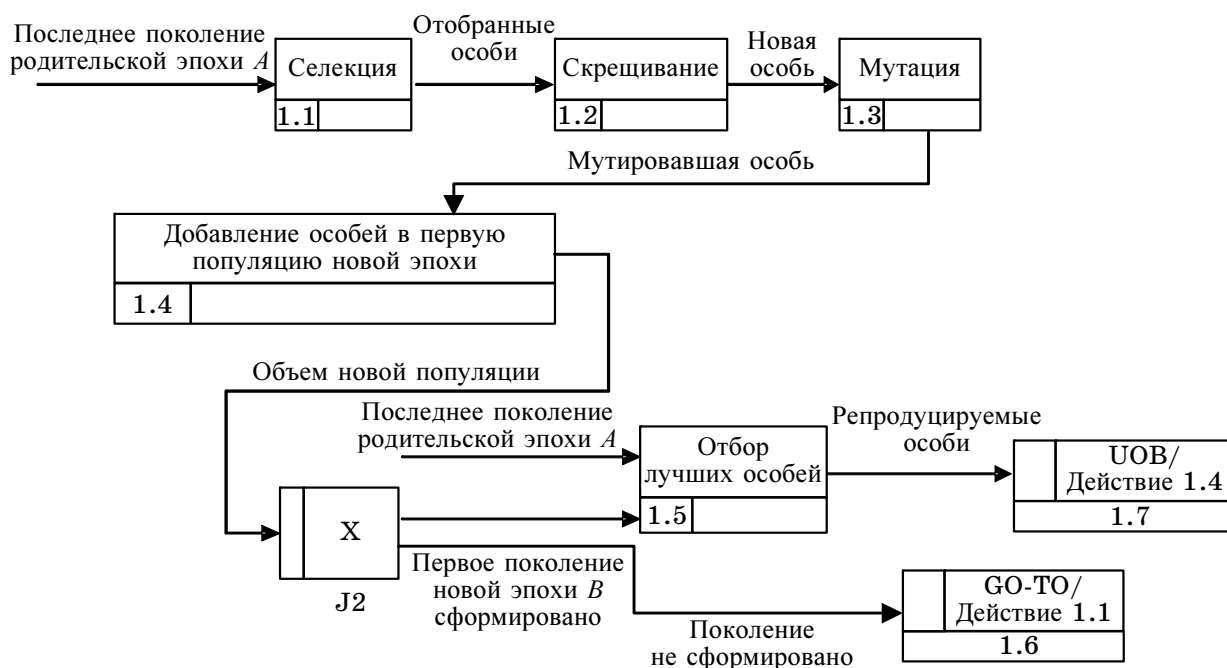


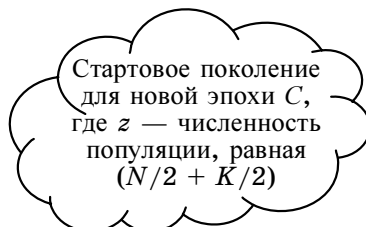
Рис. 1. Селекция с применением элитарной и детерминированной стратегий репродукции: а — методом рулетки; б — турнирная детерминированная; в — случайная турнирная

а)

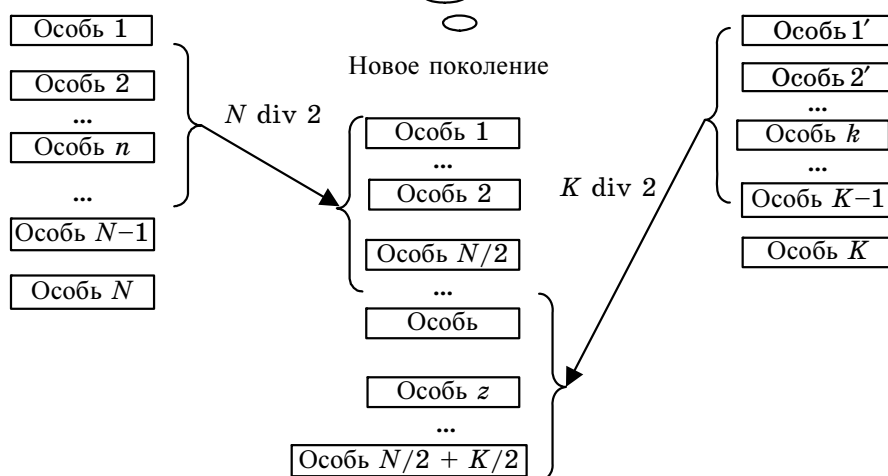


б)

Список особей финального поколения эпохи A отсортирован по убыванию приспособленности; N — численность популяции, $1 \leq n \leq N$



Список особей финального поколения эпохи B отсортирован по убыванию приспособленности; K — численность популяции, $1 \leq k \leq K$



■ Рис. 2. Схема наследования генотипа эпох: а — без скрещивания; б — при элитарном скрещивании; в — при детерминированном скрещивании (см. также с. 12)

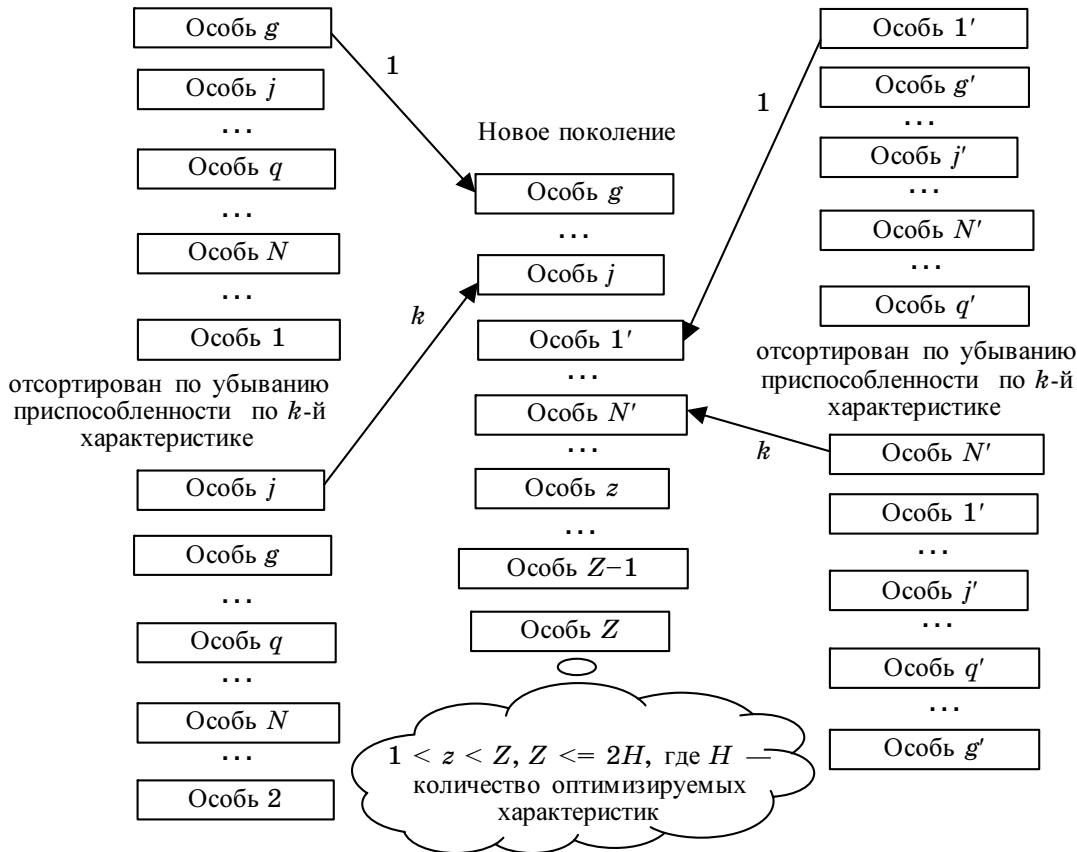
в)

Список особей финального поколения эпохи *A*

Список особей финального поколения эпохи *B*

отсортирован по убыванию приспособленности по первой характеристике

отсортирован по убыванию приспособленности по первой характеристике



■ Рис. 2. Окончание

Понятие эпох в ГА

Имея популяции, порожденные с использованием различных методов селекции, неплохо было бы разработать некоторый алгоритм их скрещивания. Для этого введем понятие «эпоха» — множество популяций, порождаемых друг от друга с использованием одного и того же алгоритма селекции.

Эпоха *B* является дочерней по отношению к эпохе *A*, если последнее поколение из *A* является стартовым для *B* (рис. 2, а).

Скрещивание эпох

По какому принципу лучше скрещивать эпохи? Было реализовано два подхода.

1. *Элитарное скрещивание эпох* по принципу элитарной репродукции, когда для формирования стартового поколения новой эпохи выбираются лучшие особи из последних поколений всех скрещиваемых эпох (рис. 2, б). Количество репродуцируемых особей есть некоторая часть от объема популяции.

2. *Турнирное детерминированное скрещивание эпох* по принципу турнирной детерминированной селекции, когда в каждом из финальных поколений скрещиваемых эпох выделяются особи, лучшие по той или иной характеристике. Каждая особь может попасть в стартовое поколение новой эпохи лишь один раз. Схема работы алгоритма представлена на рис. 2, в.

Попробуем скрестить эпохи, полученные ранее с использованием двух видов турнирной селекции (см. рис. 1, б, в, а также рис. 11 и 12 из статьи [2], где можно найти подробные диаграммы работы турнирного детерминированного и турнирного случайного алгоритмов селекции). Обе эпохи берут свое начало от общего стартового поколения 1 со средней приспособленностью P , которое состоит из семи особей. Будем использовать сразу два типа скрещивания, так как хотелось бы помимо наследования приспособленности в целом видеть еще и эволюцию отдельных характеристик. На рис. 3 и 4 (см. стр. 3 обложки) скрещиваемые эпохи представлены своими финальными поколениями: 14-м

Иллюстрация к статье
 Моисеенко А. С., Матвеев В. А. «Разработка методов скрещивания эпох
 для предотвращения сходимости генетического алгоритма», стр. 13.

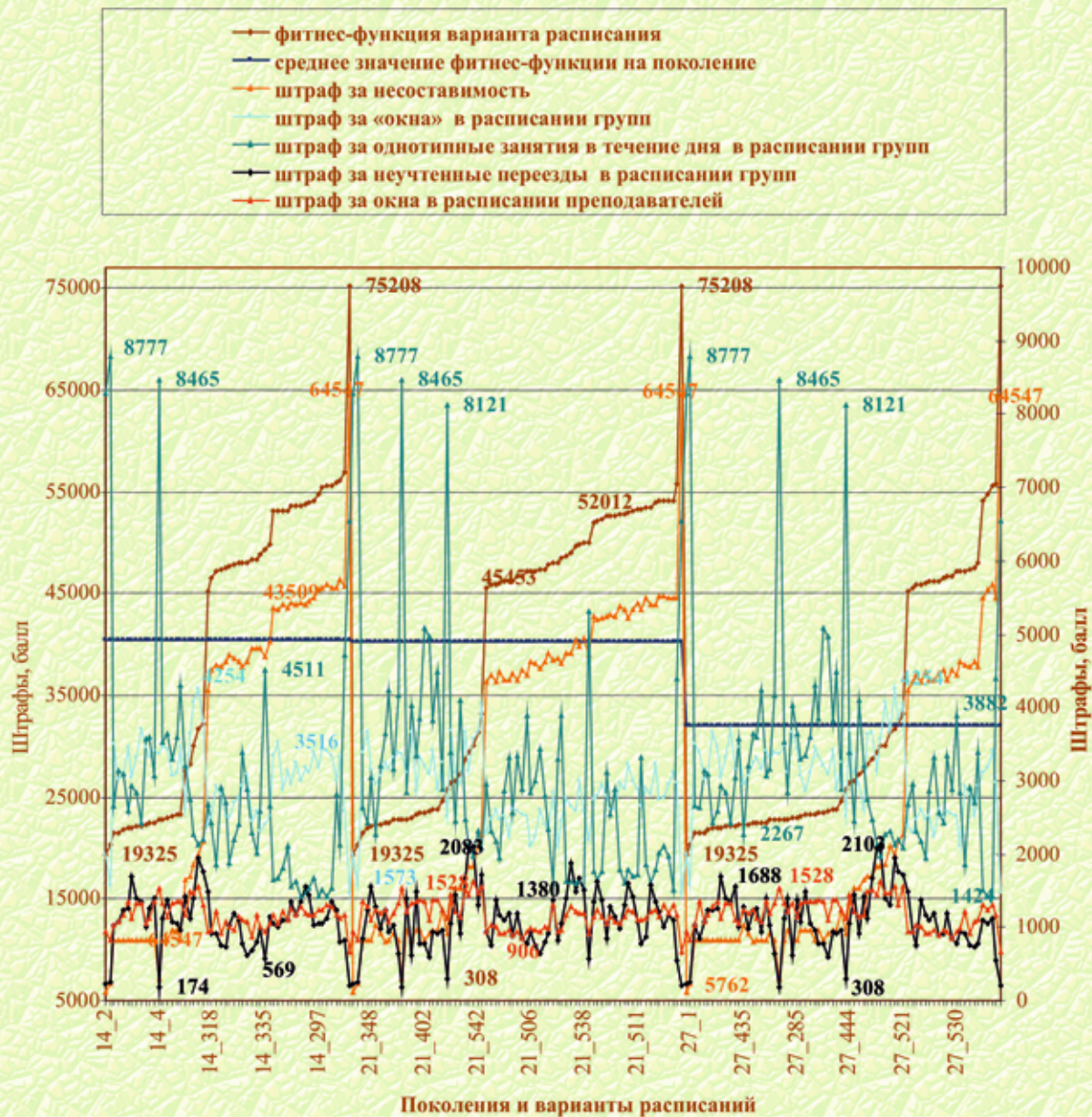


Рис. 4. Финальное поколение эпохи, полученной скрещиванием 14-го и 21-го поколений



Рис. 3. Формирование новой эпохи турнирным и элитарным методом скрещивания эпох

(с приспособленностью $P \times 1,36$) и 21-м (с приспособленностью $P \times 1,35$). Таким образом, среднее значение приспособленности у этих эпох сошлось приблизительно к одному и тому же значению спустя 7 популяций. После скрещивания фенотип стартовой популяции новой эпохи резко улучшается в связи с «отсеиванием» нежизнеспособных особей. Для продолжения новой эпохи будем использовать в качестве алгоритма селекции метод рулетки и два метода репродукции — турнирный детерминированный и случайный турнирный

(см. рис. 3). В итоге уже в первом поколении получена особь с приспособленностью $P \times 0,955$.

На рис. 4 фитнес-функция финального поколения новой эпохи разложена на составляющие по наиболее значимым критериям.

Выводы

Используемый подход позволил предотвратить сходимость, наблюдаемую у скрещиваемых эпох, что подтверждается скачкообразным улучшением приспособленности поколений новой эпохи.

Благодаря реализованным методам улучшен фенотип популяции. После скрещивания средняя приспособленность стартовой популяции новой эпохи резко улучшилась в связи с «отсеиванием» нежизнеспособных особей.

Уже в первом поколении новой эпохи была получена особь, превышающая по своей приспособленности лучшую особь стартового поколения на 4,5 %.

Литература

1. Рутковская Л., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия — Телеком, 2006. 383 с.
2. Моисеенко А. С., Матьяш В. А. Реализация методик селекции и репродукции в генетических алгоритмах применительно к задаче оптимизации расписаний // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. В печати.

УДК 681.5.013

СИНТЕЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В. Ф. Шишлаков,

доктор техн. наук, профессор

Д. В. Шишлаков,

аспирант

С. А. Цветков,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

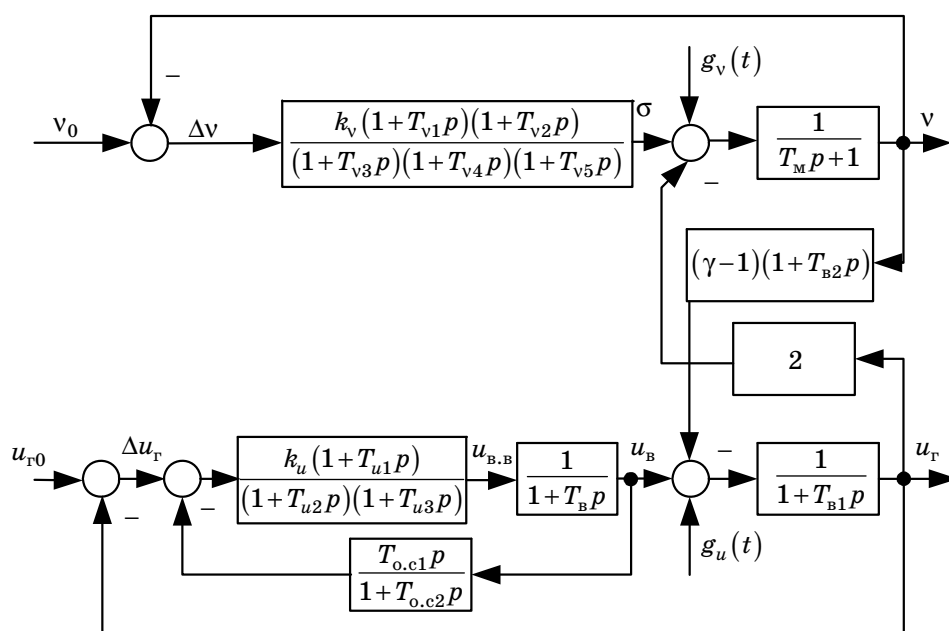
Рассматривается решение задачи синтеза параметров регуляторов в каналах регулирования частоты и напряжения автономной электроэнергетической установки обобщенным методом Галеркина. Приводятся результаты моделирования работы данной установки с синтезированными параметрами регуляторов в нормальном режиме.

Рассмотрим решение задачи синтеза параметров регуляторов электроэнергетической установки (ЭЭУ), предназначенной для электроснабжения переменным током стабильной частоты. Поставленная задача решается обобщенным методом Галеркина [1, 2], возможность применения которого к непрерывным многосвязным системам автоматического управления (МСАУ) была показана в работах [3–5].

Из структурной схемы математической модели ЭЭУ (рис. 1) видно, что данная САУ представляет собой двусвяз-

ную систему автоматического регулирования частоты и напряжения синхронного генератора, приводимого регулируемым двигателем соизмеримой мощности без корректора частоты.

Динамические звенья МСАУ описываются следующими уравнениями:
— приводной двигатель:



■ Рис. 1. Структурная схема математической модели ЭЭУ

$$(R + T_M p)v(t) = \sigma(t) + g_v(t) - 2u_r(t),$$

где $R = 1$ — коэффициент самовыравнивания агрегата; $T_M = 1$ с — постоянная времени приводного двигателя; $v(t)$ — скорость вращения приводного двигателя (частота напряжения на выходе ЭЭУ); $\sigma(t)$ — сигнал на выходе регулятора скорости; $g_v(t)$ — внешнее возмущающее воздействие в канале изменения частоты, действующее на приводной двигатель; $u_r(t)$ — напряжение на выходе ЭЭУ;

— регулятор скорости вращения приводного двигателя:

$$(1 + T_{v3}p)(1 + T_{v4}p)(1 + T_{v5}p)\sigma(t) = k_v(1 + T_{v1}p)(1 + T_{v2}p)\Delta v(t),$$

где $T_{v1}, \dots, T_{v5}, k_v$ — постоянные времени и коэффициент передачи регулятора скорости вращения приводного двигателя; $\Delta v(t) = v_0(t) - v(t)$ — относительное изменение скорости вращения приводного двигателя, здесь $v_0(t)$ — заданное значение скорости (частоты напряжения на выходе установки);

— синхронный генератор:

$$(1 + T_{B1}p)u_r(t) = u_B(t) + (1 - \gamma) \times (1 + T_{B2}p)v(t) + g_u(t),$$

где $T_{B1} = 0,5$ с; $T_{B2} = 0,01$ с — постоянные времени синхронного генератора, обусловленные индуктивностью цепи возбуждения и реакцией якоря; $(1 - \gamma) = 0,8$ — коэффициент, характеризующий режим работы синхронного генератора; $u_B(t)$ — напряжение на зажимах возбуждателя; $g_u(t)$ — внешнее возмущающее воздействие в канале регулирования напряжения, действующее на синхронный генератор;

— возбуждатель:

$$(1 + T_B p)u_B(t) = u_{B.B}(t),$$

где $T_B = 0,01$ с — постоянная времени возбуждателя; $u_{B.B}(t)$ — напряжение на обмотке возбуждения возбуждателя.

Передающая функция регулятора напряжения

$$W_{p.n}(p) = \frac{k_u(1 + T_{u1}p)}{(1 + T_{u2}p)(1 + T_{u3}p)},$$

где $T_{u1}, T_{u2}, T_{u3}, k_u$ — постоянные времени и коэффициент передачи регулятора напряжения ЭЭУ.

Канал регулирования напряжения ЭЭУ дополнен гибкой отрицательной обратной связью (ГОС) по напряжению, имеющей передаточную функцию

$$W_{o.c}(p) = \frac{T_{o.c1}p}{(1 + T_{o.c2}p)},$$

где $T_{o.c1}, T_{o.c2}$ — постоянные времени звена коррекции в цепи гибкой обратной связи.

На основе уравнений, описывающих динамику отдельных звеньев, входящих в состав исследуемой ЭЭУ, получена следующая система дифференциальных уравнений, определяющая динамические процессы в системе регулирования, как много-связной линейной САУ:

$$\left[\begin{aligned} & [(k_v + 1) + [k_v(T_{v1} + T_{v2}) + T_{v3} + T_{v4} + T_{v5} + T_M]p + \\ & + [k_v T_{v1} T_{v2} + T_{v3} T_{v4} + T_{v5} T_M + (T_{v3} + T_{v4})(T_{v5} + T_M)]p^2 + \\ & + [T_{v3} T_{v4} (T_{v5} + T_M) + T_{v5} T_M (T_{v3} + T_{v4})]p^3 + \\ & + T_{v3} T_{v4} T_{v5} T_M p^4]v(t) + 2[1 + (T_{v3} + T_{v4} + T_{v5} + T_M)p + \\ & + [T_{v3} T_{v4} + T_{v5} T_M + (T_{v3} + T_{v4})(T_{v5} + T_M)]p^2 + \\ & + [T_{v3} T_{v4} (T_{v5} + T_M) + T_{v5} T_M (T_{v3} + T_{v4})]p^3 + \\ & + T_{v3} T_{v4} T_{v5} T_M p^4]u_r(t) = k_v [1 + (T_{v1} + T_{v2})p + T_{v1} T_{v2} p^2] \times \\ & \times v_0(t) + [(1 - \gamma) + (1 - \gamma)(T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + k_u T_{o.c1} + T_{B2}) \times \\ & \times p + (1 - \gamma)[(T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + k_u T_{o.c1} T_{u1} + (T_{o.c2} + T_{u2}) \times \\ & \times (T_{u3} + T_B)) + T_{B2} (T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + k_u T_{o.c1})]p^2 + \\ & + (1 - \gamma)[(T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2}) + T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B) + \\ & + T_{B2} (T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + (T_{o.c2} + T_{u2})(T_{u3} + T_B) + k_u T_{o.c1} T_B)]p^3 + \\ & + (1 - \gamma)[T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T + T_{B2} (T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2}))] \times \\ & \times p^4 + (1 - \gamma) T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B T_{B2} p^5]v(t) + [(k_u + 1) + \\ & + (T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + k_u (T_{o.c1} + T_{o.c2} + T_{u1} + T_B) + T_{B1})p + \\ & + [(T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + k_u T_{o.c1} T_{u1} + (T_{o.c2} + T_{u2})(T_{u3} + T_B)) + \\ & + T_{B1} (T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + k_u T_{o.c1}) + \\ & + k_u (T_{o.c2} T_{u1} + T_{o.c2} T_B + T_{u1} T_B)]p^2 + \\ & + [(T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2}) + T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B) + \\ & + T_{B1} (T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + (T_{o.c2} + T_{u2})(T_{u3} + T_B) + \\ & + k_u T_B (T_{o.c1} + T_{o.c2} T_{u1}))]p^3 + [T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B + T_{B1} \times \\ & \times (T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2}))]p^4 + \\ & + T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B T_{B1} p^5]u_r(t) = k_u [1 + (T_{o.c2} + T_{u1} + T_B)p + \\ & + (T_{o.c2} T_{u1} + T_{o.c2} T_B + T_{u1} T_B)p^2 + T_{o.c2} T_{u1} T_B p^3]u_{r0}(t). \end{aligned} \right.$$

Для решения задачи синтеза параметров звеньев коррекции обобщенным методом Галеркина представим полученную систему уравнений в общем виде [3–5]:

$$\begin{cases} Q_{11}(c_k, D)v(t) + Q_{12}(c_k, D)u_T(t) = \\ = S_{11}(c_k, D)v_0(t) \\ Q_{21}(c_k, D)v(t) + Q_{22}(c_k, D)u_T(t) = \\ = S_{22}(c_k, D)u_{r0}(t) \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} Q_{11}(c_k, D) &= \sum_{i=0}^4 a_{11i}(c_k)D^i; \quad Q_{12}(c_k, D) = \sum_{i=0}^4 a_{12i}(c_k)D^i; \\ S_{11}(c_k, D) &= \sum_{i=0}^2 e_{11i}(c_k)D^i; \quad Q_{21}(c_k, D) = \sum_{i=0}^5 a_{21i}(c_k)D^i; \\ Q_{22}(c_k, D) &= \sum_{i=0}^5 a_{22i}(c_k)D^i; \quad S_{22}(c_k, D) = \sum_{i=0}^3 e_{22i}(c_k)D^i; \end{aligned}$$

здесь

$$\begin{aligned} a_{110} &= k_v + 1; \\ a_{111} &= k_v(T_{v1} + T_{v2}) + T_{v3} + T_{v4} + T_{v5} + T_M; \\ a_{112} &= k_v T_{v1} T_{v2} + T_{v3} T_{v4} + T_{v5} T_M + (T_{v3} + T_{v4}) \times \\ &\times (T_{v5} + T_M); \\ a_{113} &= T_{v3} T_{v4} (T_{v5} + T_M) + T_{v5} T_M (T_{v3} + T_{v4}); \\ a_{114} &= T_{v3} T_{v4} T_{v5} T_M; \\ a_{120} &= 2; \\ a_{121} &= 2(T_{v3} + T_{v4} + T_{v5} + T_M); \\ a_{122} &= 2[T_{v3} T_{v4} + T_{v5} T_M + (T_{v3} + T_{v4})(T_{v5} + T_M)]; \\ a_{123} &= 2[T_{v3} T_{v4} (T_{v5} + T_M) + T_{v5} T_M (T_{v3} + T_{v4})]; \\ a_{124} &= 2T_{v3} T_{v4} T_{v5} T_M; \\ e_{110} &= k_v; \\ e_{111} &= k_v(T_{v1} + T_{v2}); \\ e_{112} &= k_v T_{v1} T_{v2}; \\ a_{210} &= (1 - \gamma); \\ a_{211} &= (1 - \gamma)(T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + k_u T_{o.c1} + T_{B2}); \\ a_{212} &= (1 - \gamma)[(T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + k_u T_{o.c1} T_{u1} + \\ &+ (T_{o.c2} + T_{u2})(T_{u3} + T_B)) + \\ &+ T_{B2}(T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + k_u T_{o.c1})]; \\ a_{213} &= (1 - \gamma)[(T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2}) + \\ &+ T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B) + T_{B2}(T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + (T_{o.c2} + T_{u2}) \times \\ &\times (T_{u3} + T_B) + k_u T_{o.c1} T_B)]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{214} &= (1 - \gamma)T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T + T_{B2}(T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + \\ &+ T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2})); \\ a_{215} &= (1 - \gamma)T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B T_{B2}; \\ a_{220} &= k_u + 1; \\ a_{221} &= T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + T_{B1} + k_u \times \\ &\times (T_{o.c1} + T_{o.c2} + T_{u1} + T_B); \\ a_{222} &= [(T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + k_u T_{o.c1} T_{u1} + (T_{o.c2} + T_{u2}) \times \\ &\times (T_{u3} + T_B)) + T_{B1}(T_{o.c2} + T_{u2} + T_{u3} + T_B + k_u T_{o.c1}) + \\ &+ k_u (T_{o.c2} T_{u1} + T_{o.c2} T_B + T_{u1} T_B)]; \\ a_{223} &= [(T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2}) + \\ &+ T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B) + T_{B1}(T_{o.c2} T_{u2} + T_{u3} T_B + \\ &+ (T_{o.c2} + T_{u2})(T_{u3} + T_B) + k_u T_B (T_{o.c1} + T_{o.c2} T_{u1}))]; \\ a_{224} &= [T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B + T_{B1} \times \\ &\times (T_{o.c2} T_{u2} (T_{u3} + T_B) + T_{u3} T_B (T_{o.c2} + T_{u2}))]; \\ a_{225} &= T_{o.c2} T_{u2} T_{u3} T_B T_{B1}; \\ e_{220} &= k_u; \\ e_{221} &= k_u (T_{o.c2} + T_{u1} + T_B); \\ e_{222} &= k_u (T_{o.c2} T_{u1} + T_{o.c2} T_B + T_{u1} T_B); \\ e_{223} &= k_u T_{o.c2} T_{u1} T_B. \end{aligned}$$

Таким образом, для решения поставленной задачи требуется определить значения 12 варьируемых параметров ($T_{v1}, T_{v2}, T_{v3}, T_{v4}, T_{v5}, k_v, T_{u1}, T_{u2}, T_{u3}, k_u, T_{o.c1}, T_{o.c2}$), обеспечивающих в синтезируемой МСАУ следующие показатели качества переходных процессов по напряжению и частоте: время переходного процесса как по напряжению, так и по частоте не должно превышать 0,5 с; переходной процесс по напряжению должен иметь экспоненциальный характер, а величина перерегулирования в процессе изменения частоты (скорости вращения приводного двигателя) не должна превышать 10 %.

Исходя из требуемых показателей качества переходных процессов на основании подхода, изложенного в работах [1, 2], определим параметры желаемых программных движений:

— коэффициент затухания процессов

$$\alpha = \frac{3 \div 4}{T_{п.п}} = 6 \div 8,$$

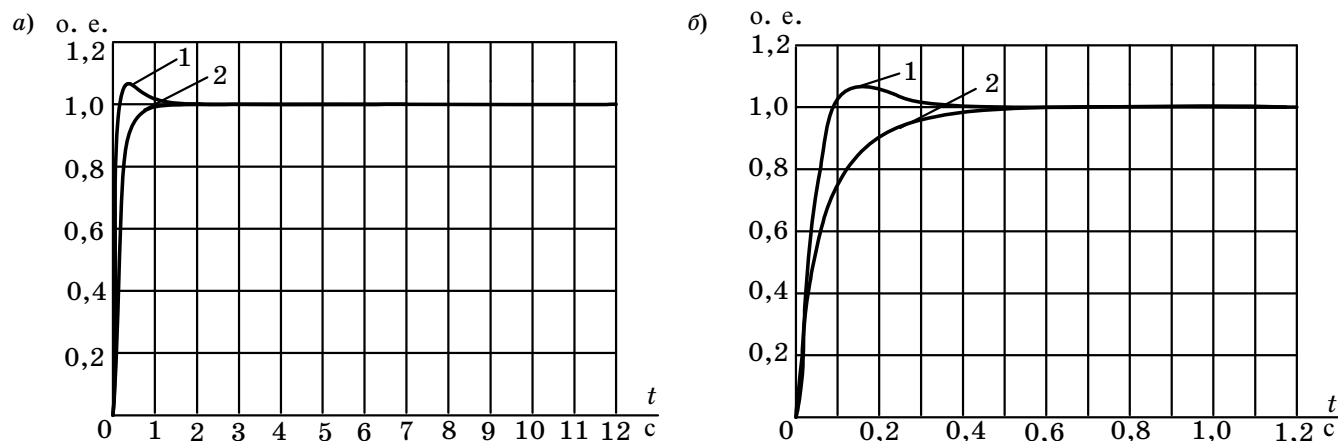
где $T_{п.п}$ — время переходного процесса;

— собственная частота колебаний скорости приводного двигателя, начальный фазовый сдвиг и амплитуда процесса:

$$\beta = \alpha \omega = (6 \div 8) \cdot 1,6 = 9,6 \div 12,8 \text{ рад/с};$$

■ Значения параметров регуляторов ЭЭУ

Регулятор частоты					Регулятор напряжения			ГОС			
k_v	T_{v1}, c	T_{v2}, c	T_{v3}, c	T_{v4}, c	T_{v5}, c	k_u	T_{u1}	T_{u2}	T_{u3}	$T_{o.c1}$	$T_{o.c2}$
340	2,53	0,15	1,751	0,0054	3,0	170	0,01	0,001	0,005	0,037	0,31



■ Рис. 2. Процессы изменения напряжения и частоты в ЭЭУ в нормальном режиме работы при времени интегрирования: а — 10 с; б — 1 с: 1 — процесс изменения частоты; 2 — процесс изменения напряжения

$$\varphi_0 = \arctg\left(\frac{1}{\mu}\right) = \arctg\left(\frac{1}{1,6}\right) = 0,558 \text{ рад};$$

$$H^* = \sqrt{1 + \frac{1}{\mu^2}} = \sqrt{1 + \frac{1}{1,6^2}} = 1,179 \text{ рад/с},$$

где $\mu = 1,6$ — колебательность процесса, соответствующая перерегулированию 10 %.

В результате желаемые программные движения в МСАУ ЭЭУ будут иметь вид

$$\begin{aligned} v^0(t) &= [v_y - H^* \cos(\beta t - \varphi_0) e^{-\alpha t}] 1(t) = \\ &= [1 - 1,179 \cos(9,8t - 0,558) e^{-7t}] 1(t), \end{aligned}$$

где v_y — установившееся значение частоты напряжения на выходе ЭЭУ;

$$u_r^0(t) = u_{r,y} (1 - e^{-\alpha t}) 1(t) = (1 - e^{-7t}) 1(t),$$

где $u_{r,y}$ — установившееся значение амплитуды напряжения на выходе ЭЭУ.

При решении задачи параметрического синтеза ЭЭУ обобщенным методом Галеркина [1–5] были получены значения искомых параметров (таблица).

Моделирование процессов в математической модели ЭЭУ проводилось в программном комплексе MATLAB Simulink. Результаты моделирования динамических процессов изменения напряжения

и частоты в МСАУ ЭЭУ при двух одновременно действующих на входах единичных скачкообразных ступенчатых воздействиях показаны на рис. 2.

Как видно из графиков, процессы в ЭЭУ с синтезированными параметрами имеют показатели качества, соответствующие заданным (отклонение по напряжению не превышает 5 %, а по частоте — 2 %, что соответствует ГОСТ 28173 (МЭК 60034-1)).

Литература

1. Никитин А. В., Шишляков В. Ф. Параметрический синтез нелинейных систем автоматического управления: Монография / Под ред. В. Ф. Шишлякова; СПбГУАП. СПб., 2003. 358 с.
2. Шишляков В. Ф. Синтез нелинейных САУ с различными видами модуляции: Монография / СПбГУАП. СПб., 1999. 268 с.
3. Шишляков В. Ф., Шишляков Д. В. Параметрический синтез многосвязных систем автоматического управления во временной области // Изв. вузов. Сер. Проблемы энергетики. 2006. № 12. С. 49–54.
4. Цветков С. А., Шишляков В. Ф., Шишляков Д. В. Параметрический синтез САУ с амплитудно-импульсными модуляторами // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. 2007. № 8. С. 13–17.
5. Цветков С. А., Шишляков В. Ф., Шишляков Д. В. Синтез многосвязных систем автоматического управления во временной области // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. 2007. № 12. С. 13–17.

УДК 534.843.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ВТОРИЧНОГО КАНАЛА СИСТЕМ АКТИВНОГО ГАШЕНИЯ ШУМА

С. Г. Семенцов,

канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Рассмотрены методы моделирования передаточной функции вторичного канала для адаптивных алгоритмов систем активного гашения шума. На примере помещений предложен новый подход к моделированию на основании априорной информации об объекте управления. Показана высокая эффективность трассерных методов при моделировании передаточных функций в помещениях произвольной формы. Проведена оценка адекватности предложенных моделей.

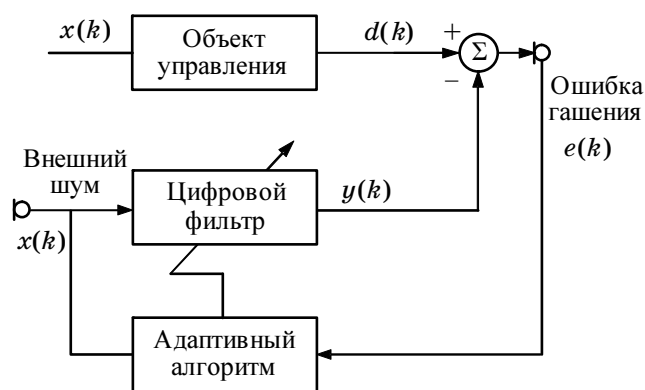
С точки зрения теории управления, в зависимости от способа реализации все адаптивные системы активного гашения (АСАГ) шума можно разделить на два класса: разомкнутые и замкнутые системы [1]. В последних настройка параметров осуществляется в замкнутом контуре, при этом возможны два варианта реализации: без модели и с моделью объекта управления (МОУ). Особенностью первого варианта является применение методов идентификации не для определения структуры и параметров модели процесса гашения, а для оценки критерия качества гашения на основе поступающих из основного контура сигналов. Величина этих сигналов задается, как некоторый, одноэкстремальный функционал качества управления.

В замкнутых АСАГ накопление текущей информации об изменяющихся характеристиках объекта управления и возмущающих воздействиях и соответствующая настройка параметров блока управления в целях постоянного обеспечения максимальной эффективности компенсации осуществляется автоматически в ходе их функционирования. Отличием данных АСАГ является возможность их использования при нестационарном характере среды и стационарном характере гасимых полей, что обусловлено необходимостью обучения АСАГ.

Особенность АСАГ с МОУ заключается в наличии соединенной в параллель с основной системой модели объекта управления, которая аппроксимирует передаточную функцию среды для заданного расположения источника и приемника. Однако настройка регулятора основной системы осуществляется также в процессе адаптивного регулирования в зависимости от сигнала ошибки компенса-

ции. Основной недостаток АСАГ с МОУ — это сложность формирования адекватной модели. Однако в АСАГ без МОУ предполагается выполнение условия квазистационарности процесса гашения, для данных же АСАГ требования к стационарности процесса гашения представляются не столь жесткими, однако при их реализации необходимо проводить ряд мероприятий по обеспечению устойчивости системы.

Рассмотрим особенности практической реализации АСАГ обоих классов. В системах без МОУ (рис. 1) при воздействии внешнего шума $x(k)$ блок управления вырабатывает отклик $y(k)$. Разностный сигнал (сигнал ошибки гашения) $e(k)$ поступает снова в блок управления, где по критерию минимизации ошибки с помощью адаптивного алгоритма пересчитываются коэффициенты цифрового фильтра, т. е. формируется новый отклик $y'(k)$.



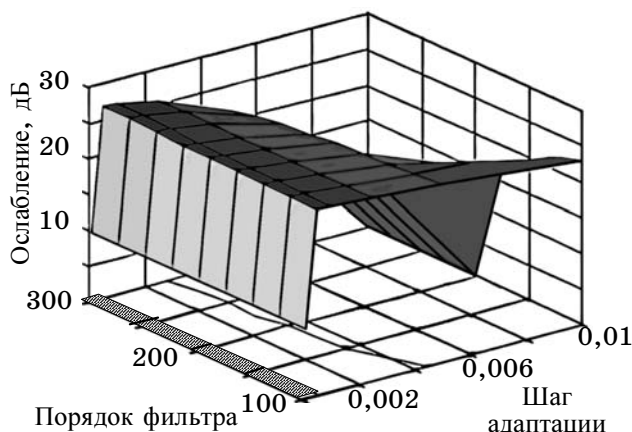
■ Рис. 1. Типовая управляющая структура АСАГ без МОУ

Таким образом, в процессе настройки система моделирует поведение объекта управления для данного входного воздействия. Под объектом управления в данном случае следует понимать передаточную функцию среды распространения для заданного расположения источник/приемник внутри защищаемых объектов (комната, чашка наушника, волновод). Помимо передаточной функции среды на параметры модели акустического поля оказывают влияние ряд других факторов, таких как передаточные функции используемых датчиков и излучателей, временные задержки обработки, изменение температуры и влажности среды и т. д. Соответственно блок управления должен в процессе настройки помимо возможного изменения входного сигнала обрабатывать и изменения передаточной функции. Здесь необходимо учитывать, что для пространственных систем импульсная характеристика объекта управления имеет значительную длину (100–1000 мс). Для аппроксимации импульсной характеристики такой длины необходим адаптивный цифровой фильтр высокого порядка. Однако, как показывают эксперименты и результаты моделирования [2], при использовании фильтров высоких порядков снижается эффективность гашения (рис. 2) и скорость сходимости адаптивного алгоритма.

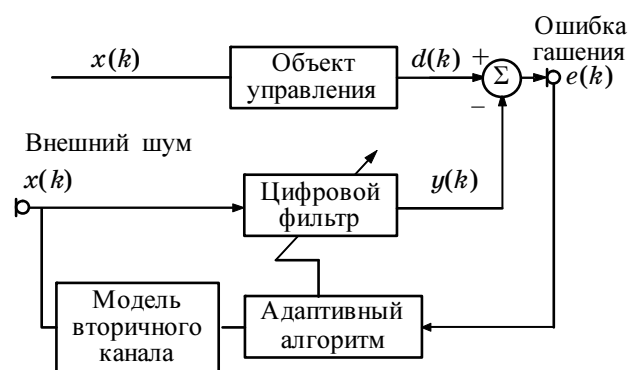
Формируемый системой отклик должен учитывать и характеристики элементов электроакустического тракта (усилителей, микрофонов, излучателей), аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, что также приводит к необходимости применения фильтров высоких порядков. Частично эта проблема решается за счет использования модификаций адаптивных алгоритмов с использованием модели передаточной функции вторичного канала системы (Secondary Path Transfer Function). Чаще всего в АСАГ применяется так называемый FX-LMS (filtered-X LMS) алгоритм (рис. 3) [2].

В данном алгоритме модель вторичного канала представляет собой интегральную передаточную характеристику объекта управления, цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей, усилителей и излучателей. Модель вторичного канала может быть получена в процессе идентификации системы методами онлайн- и офлайн-моделирования [3]. В офлайн-режиме моделирование (рис. 4) происходит в процессе настройки адаптивного фильтра при случайном входном сигнале.

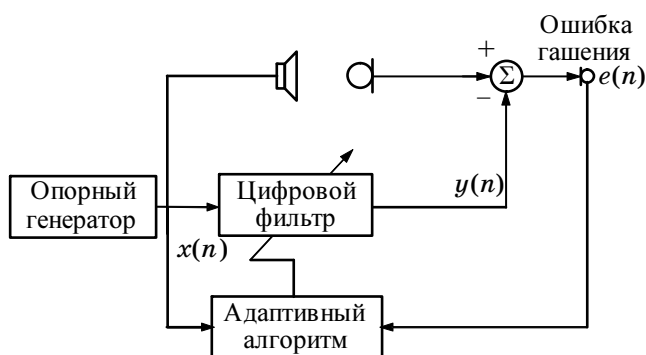
Недостатком такой схемы является необходимость проводить ряд экспериментов в целях идентификации системы для данного помещения и расположения пары источник/приемник. Система с онлайн-идентификацией (рис. 5) лишена этого недостатка, поскольку благодаря наличию в системе второго контура настройки процесс идентификации происходит в процессе работы системы. Однако в этом случае алгоритм работы системы значительно усложняется, что приводит к труд-



■ Рис. 2. Зависимость качества гашения от порядка фильтра и шага адаптации



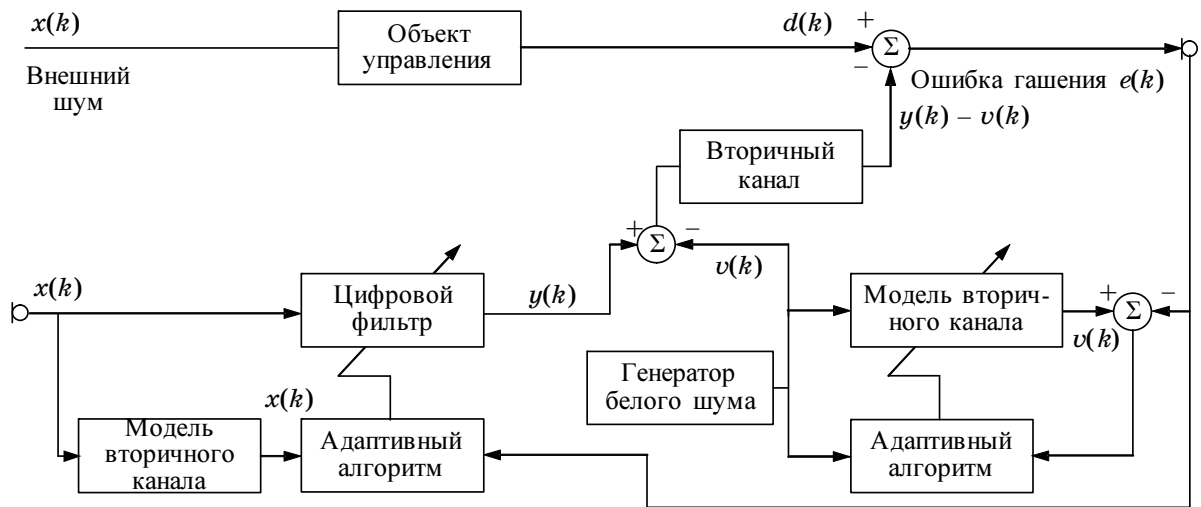
■ Рис. 3. Управляющая структура АСАГ с использованием модели вторичного канала



■ Рис. 4. Моделирование вторичного акустического канала в офлайн-режиме

ностям при моделировании и практической реализации системы. Тем не менее благодаря использованию таких алгоритмов удается повысить качественные показатели системы, прежде всего, за счет снижения требований к адаптивному фильтру и повышению скорости сходимости алгоритма.

При построении АСАГ с МОУ наиболее перспективным подходом представляется построение модели на основе минимальной априорной информации об объекте управления, например, геометрии



■ Рис. 5. Идентификация объекта управления в онлайн-режиме

помещения, материале покрытий и расположении крупных предметов.

Однако при практической реализации такого подхода возникает ряд дополнительных трудностей. В частности, до 90-х гг. не были разработаны методы моделирования акустики помещений с произвольной геометрией и заданными граничными условиями.

Также не был достаточно развит аппарат решения этих задач численными методами, например методом конечных и граничных элементов. Да и уровень развития средств цифровой сигнальной обработки не позволял с достаточной степенью адекватности реализовать системы с МОУ, работающие в реальном времени. В последние годы прогресс в указанных областях позволил на новом качественном уровне подойти к решению этой проблемы. Например, современные средства ЦОС позволяют смоделировать импульсный отклик помещения длительностью 300–600 мс, что вполне достаточно для небольших и средних помещений.

Точное аналитическое решение для передаточной функции среды распространения в замкнутых объемах может быть найдено лишь для тривиальных случаев [4]. Поэтому для решения этой задачи могут быть использованы численные и эмпирические методы, например метод суммирования мод [5]. Этот метод позволяет с высокой точностью смоделировать частотный отклик помещения в модальной зоне вплоть до частот Шредера. Однако необходимую точность моделирования данный метод обеспечивает лишь для помещений простой формы с однозначно определяемыми модальными частотами.

Для помещений произвольной формы в последние годы было разработано целое поколение лучевых и трассерных методов моделирования передаточных функций [6]. В качестве примера конкретной реализации этих методов можно привести программные пакеты Odeon фирмы Bruel&Kjaer и CARA (Computer Aided Room Acoustics) фирмы

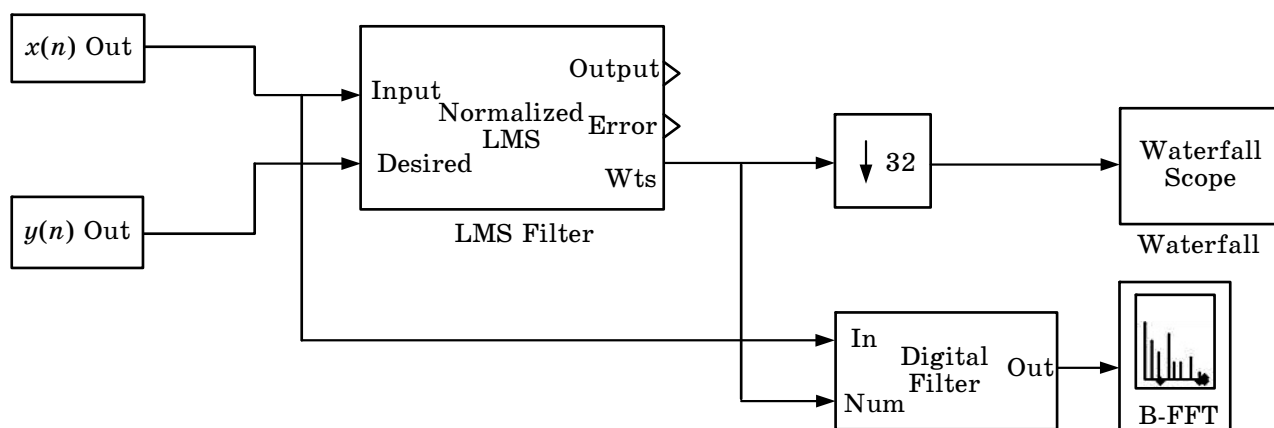
ЕЛАС. Судя по большому числу публикаций, в которых рассмотрены успешные примеры моделирования акустических параметров помещений и концертных залов, можно сделать вывод о применимости трассерных методов для моделирования передаточных функций помещений произвольной формы.

Рассмотрим пример моделирования передаточной функции вторичного канала на базе трассерных методов. Исходными данными для моделирования является трехмерная модель помещения с указанием материалов покрытий, координат крупных предметов и расположения приемников/излучателей (рис. 6).

Для входного случайного воздействия $x(n)$, выбранной пары источник/приемник, температуры, влажности и давления производится расчет выходного сигнала $y(n)$. Выходной сигнал представляет собой свертку входного сигнала с рассчитанной импульсной характеристикой вторичного канала. Далее для входного/выходного сигнала может быть проведена процедура идентификации в частотной области вторичного канала, для чего может быть использована следующая модель в среде MATLAB (рис. 7).



■ Рис. 6. Трехмерная трассерная модель помещения



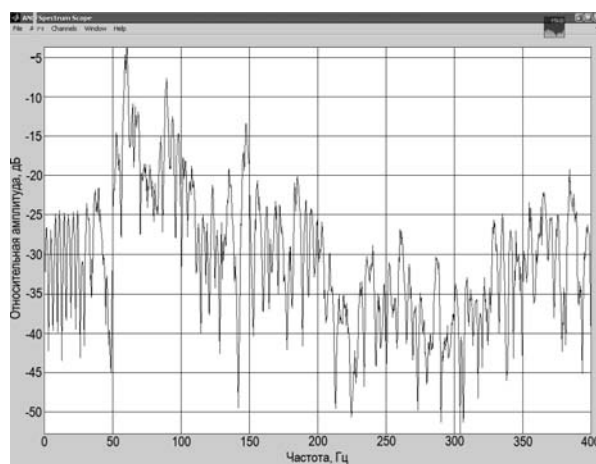
■ Рис. 7. Модель в среде MATLAB для идентификации передаточной функции вторичного канала

В данной модели после настройки адаптивного алгоритма найденные в процессе идентификации коэффициенты передаются в цифровой фильтр. Порядок фильтра определяется допустимым уровнем сигнала ошибки. В данном случае модель реализована в виде КИХ-фильтра 256-го порядка с тактовой частотой 800 Гц. С учетом случайного характера входного сигнала коэффициенты фильтра получены усреднением по последним 10 итерациям адаптивного алгоритма. На рис. 8 представлен отклик в частотной области синтезированной модели вторичного канала для помещения (см. рис. 6). На рис. 9 представлен отклик в частотной области того же помещения, полученный экспериментально в режиме оффлайн-моделирования.

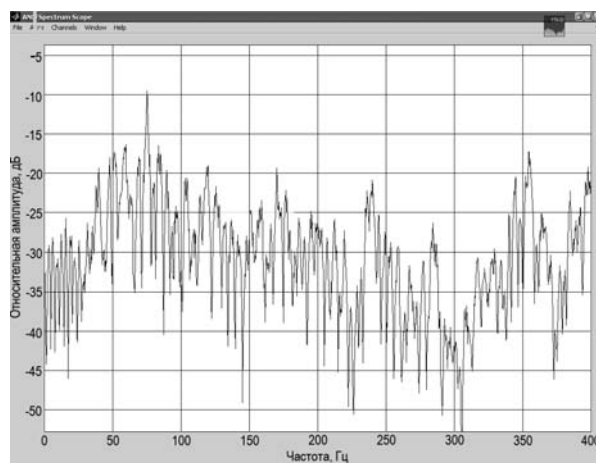
При моделировании верно рассчитаны собственные частоты основных модальных компонент. Различия наблюдаются лишь в соотношении их амплитуд.

Для оценки эффективности разработанных моделей использована структура в среде MATLAB (рис. 10). На вход модели подается полигармонический сигнал плавающей частоты с числом гармоник от 1 до 5 и скоростью развертки в диапазоне 20÷400 Гц соответственно 10 и 20 с. К полигармоническому сигналу подмешан белый шум с относительным уровнем -15 дБ. В качестве объекта управления использована модель вторичного канала, описывающая передаточную функцию при расположении источника и приемника в противоположных углах помещения. Для сравнения результатов также были использованы экспериментальные, полученные методом оффлайн-моделирования, и теоретические модели:

- ЭМ1 — экспериментальная модель при ином расположении предметов в помещении;
- ТМ1 — теоретическая модель, полученная методом усреднения по четырем произвольным точкам помещения;
- ТМ2 — теоретическая модель для заданного расположения пары источник/приемник;
- АФ — адаптивный фильтр без модели вторичного канала;



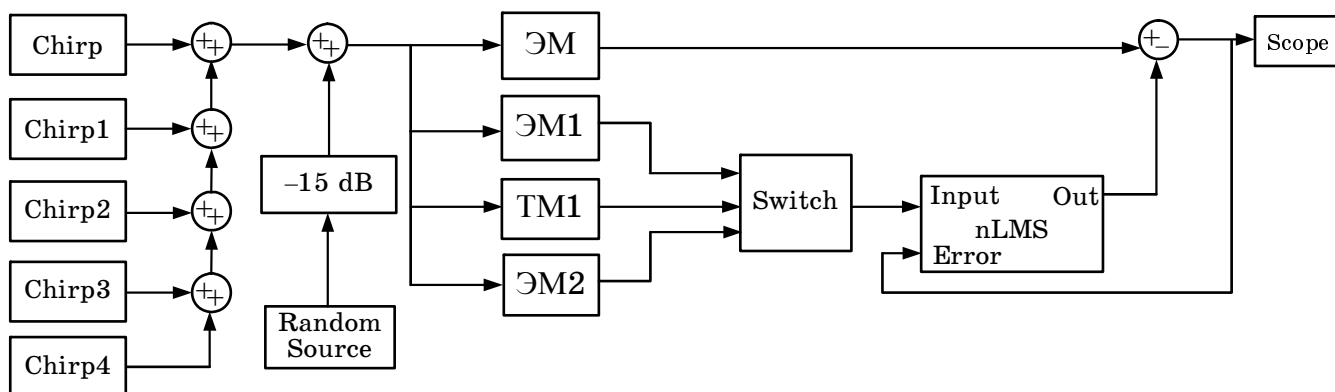
■ Рис. 8. Смоделированный отклик, полученный трансферным методом



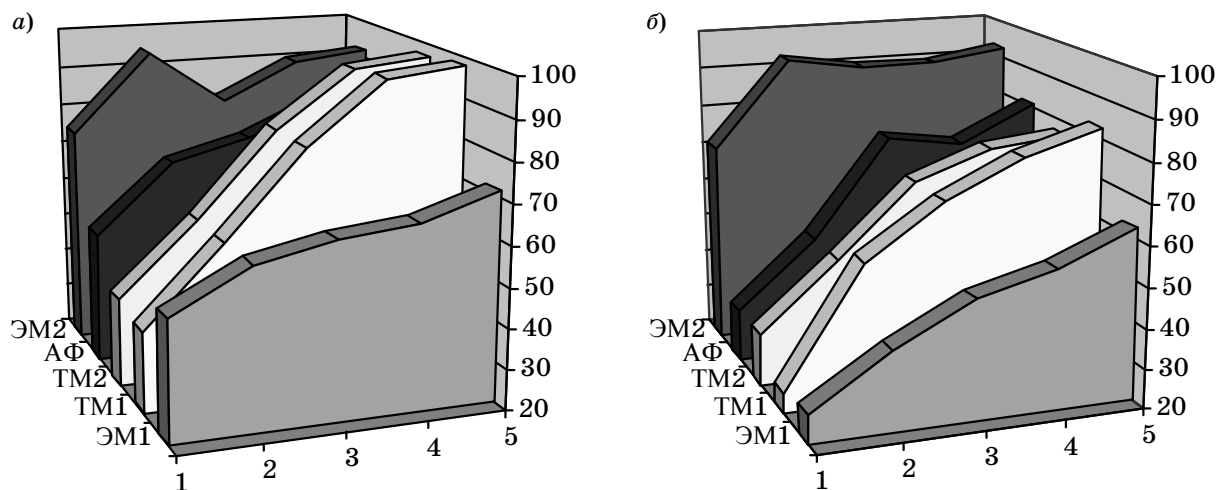
■ Рис. 9. Экспериментальный отклик, полученный методом оффлайн-моделирования

- ЭМ2 — экспериментальная модель, полученная методом усреднения по четырем произвольным точкам помещения.

Адаптивный фильтр имеет длину 32 отсчета и использует НСК-алгоритм с нормализацией.



■ Рис. 10. Модель в среде MATLAB для оценки эффективности различных моделей вторичного канала



■ Рис. 11. Зависимость уровня сигнала ошибки от используемой модели при скорости развертки полигармонического сигнала: а — 10 с; б — 20 с

Результаты моделирования представлены на рис. 11, а и б, где по горизонтальной оси 1–5 показано количество гармоник во входном сигнале. По вертикальной оси отложен максимальный уровень сигнала ошибки относительно входного сигнала в процентном соотношении.

При небольшом числе гармоник во входном сигнале предложенные модели обеспечивают в среднем на 30 % меньший уровень сигнала ошибки по сравнению с усредненной экспериментальной моделью и на 10 % по сравнению со структурой без модели вторичного канала. При большом числе гармоник во входном сигнале и скорости развертки 20 с прирост эффективности предложенных моделей составляет 10–15 %.

Проведенное моделирование наглядно демонстрирует эффективность предложенного метода моделирования передаточных функций вторичного канала и дает возможность строить на его основе высокоэффективные системы активного снижения шума.

Литература

1. Власов А. И. Аппаратно-программные методы и микропроцессорные средства активной защиты человеко-машинных систем от акустических воздействий: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1997. 215 с.
2. Kristensen S. H. Active Noise Cancellation in Headsets Aalborg University. Institute of Electronic Systems // Applied Signal Processing and Implementation. Technical Report, 1998. 122 p.
3. Grylin P., Hedborg M. Active Noise Control of a Forest Machine Cabin. Technical Report. Institutionen for systemteknik. Linkoping. 2007. 65 p.
4. Jacobsen F. The Sound Field in a Reverberation Room. Technical University of Denmark. Lyngby. Technical Report. 2006. 37 p.
5. Walker R. Low-frequency Room Responses. Technical Report. BBC Research Department Report. 1992. 25 p.
6. Michael Vorländer Auralization. Fundamentals of acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality. Springer, 2008. 348 p.

УДК 602-507

ЯЗЫК МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ BPDЛ

А. С. Толмачев,*
инженер-программист
ООО «Лектон»

Рассматривается новый язык описания бизнес-процессов BPDЛ, обладающий, в отличие от известных BPEL и XLANG, рядом важных свойств: простотой, гибкостью и расширяемостью.

Введение

Автоматизация бизнеса — далеко не новая для сферы информационных технологий тема. Говоря об автоматизации бизнеса, мы говорим об автоматизации бизнес-процессов организации. Бизнес-процесс — это последовательность операций, в ходе выполнения которых получается значимый для организации результат (продукты, услуги).

В последнее десятилетие были предприняты попытки найти общие языки для описания бизнес-процессов. Модель бизнес-процесса, описанная на таком языке, может быть затем реализована в соответствующей среде выполнения, как программа.

В этой статье рассматриваются бизнес-процессы, выполняющие интеграционную роль. Такие бизнес-процессы могут быть охарактеризованы следующим образом. Бизнес-процесс — это длящийся во времени вычислительный процесс, обладающий набором данных, которые могут создаваться, использоваться и уничтожаться в различные моменты времени, ориентированный на взаимодействие с внешними системами путем обмена XML-сообщениями.

Наиболее известными и распространенными языками моделирования бизнес-процессов такого рода на текущий момент являются языки BPEL4WS и XLANG. XLANG — это язык моделирования бизнес-процессов, разработанный Microsoft специально для интеграционной платформы Biztalk [1, 2]. Язык BPEL4WS (Business Process Execution Language For Web Services) — это язык, разработанный совместно IBM и Microsoft и имеющий открытый XML-синтаксис [3]. BPEL4WS и XLANG схожи по структуре и выразительной мощности. Для примера вкратце рассмотрим BPEL.

Язык BPEL опирается на использование веб-сервисов — одного из наиболее популярных под-

ходов к решению интеграционных задач. Понятие веб-сервиса было разработано в целях стандартизации внешних интерфейсов взаимодействующих систем. Веб-сервисом может быть любая система, ориентированная на обмен сообщениями с внешними партнерами, снабженная опубликованным описанием на языке WSDL (Web Service Description Language) [4].

В BPEL любой бизнес-процесс описывается программой, состоящей из *деятельностей* (activities) — атомарных инструкций языка. Деятельности делятся на простые (primitive) и составные (structural). Простые деятельности служат для выполнения атомарных задач, таких как:

- отправка произвольного сообщения во внешнюю систему (деятельность send);
- ожидание сообщения из внешней системы (деятельность receive);
- операции над переменными бизнес-процесса (деятельность assign) и т. д.

Структурные деятельности позволяют объединять простые деятельности в алгоритмические конструкции:

- последовательность (sequence) группирует деятельности для выполнения друг за другом;
- поток (flow) служит для выполнения деятельностей параллельно;
- ветвление (switch) позволяет выполнять те или иные деятельности в зависимости от условия;
- цикл (while) служит для многократного выполнения последовательности деятельностей.

Кроме этого, BPEL имеет специальные конструкции для генерации исключений (throw) и их обработки (блоки faultHandlers, catch и catchAll). Также BPEL предусматривает очень важную для длительных транзакций (long-running transactions — LRT) возможность компенсации (блоки compensationHandlers и деятельность compensation). Длительные транзакции, в которых участвуют несколько сторон, невозможно проводить по принципам ACID (Atomicity, Consistence, Isolation, Durability), применяемым, в частности, в системах

* Научный руководитель — канд. физ.-мат. наук, доцент Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Ф. А. Новиков.

управления базами данных. Поэтому в длительных транзакциях обычно используется принцип компенсации, в соответствии с которым для каждой операции определяется обратная ей.

К сожалению, BREL и XLANG имеют принципиальные ограничения и недостатки.

Основными из них являются следующие:

- отсутствие важных базовых функциональных конструкций (в BREL, например, нельзя вызвать одну программу из другой в качестве подпрограммы);
- сложность языков (количество сущностей в каждом составляет более трех десятков);
- отсутствие механизмов расширения.

В течение последних лет были предприняты значительные усилия, направленные на то, чтобы сделать языки моделирования бизнес-процессов более доступными для неспециалистов в области программирования, в основном для бизнес-аналитиков. В этих целях OMG был принят стандарт BPMN (Business Process Modeling Notation) графической нотации для бизнес-процессов [5]. BPMN специфицирует набор графических элементов, описывает их семантику и определяет отображение своих диаграмм в BREL. Семантическая модель BPMN более абстрактна, чем модель BREL, она позволяет бизнес-аналитику описывать процесс, не задумываясь о деталях реализации. После трансляции в BREL модель бизнес-процесса должна быть передана программисту, который необходимым образом уточнит ее и подготовит для выполнения.

Наличие перечисленных недостатков способствовало появлению идеи разработки нового простого расширяемого языка моделирования бизнес-процессов.

Описание языка BPDЛ

Предлагаемый язык BPDЛ (Business Process Description Language), в отличие от перечисленных языков, обладает следующими преимуществами:

- он расширяем — количество инструкций не ограничено;
- он ориентирован на предметную область — в язык включены инструкции, которые ориентированы на решение конкретных задач (выполнение платежа, получение баланса и т. д.).

Как и BREL, BPDЛ имеет XML-синтаксис.

В BPDЛ любой бизнес-процесс обладает набором локальных данных (контекстом) и набором идентификаторов внешних систем, с которыми происходит обмен сообщениями.

Бизнес-процесс описывается программой. Атомарной инструкцией является шаг (step) — аналог деятельности в BREL. Шаги группируются в задачи (tasks) — последовательности шагов с взаимными ветвлениями. Набор связанных между собой задач, предназначенных для решения конкретной бизнес-задачи, составляет программу. Для любого шага может быть определен набор ветвей

(branches) с условиями (conditions), наложенными на переменные контекста. Ветвь содержит последовательность шагов, которые выполняются, если выполняется условие. Шаги делятся на две основные категории:

- управляющие шаги, осуществляющие навигацию между задачами и управление выполнением бизнес-процесса;
- прикладные шаги, осуществляющие операции с сообщениями, локальными данными и т. д.

Определение 1. Переменной будем называть пару $v = (val, D)$, где $D = Type(v)$ — множество значений данной переменной; $val \in D$ — ее текущее значение.

Определение 2. Каналом будем называть пару $ch = (q, M)$, где q — это очередь, доступ к элементам которой организован по принципу FIFO, а $M = Type(ch)$ — множество сообщений — элементов, которые могут помещаться в очередь q .

Для канала определены следующие операции:

- $ch!m$ — операция отправки сообщения $m \in M$ в канал ch (сообщение помещается в конец очереди). Операцию отправки значения переменной v в канал ch ($Type(v) = M$) будем также обозначать $ch!v$;
- $ch?v$ — операция приема сообщения из канала ch (первый элемент извлекается из очереди и помещается в переменную v).

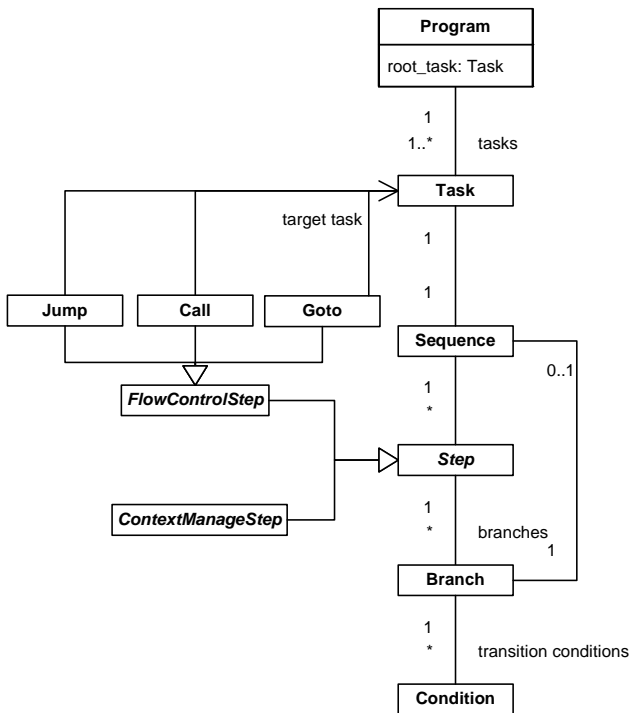
Операционная семантика BPDЛ определяется с помощью виртуальной машины BPM, выполняющей программы BPDЛ. Вычислительный процесс на BPM определяется набором $\{p, S, C, Ch\}$, где p — программа; S — стек программных вызовов; C — контекст, т. е. совокупность данных программы, представляющая собой набор переменных произвольных типов; Ch — набор доступных каналов передачи сообщений.

Программа p — это выражение на языке BPDЛ. Множество синтаксически правильных программ на BPDЛ будем обозначать P . Абстрактный синтаксис BPDЛ задается следующей грамматикой:

```

Program → Task_ref (Task)+
Task → Sequence
Sequence → (Step Branch)+
Branch → (Condition * Sequence) | Condition *
Step → ControlFlowStep | ContextManagementStep
ControlFlowStep → (jump | goto | call)
Task_ref | return | finish
    
```

Программа (Program) состоит из ссылки (Task_Ref) на корневую задачу и списка задач (Task). Задача содержит последовательность (Sequence). Каждая последовательность состоит из шагов (Step) с набором ветвей (Branch). Ветвь, в свою очередь, состоит из набора условий (Condition) ее выполнения и последовательности. Шаги делят-



■ Рис. 1. Мета-модель языка BPD

ся на управляющие (ControlFlowStep) и прикладные (ContextManageStep).

Управляющие шаги позволяют вызывать подзадачу (шаг call), перейти к ее выполнению с потерей точки вызова (шаг jump) и без его потери (шаг goto), осуществлять возврат из вызываемой подзадачи (шаг return), закончить выполнение бизнес-процесса (шаг finish).

Condition — это описание функции $C \rightarrow \{0, 1\}$. Прикладной шаг — это функция $C \times Q \rightarrow C$ (функция, выполняющая вычисление над переменными контекста с участием, возможно, обмена сообщениями по каналам из набора каналов Q).

BPD включает следующие основные прикладные шаги:

- Service (посылает указанное сообщение в указанный канал и ожидает ответного сообщения);
- JavaScript (выполняет указанный код на JavaScript над переменными бизнес-процесса);
- XSLT (выполняет XSLT-преобразование над переменной).

Прочие шаги имеют ориентацию на предметную область: Payment выполняет платеж, Balance выполняет запрос баланса по карте и т. д.

Мета-модель языка представлена на рис. 1.

Алгоритм интерпретации программы на BPD

Текущая выполняемая инструкция в программе идентифицируется парой (task, step), где step — это выполняемый в данный момент шаг из задачи task. Стек S содержит пары (task, step). BPM, по-

лучив на вход программу p , выполняет ее, действуя по следующему алгоритму.

Алгоритм 1. Алгоритм интерпретации программы на BPD.

Вход: p — программа, Q — набор каналов

Локальные переменные: C — контекст, S — стек

```

1 root_task = p.root_task;
2 (root_task, GetFirstStep(root_task)) -> S
3 do
4 (task, step) <- S
5 if (type(step) = "jump") then
6 S = ∅ {Очищаем стек}
7 target_task = GetTargetTask(step)
8 (target_task, GetFirstStep(target_task)) -> S
9 continue
10 else if (type(step) = "call") then
11 (task, step) -> S { Сохраняем точку вызова }
12 target_task = GetTargetTask(step)
13 (target_task, GetFirstStep(target_task)) -> S
14 continue
15 else if (type(step) = "goto") then
16 target_task = GetTargetTask(step) {Переходим на целевое задание}
17 (target_task, GetFirstStep(target_task)) -> S
18 continue
19 else if (type(step) = "return") then
20 (task, step) <- S { Восстанавливаем точку вызова }
21 else if (type(step) = "finish") then
22 break { Завершаем вычислительный процесс }
23 else { Другой step }
24 ExecuteStep(step, C, Q);
25 end if
26
27 B = step.branches;
28 for b 0 B do
29 Q = b.transition_conditions;
30 for q 0 Q do
31 if (IsTrueCondition(q, C)) then
32 {условие выполняется — переходим на первый step в branch}
33 if (b.sequence != NULL) then
34 (task, b.sequence) -> S
35 continue
36 end if
37 end if
38 end for
39 end for
40 step = GetNextStep(task, step)
41 (task, step) -> S
42 end do
    
```

В алгоритме используются следующие функции:

GetFirstStep(t) — возвращает первый шаг в задаче t ;

GetNextStep(t, s) — возвращает шаг, следующий за s в задаче t ;

GetTargetTask(s) — возвращает задачу, на которую ссылается шаг s (подразумевается, что шаг имеет тип «jump», «goto» или «call»);

IsTrueCondition(q, C) — вычисляет истинность условия q над контекстом C ;

ExecuteStep(s, C) — выполняет прикладной шаг.

Пример использования

В качестве примера, иллюстрирующего применение BPD, рассмотрим безличный платеж в пользу поставщика услуг (таким поставщиком может быть мобильный оператор, оператор спут-

никового телевидения и т. д.). Платеж выполняется с терминала самообслуживания или банкомата. Терминал не обязательно принадлежит банку-эмитенту (выпустившему карту), а может принадлежать другому банку — члену платежной системы. Платеж выполняется в режиме реального времени, т. е. поставщик услуг сразу же узнает о выполнении платежа.

Обозначим роли, участвующие в операции:

- обслуживающий банк (acquirer) выполняет платеж в своей системе;

- банк-эмитент (issuer) содержит счет клиента;

- поставщик услуг (provider) принимает платеж.

Взаимодействие сторон при выполнении платежа представлено на рис. 2.

Сначала проверяется возможность выполнения платежа со стороны поставщика услуг. В систему поставщика отправляется сообщение с запросом проверить возможность выполнения платежа (например, номер телефона, сумма платежа и его валюта) (шаг 1). Если ответ положителен, выполняется авторизация на стороне банка-эмитента (шаг 2). Эмитент проверяет, что в его системе заведена карта с таким номером и что на счету достаточно средств для выполнения платежа. Если проверки выполнены успешно, сумма платежа на клиентском счету блокируется и ответ следует положительный. Последним этапом выполняется уведомление поставщика о том, что в его пользу был совершен платеж (в системе банка, принимающего платеж, на счет поставщика была переведена указанная сумма).

Рассмотрим детально действия, которые выполняются в системе принимающего банка (рис. 3).

В первую очередь, платеж регистрируется в системе (Start operation). Совершаются необходимые проверки, создается платежный документ. В случае если поставщик отвергает платеж (шаг Request provider if payment is possible), операция завершается (End operation (failure)). Платежный документ при этом получает статус ошибки. То же самое происходит, если авторизация на стороне эмитента (Authorize amount) заканчивается неуспешно. В случае если ошибка происходит при уведомлении поставщика (Notify payment is completed), необходимы дополнительные действия по компенсации: в системе эмитента заблокированная сумма должна вернуться в распоряжение клиента (Rollback authorization).

Если все шаги выполняются успешно, платежный документ получает положительный статус и операция завершается (End operation (success)).

Рассмотрим варианты реализации задачи на языке BPD. Для этого создадим отдельную задачу (task). Будем считать, что следующие входные переменные существуют в контексте бизнес-процесса:

- device_contract: Contract;
- selected_contract: Contract;
- doc_msg: DocumentMsg.

Contract и DocumentMsg являются типами соответствующих XML-документов, содержащих

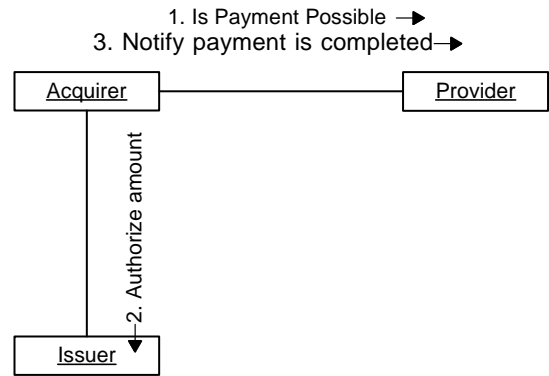


Рис. 2. Порядок взаимодействия сторон при выполнении платежа

информацию о контракте (счете, карте, терминале — другими словами, участнике транзакции) и о финансовом документе в общем виде.

Переменная device_contract содержит информацию о контракте терминала, selected_contract — о счете, с которого выполняется платеж, doc_msg представляет собой документ с указанными реквизитами.

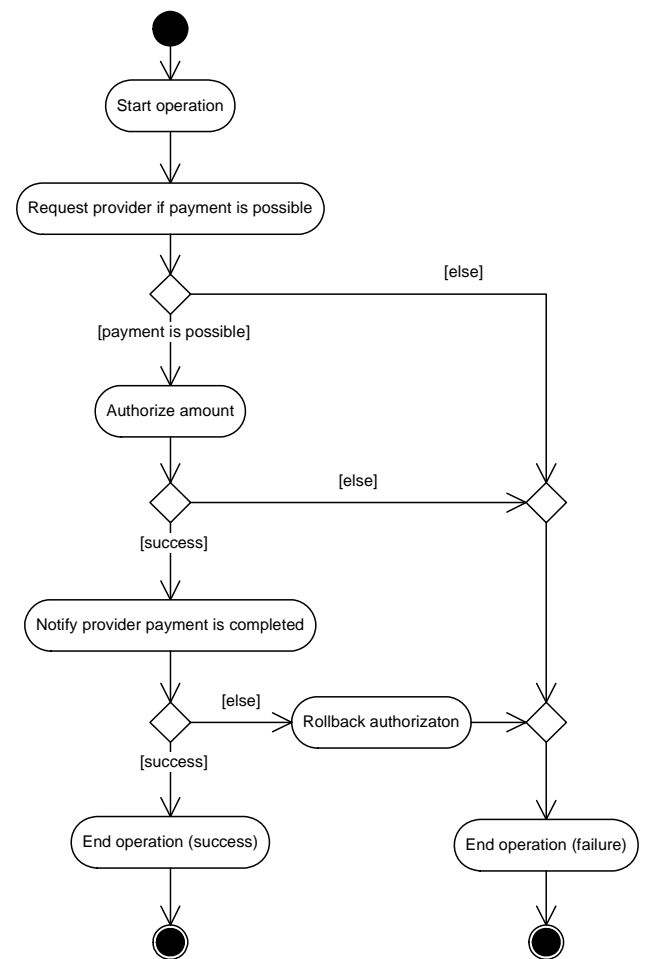


Рис. 3. Действия, выполняемые при совершении платежа

Будем использовать следующие шаги:

- **StartOperation.** Шаг регистрирует финансовый документ в системе. Параметры:
 - `doc_msg: DocumentMsg` — финансовый документ с реквизитами;
 - `device_contract: Contract` — контракт терминала;
 - `payer_contract: Contract` — контракт счета-источника;
 - `error_branch: BranchRef` — ссылка на дочернюю ветвь-обработчик ошибки.
- **EndOperation.** Обновляет документ и присваивает ему статус (положительный или отрицательный). Параметры:
 - `doc_msg: DocumentMsg` — финансовый документ с реквизитами;
 - `device_contract: Contract` — контракт терминала;
 - `payer_contract: Contract` — контракт счета-источника;
 - `error_branch: BranchRef` — ссылка на дочернюю ветвь-обработчик ошибки.
- **Service.** Посылает сообщение во внешнюю систему и ожидает ответного сообщения. Параметры:
 - `channel: ChannelID` — идентификатор канала внешней системы;
 - `template(...): XML-Template` — шаблон сообщения, параметризуемый переменными (динамический XML);
 - `error_branch: BranchRef` — ссылка на дочернюю ветвь-обработчик ошибки;
 - `timeout_branch: BranchRef` — ссылка на дочернюю ветвь-обработчик.

В следующем BPDЛ-псевдокоде используются обозначения:

- **PROVIDER** — идентификатор канала системы поставщика;
- **ISSUER** — идентификатор канала системы банка-эмитента;
- **PROVIDER_CHECK** — шаблон XML-запроса проверки возможности платежа;
- **AUTH** — шаблон авторизационного XML-запроса;
- **PROVIDER_NOTIFY** — шаблон уведомления о выполненном платеже;
- **REVERSE** — шаблон запроса на откат операции.

Алгоритм 2. BPDЛ-псевдокод программы, реализующей платеж.

Вход:

```
device_contract: Contract;
selected_contract: Contract;
doc_msg: DocumentMsg;
```

Выход:

```
doc_msg: DocumentMsg;
```

```
1 Step [ StartOperation(doc_msg, device_contract, selected_contract,
2     error_branch) ]
3 Step [ Service(PROVIDER, PROVIDER_CHECK(doc_msg, device_contract,
4     selected_contract), error_branch, error_branch) ]
5 Branch error_branch [ { шаг закончился неуспешно }
6 Condition [ doc_msg.RespCode != 0 ]
```

```
7     Step [ EndOperation(doc_msg, device_contract,
8     selected_contract,
9     error_branch) ]
10 ]
11 Step [ Service(ISSUER, AUTH(doc_msg, device_contract,
12     selected_contract), error_branch, error_branch) ]
13 Branch error_branch [ { шаг закончился неуспешно }
14 Condition [ doc_msg.RespCode != 0 ]
15     Step [ EndOperation(doc_msg, device_contract,
16     selected_contract,
17     error_branch) ]
18 ]
19 Step [ Service(PROVIDER, PROVIDER_NOTIFY(doc_msg, device_contract,
20     selected_contract), error_branch, error_branch) ]
21 Branch error_branch [ { шаг закончился неуспешно }
22 Condition [ doc_msg.RespCode != 0 ]
23     Step [ Service(ISSUER, REVERSE(doc_msg,
24     device_contract,
25     selected_contract), error_branch,
26     error_branch) ]
27     Branch error_branch [ { шаг закончился неуспешно }
28     Step [ Return ]
29 ]
30 Step [ EndOperation(doc_msg, device_contract,
31     selected_contract,
32     error_branch) ]
33 Branch error_branch [ { шаг закончился неуспешно }
34     Step [ Return ]
35 ]
```

Вторым способом решения задачи является использование шага «Платеж»:

- **Payment** — выполняет платеж по Алгоритму 2. Параметры:
 - `doc_msg: DocumentMsg` — финансовый документ с реквизитами;
 - `device_contract: Contract` — контракт терминала;
 - `payer_contract: Contract` — контракт счета-источника.

Для чего необходимо реализовывать Алгоритм 2 в виде отдельного шага? Для этого есть следующие причины.

- Ориентация на прикладную область. Алгоритм 2 является упрощенным: в реальности логика выполнения операций более сложна и содержит больше деталей. Реализация такого алгоритма на BPDЛ потребовала бы большого количества кода на JavaScript и низкоуровневых шагов (например, шага «Вызов произвольной хранимой процедуры»), чего хотелось бы избежать.

- Удобный графический интерфейс. Удобство использования шагов во многом зависит от пользовательского интерфейса. Добавляя шаг в программу, пользователь указывает его входные и выходные параметры, причем зачастую они имеют структуру более сложную, нежели линейная, как последовательность аргументов функции. Проблема создания пользовательского интерфейса шага лежит на программистах. Задача в этом смысле не может заменить шаг, поскольку написанная пользователем, она будет вызвана через общий для всех задач интерфейс шага call.

• **Производительность.** Будучи реализованным как отдельный шаг на Java, алгоритм будет выполняться быстрее, чем реализованный задачей на BPDЛ.

Рассмотренный пример проиллюстрировал применение BPDЛ для программирования распределенных финансовых транзакций в среде, ориентированной на обмен сообщениями. Другим примером использования языка может служить программирование приложения информационного банковского киоска или банкомата. В этом случае используются прикладные шаги, отвечающие за посылку на терминал специализированной команды (ожидать ввода карты, показать экран, принять купюры, распечатать чек) и обработку результатов ее выполнения. Вместе с набором шагов для программирования финансовых транзакций эти шаги предоставляют удобную базу для реализации

разнообразных приложений для каналов банковского самообслуживания. Ориентация языка на решение конкретной задачи в таком случае делает процесс программирования простым и доступным не только программистам, но и сотрудникам внедрения, и служащим ИТ-подразделений банка.

Заключение

Мы рассмотрели новый язык описания бизнес-процессов BPDЛ. Предлагаемый язык, в отличие от известных BPEL и XLANG, обладает рядом преимуществ: он прост, гибок и расширяем. Расширяемость позволяет пополнять язык инструкциями, ориентированными на конкретную предметную область, тем самым увеличивая круг его потенциальных пользователей.

Свойства языка проиллюстрированы взятым из практики примером.

Литература

1. **Woodgate S.** Microsoft BizTalk Server 2004 Unleashed. Sams Publishing, 2004.
2. **Chappell D.** Enterprise Service Bus. O'Reilly, 2004. P. 247.
3. **Matjaz B. J.** Business Process Execution Language for Web Services. Packt Publishing, 2004. P. 372.
4. **Ньюкомер Э.** Веб-сервисы для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. 256 с.
5. Business Process Modeling Notation Specification. www.omg.org.

УДК 681.3.067

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЕ С КАНАЛАМИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА НА ОСНОВЕ ГРАФА РЕАЛИЗАЦИИ УГРОЗ

Г. Н. Мальцев,

доктор техн. наук, профессор

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

В. В. Теличко,

зам. директора

ООО «Цифровые технологии»

Приводится описание теоретико-множественной постановки и графового метода решения задачи выбора оптимального состава комплекса средств защиты информации распределенной информационно-управляющей системы с каналами беспроводного доступа. Рассмотрены особенности составления и преобразования графов реализации угроз в системах с каналами беспроводного доступа, для которых характерна возможность достижения нарушителем своих целей при реализации различного числа угроз и при различных последовательностях их реализации.

В современных информационно-управляющих системах (ИУС) дистанционного управления транспортными средствами и территориально разнесенными производственными процессами, сбора информации и удаленного доступа для информационного обмена между центральными и периферийными терминалами широкое распространение получают цифровые технологии передачи данных, которые реализуются как на основе кабельных сетей связи, так и с помощью систем беспроводного доступа [1, 2]. Технологии беспроводных сетей привлекают внимание разработчиков телекоммуникационных систем относительно невысокими экономическими затратами и простотой развертывания, удобством использования и гибкой архитектурой.

Практический интерес представляет использование в распределенных ИУС трех стандартизованных технологий беспроводного доступа: VPAN (Bluetooth, стандарт IEEE 802.15), WLAN (Wi-Fi, стандарт IEEE 802.11) и WMAN (Wi-MAX, стандарт IEEE 802.16). Их дальность действия изменяется от десятков и сотен метров (технологии VPAN и WLAN) до единиц километров (технология WMAN), а скорости передачи данных — от сотен килобит в секунду (технология VPAN) до десятков и сотен мегабит в секунду (технологии WLAN и WMAN). Однако сам принцип беспроводной передачи данных по радиоканалам, связывающим удаленные терминалы с точками входа в ста-

ционарную сеть, включает в себе возможность несанкционированных подключений к точкам доступа, и развитие систем беспроводного доступа сопровождается усилением активности нарушителей, использующих уязвимости в построении систем передачи данных для реализации угроз информационной безопасности [3, 4].

В результате использование в распределенных ИУС каналов беспроводного доступа приводит к увеличению угроз информационной безопасности и необходимости принятия упреждающих мер по обеспечению требуемого уровня безопасности информации, циркулирующей в сети, и сведению к минимуму возможного ущерба от действий потенциальных нарушителей. Без обеспечения информационной безопасности ни повышение скоростей передачи данных, ни расширение спектра предоставляемых услуг, ни улучшение качества связи не смогут гарантировать эффективное функционирование самого высокотехнологичного оборудования. Таким образом, информационная безопасность сетей беспроводного доступа является важным условием существования и развития этой технологии, а также ее эффективного использования при решении прикладных задач.

Требуемый уровень безопасности информации в ИУС обеспечивается созданием и поддержанием в работоспособном состоянии комплекса аппаратно-программных средств защиты информации.

Состав комплекса средств защиты информации ИУС определяется, исходя из требований к информационной безопасности системы, ожидаемых угроз и целей нарушителей. Использование технологий беспроводного доступа усложняет задачу обеспечения информационной безопасности ИУС и выбора состава комплекса средств защиты вследствие увеличения числа угроз и различных вариантов их реализации при несанкционированном доступе к ИУС по радиоканалам. При этом механизмы обеспечения безопасности и частные аппаратно-программные решения, относящиеся к отдельным технологиям и каналам беспроводного доступа [2], выступают в качестве элементов множества средств защиты, которые следует принимать во внимание при оптимизации или рациональном выборе состава комплекса средств защиты. В настоящей работе развивается один из подходов к оптимизации состава средств защиты информации в распределенных информационных системах, основанный на составлении и анализе графа реализации ожидаемых угроз.

Формализованная теоретико-множественная постановка задачи синтеза оптимального состава комплекса средств защиты информации состоит в следующем [5]. Задаются множества угроз информации $A = \{A_1, A_2, \dots, A_M\}$ и целей нарушителя $B = \{B_1, B_2, \dots, B_F\}$. Полагается, что достижение f -й цели нарушителя B_f включает реализацию множества угроз $A^f = \{A_1^f, A_2^f, \dots, A_{M_f}^f\}$, где $f = 1, 2, \dots,$

$F, A^f \in A$. Для противодействия угрозам выбирают средства защиты информации из множества $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_N\}$, при этом для противодействия m -й угрозе информации формируется m -й рубеж защиты, на котором используются средства защиты

из множества $Z_m^f = \{Z_{m1}^f, Z_{m2}^f, \dots, Z_{mN_f}^f\}$, где $m = 1, 2, \dots, M, Z_m^f \in Z$. Для множеств угроз A и средств защиты Z выполняются следующие отношения:

$$\bigcup_{f=1}^F A^f = A \text{ и } \bigcup_{f=1}^F \bigcup_{m=1}^{M_f} Z_m^f = Z.$$

Необходимо найти матрицы использования средств защиты Z_m^f на M_f рубежах защиты при противодействии f -й цели нарушителя:

$$X^f = \begin{bmatrix} x_{11}^f & \dots & x_{1N_f}^f \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{M_f1}^f & \dots & x_{M_fN_f}^f \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$\text{где } x_{mn}^f = \begin{cases} 1, & \text{если } n\text{-е средство используется} \\ & \text{на } m\text{-м рубеже защиты;} \\ 0, & \text{если } n\text{-е средство не используется} \\ & \text{на } m\text{-м рубеже защиты,} \end{cases}$$

обеспечивающие выполнение условия

$$X_{\text{opt}}^f \rightarrow \max_{x_{mn}^f} \prod_{f=1}^F \left[1 - \sum_{m=1}^{M_f} \prod_{n=1}^{N_f} (1 - P_{mn}^f x_{mn}^f) \right], \quad (2)$$

где P_{mn}^f — вероятность успешного функционирования n -го средства на m -м рубеже защиты. Условие (2) определяет критерий оптимальности — максимум вероятности успешного противодействия комплекса средств защиты всем целям нарушителя. Исходя из данного критерия осуществляем решение задачи. Совокупность матриц использования средств защиты $X_{\text{opt}}^f, f = 1, 2, \dots, F$, вида (1), найденных в результате решения задачи оптимизации (2), определяет оптимальный состав средств защиты из множества Z для заданных множеств угроз A и целей нарушителя B .

Приведенная формализованная постановка оптимизационной задачи позволяет, с одной стороны, учесть многообразие угроз информации и вариантов их реализации (целей нарушителя), с другой стороны, согласовать полученное решение с заданным профилем защиты информации ИУС. Профиль защиты информации представляет собой независимую от реализации совокупность требований безопасности для некоторой категории информационных систем (в рассматриваемом случае — ИУС), отвечающую специфическим запросам потребителя. Порядком формирования профиля защиты информации, исходя из требований безопасности, целей безопасности и свойств среды безопасности, определяется ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–2001 [6], основные требования которого в рассмотренной формализации угроз информационной безопасности и средств их предотвращения могут быть учтены. В частности, множество угроз безопасности определяется целями безопасности, множество целей нарушителя определяется средой безопасности, а найденный состав средств оптимального профиля защиты должен отвечать соответствующим требованиям безопасности.

В качестве ограничений при оптимизации состава средств защиты информации могут использоваться ограничения по общей стоимости комплекса средств защиты, по вероятностям противодействия комплекса средств защиты отдельным целям нарушителя, по риску достижения нарушителем своих целей. При этом ограничения по вероятностям противодействия отдельным целям нарушителя и по риску достижения нарушителем своих целей могут быть связаны с описаниями среды безопасности и требуемого уровня доверия к информационной системе, выполняемыми при определении профиля защиты информации.

Ограничение по общей стоимости комплекса средств защиты имеет вид $C \leq C_{\text{доп}}$, где

$$C = \sum_{f=1}^F \sum_{m=1}^{M_f} \sum_{n=1}^{N_f} C_{mn}^f x_{mn}^f \text{ — общая стоимость средств за-}$$

щиты, x_{mn}^f — элементы анализируемой матрицы использования средств защиты X^f вида (1), C_{mn}^f — стоимость n -го средства при его использовании на m -м рубеже защиты при противодействии f -й цели нарушителя. Поскольку другие ограничения вводятся для отдельных целей нарушителя, допустимая общая стоимость комплекса средств защиты также может быть представлена

в виде $C_{\text{доп}} = \sum_{f=1}^F C_{\text{доп}}^f$, где $C_{\text{доп}}^f$ — допустимая стоимость средств, используемых для противодействия f -й цели нарушителя.

Ограничение по вероятности противодействия комплекса средств защиты f -й цели нарушителя имеет вид $P^f \geq P_{\text{доп}}^f$, $f = 1, 2, \dots, F$, где

$$P^f = 1 - \sum_{m=1}^{M_f} \prod_{n=1}^{N_f} (1 - P_{mn}^f x_{mn}^f) — \text{вероятность успешного функционирования комплекса средств защиты при противодействии } f\text{-й цели нарушителя,}$$

x_{mn}^f — элементы анализируемой матрицы использования средств защиты X^f вида (1). Допустимая величина вероятности противодействия $P_{\text{доп}}^f$ определяется средой безопасности информационной системы.

Ограничение по риску достижения нарушителем своих целей имеет вид $R^f \leq R_{\text{доп}}^f$, $f = 1, 2, \dots, F$, где R^f — риск при попытке достижения нарушителем f -й цели. Допустимая величина риска $R_{\text{доп}}^f$ определяется требуемым уровнем доверия к информационной системе и при оценке информационной безопасности ИУС характеризует допустимый при попытке достижения нарушителем f -й цели риск потерь информационных активов ИУС — информации, циркулирующей в системе, используемой для управления прикладным процессом и полученной в результате выполнения этого прикладного процесса.

Ограничение по риску достижения нарушителем своих целей является наиболее общим и взаимосвязано с двумя другими ограничениями. Риск потерь информационных активов в общем случае представляет собой произведение вероятности угрозы, вероятности реализации данной угрозы и ущерба, наносимого при реализации данной угрозы [7, 8]. С учетом введенных обозначений риск R^f при попытке достижения нарушителем f -й цели связан с вероятностью успешного функционирования комплекса средств защиты P^f при противодействии f -й цели выражением $R^f = H^f U^f (1 - P^f)$, где H^f — вероятность попытки достижения нарушителем f -й цели; U^f — ущерб, наносимый нарушителем при достижении f -й цели. Величина R^f , как и величина P^f , зависит от элементов x_{mn}^f анализируемой матрицы использования средств защиты X^f вида (1) и вероятностей P_{mn}^f , а величина ущерба U^f , как правило, является исходной при определении допустимой стоимости средств защиты $C_{\text{доп}}^f$.

При заданных элементах множеств A , B и Z их конечное число позволяет получить решение сформулированной оптимизационной задачи в виде матриц использования средств защиты X_{opt}^f , $f = 1, 2, \dots, F$, удовлетворяющих условию (2), за конечное, пусть большое число шагов. В дальнейшем для полученного решения проверяется выполнение ограничений, и оно принимается или отбрасывается. Для построения алгоритма поиска оптимального решения для конкретных информационных системы и цели нарушителя удобно использование графового метода, основанного на представлении процесса реализации и предотвращения угроз нарушителя в виде направленного графа [5, 9].

Состояния графа реализации угроз соответствуют различной степени достижения цели нарушителя, а переходы между состояниями — последовательности реализации угроз. Полагается, что нарушитель достигает свою цель при реализации одной или нескольких (в предельном случае — всех) угроз, соответствующих данной цели, а в случае предотвращения системой защиты информации на одном из рубежей защиты одной из последовательно реализуемых угроз обеспечивается предотвращение достижения нарушителем соответствующей цели. В зависимости от принятых в информационной системе способа доступа и технологии информационного обмена угрозы и соответствующие им рубежи защиты информации могут быть связаны с преодолением тех или иных структурных элементов системы или уровней эталонной модели информационных систем [3, 10].

В общем случае при противодействии системы защиты информации f -й цели нарушителя граф реализации угроз включает множество из M_{f+2} со-

стояний $S = \{S_0, S_1, \dots, S_{M_f}, S_{M_f+1}\}$, где S_0 — исходное состояние (отсутствие угроз); S_{M_f} — состояние реализации всех M_f угроз (достижение f -й цели нарушителем); S_m — состояние реализации m из M_f угроз; S_{M_f+1} — состояние предотвращения до-

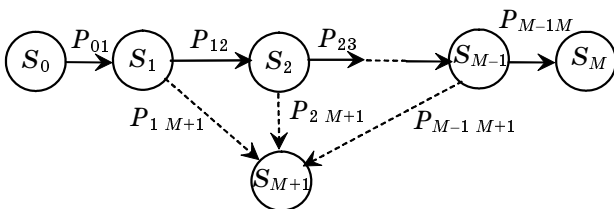
стижения f -й цели нарушителем. Вероятности состояний — $P(S_m)$, $m = 0, 1, \dots, M_f, M_f + 1$. Переходы между состояниями определяются логической (ожидаемой) последовательностью реализации угроз $A_1^f, A_2^f, \dots, A_{M_f}^f$ и матрицей X^f . Вероятности переходов из m -го в n -е состояние P_{mn} соответствуют вероятностям P_{mn}^f , входящим в выражение (2).

Оптимальной матрице X_{opt}^f соответствует набор значений x_{mn}^f , дающий максимальную вероятность $P(S_{M_f+1})$ перехода системы в состояние S_{M_f+1} , что соответствует выполнению условия (2).

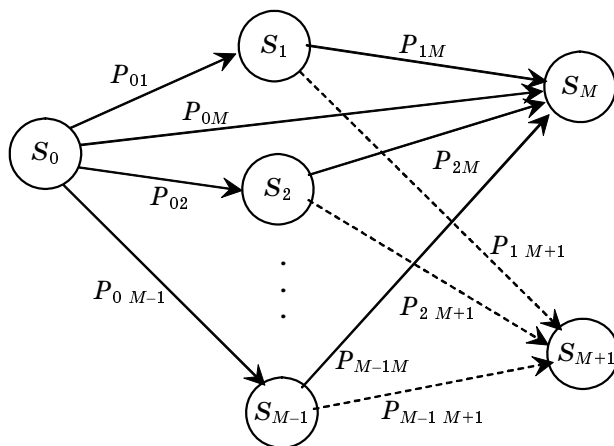
Вид графа реализации угроз зависит от конкретной информационной системы, ее среды и целей безопасности. Предположим, что для достижения своей цели нарушитель может реализовать от одной до M угроз. На рис. 1 и 2 приведены две

предельные формы графа реализации угроз. На рис. 1 показан граф реализации угроз, в котором цель нарушителя достигается только при реализации всех возможных угроз, что характерно для несанкционированного доступа к проводным сетям. На рис. 2 представлен граф реализации угроз, в котором цель нарушителя может быть достигнута (с различными вероятностями) при реализации любого числа угроз, что характерно для несанкционированного доступа к радиосетям. В обоих случаях полагается, что предотвращение каждой из угроз на соответствующем рубеже защиты позволяет предотвратить достижение цели нарушителя. В первом случае (см. рис. 1) при выполнении $P_{mM+1} = 1$ для одного из значений $m = 1, 2, \dots, M - 1$ обеспечивается предотвращение достижения цели нарушителя. Во втором случае (см. рис. 2) возможности достижения цели нарушителя при реализации $M_1 < M$ угроз соответствуют вероятности переходов $P_{mM} = 1$ и $P_{mM+1} = 0$ для всех значений $m = M_1, M_1 + 1, \dots, M - 1$.

Для распределенных ИУС с каналами беспроводного доступа характерны более сложные графы реализации угроз, чем графы, приведенные на рис. 1 и 2. В них цели нарушителя могут достигаться при реализации различного числа угроз и при различных последовательностях их реализации. Это обусловлено тем, что такие ИУС пред-



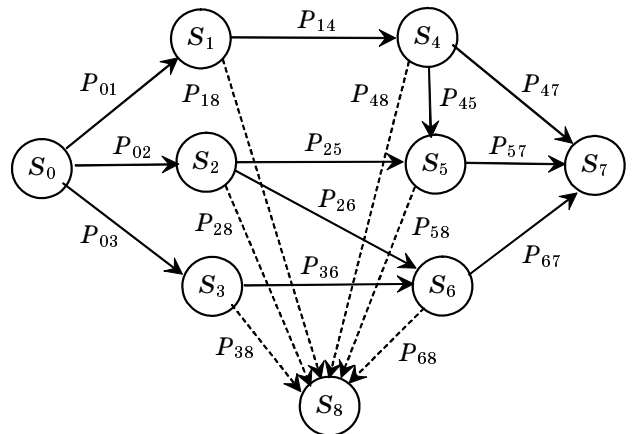
■ Рис. 1. Граф реализации угроз, в котором цель нарушителя достигается только при реализации всех возможных угроз



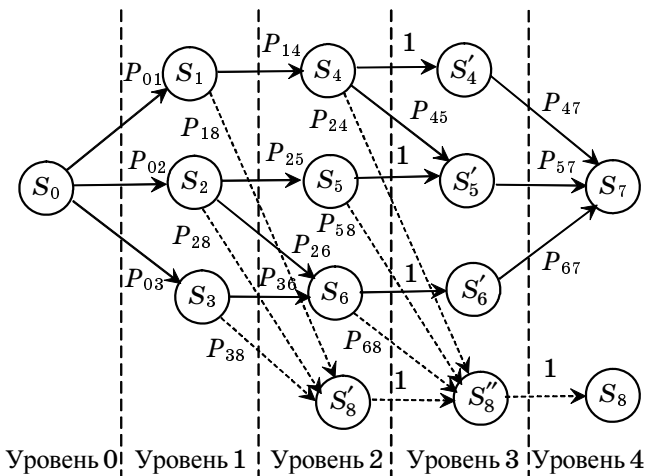
■ Рис. 2. Граф реализации угроз, в котором цель нарушителя может быть достигнута при реализации любого числа угроз

ставляют собой комбинированные сети, включающие проводной и беспроводной сегменты. Среда их безопасности определяется, прежде всего, угрозами, действующими в беспроводном сегменте сети. Нарушитель, не имея физического доступа к сетевому оборудованию и находясь в зоне радиопокрытия, имеет возможность устанавливать логическую связь с точкой радиодоступа в сеть. При этом имеют место широкие возможности несанкционированного доступа нарушителя к радиоканалам передачи данных в пассивном и активном режимах и различные варианты достижения им своих целей. Так, в пассивном режиме нарушитель может осуществлять мониторинг («прослушивание» каналов) с анализом трафика всей сети или с перехватом пакетов, передаваемых по отдельным каналам, а в активном режиме — передавать ложные сообщения или загружать сеть через точку радиодоступа, добиваясь нарушения информационного обмена в сети вследствие отказа в обслуживании. Кроме того, нарушитель может осуществлять эти и другие угрозы одновременно.

Пример графа реализации угроз сложной структуры, характерной для ИУС с каналами беспроводного доступа, приведен на рис. 3. Граф соответствует информационной системе и некоторой цели нарушителя, для достижения которой он может реализовать $M = 7$ угроз. При этом цель может достигаться при различных последовательностях реализации угроз, определяемых переходами графа состояний. Для решения поставленной задачи графовым методом при подобной произвольной структуре графа он может быть путем ранжирования приведен к виду, показанному на рис. 4. Здесь все состояния распределены по уровням от уровня 0 (начальное состояние S_0) до уровня 4 (заключительные состояния S_7 и S_8) и исключены переходы между состояниями в пределах каждого уровня. Для этого на уровнях 2 и 3 введены фиктивные состояния $S'_4, S'_5, S'_6, S'_8, S'_8$ и переходы между ними и соответствующими действи-



■ Рис. 3. Граф реализации угроз, в котором цель нарушителя может быть достигнута при различных последовательностях реализации $M = 7$ угроз



■ **Рис. 4.** Граф реализации угроз, полученный в результате ранжирования графа, приведенного на рис. 3

тельными состояниями, осуществляемые с вероятностью, равной 1. В результате граф реализации угроз приобретает структуру, удобную для исследования стандартными методами анализа направленных графов.

Рассматриваемая задача оптимизации состава комплекса средств защиты информации распределенной ИУС относится к классу задач дискретной оптимизации. Ее решение графовым методом состоит в определении вероятности нахождения системы в заключительном состоянии S_8 для различных значений вероятностей переходов между состояниями P_{mn} , соответствующими использованию различных средств защиты. При небольшом числе состояний графа решение может быть найдено путем прямого перебора цепей, ведущих от начального состояния S_0 к заключительному состоянию S_8 . При большом числе состояний графа для поиска решения может быть использован метод динамического программирования и его модификации, например, рекомендуемый для решения подобных задач метод встречного решения функциональных уравнений [9].

В условиях недостаточной статистической обеспеченности и динамического изменения условий реализации угроз, характерных для задач защиты информации [9, 11], наиболее сложным может оказаться задание вероятностных характеристик успешного функционирования средств защиты и попыток достижения нарушителем различных целей. В этом случае получают распространение

экспертные оценки вероятностных характеристик и методы нечеткого вывода, а для контроля за изменением условий реализации угроз в современных информационных системах в состав комплекса средств защиты включаются средства мониторинга безопасности. Не выполняя непосредственно функций защиты, средства мониторинга позволяют оценить текущее состояние среды безопасности и обеспечить более эффективное функционирование средств защиты за счет уточнения исходных данных, для которых оптимизируется состав комплекса средств защиты.

Литература

1. Инфокоммуникационные сети: архитектура, технологии, стандартизация / Под ред. А. А. Сахнина. М.: Радио и связь, 2004. 208 с.
2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневецкий, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. М.: Техносфера, 2005. 592 с.
3. Устинов Г. Н. Основы информационной безопасности систем и сетей передачи данных. М.: СИНТЕГ, 2000. 248 с.
4. Теоретические основы информатики и информационная безопасность / Под ред. В. А. Минаева и В. Н. Саблина. М.: Радио и связь, 2000. 468 с.
5. Обеспечение информационной безопасности в экономической и телекоммуникационной сферах / Под ред. Е. М. Сухарева. М.: Радиотехника, 2003. 216 с.
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408–2001. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности информационных технологий. Ч. 1–3. М.: Изд-во стандартов, 2002.
7. Мальцев Г. Н., Моторин Н. М. Использование риск-анализа при оценке функционирования сложных технических систем передачи информации // Проблемы риска в технической и социальной сферах: Сб. науч. тр. Вып. 4. Риск информационной опасности. СПб.: СПбГТУ, 2005. С. 59–62.
8. Мальцев Г. Н., Теличко В. В. Метод определения риска потерь активов при разработке профиля защиты информации транспортной сети передачи данных // Информационные технологии на железнодорожном транспорте: Докл. XII Междунар. конф. «Инфотранс-2007». СПб.: ПГУПС, 2007. С. 65–70.
9. Модели развития технических разведок и угроз безопасности информации / Под ред. Е. М. Сухарева. М.: Радиотехника, 2003. 142 с.
10. Зима В. М., Молдовян А. А., Молдовян Н. А. Безопасность глобальных сетевых технологий. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1999. 368 с.
11. Гаценко О. Ю. Защита информации. Основы организационного управления. СПб.: Сентябрь, 2001. 228 с.

УДК 621.396.67

МИКРОПОЛОСКОВАЯ СФЕРИЧЕСКАЯ АКТИВНАЯ ФАЗИРОВАННАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА С ЭЛЕКТРОННЫМ СКАНИРОВАНИЕМ ПУТЕМ ПЕРЕКОММУТАЦИИ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

В. Н. Красюк,

доктор техн. наук, профессор

А. Р. Бестугин,

канд. техн. наук, доцент

М. Б. Рыжиков,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассмотрен способ реализации электронного кругового обзора в сферической активной фазированной антенной решетке с одинаковым угловым расстоянием излучателями. Предложена методика поиска амплитудно-фазового распределения, позволяющего синтезировать диаграмму направленности при заданном уровне боковых лепестков. Представлены результаты сравнения характеристик излучения данной антенны и эквивалентной плоской антенной решетки.

В настоящее время представляют интерес исследования по созданию активных фазированных антенных решеток (АФАР), расположенных на выпуклых поверхностях [1]. В качестве излучателей для таких конформных антенн перспективно использовать микрополосковые антенны. Вследствие своей малой толщины микрополосковая антенная решетка (АР), образуя конформную антенну, позволяет использовать большую часть внутреннего пространства внутри сферической АФАР для размещения твердотельных приемопередающих модулей.

Цель настоящей работы — анализ возможности реализации электронного кругового обзора в микрополосковой сферической АР посредством перекоммутации излучателей при условии синтеза диаграммы направленности (ДН) с заданным уровнем боковых лепестков (УБЛ).

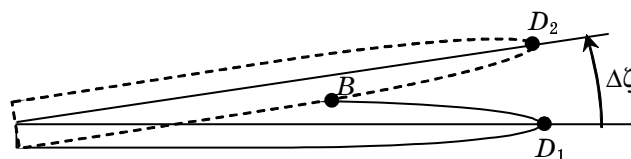
Для ускорения вычислительного процесса при расчете ДН в сферической АФАР с заданными требованиями по характеристикам излучения взята сфера небольшого размера с малым количеством излучателей. В качестве примера решена задача синтеза ДН типа острый луч при заданной ширине в обеих плоскостях порядка 15° и требуемом УБЛ в минус 30 дБ.

Удовлетворить требованиям по реализации остронаправленного излучения в конформной АФАР можно, создав соответствующее амплитудно-фа-

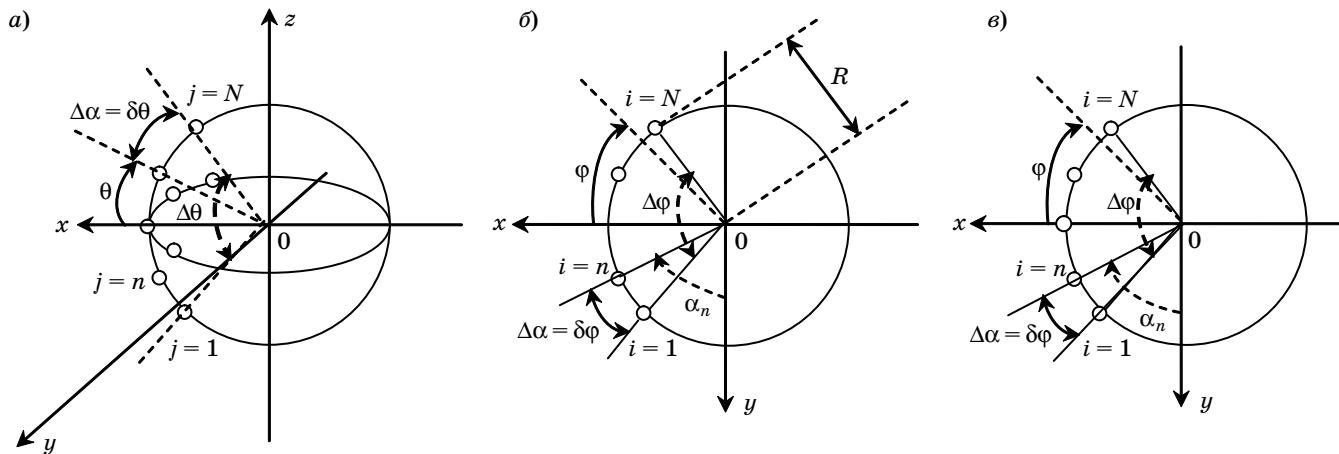
зовое распределение на формирующем раскрыве, т. е. на той части поверхности сферической решетки, которая задается углом раскрыва и создает ДН [2]. Электронное сканирование в АР осуществляется посредством перекоммутации излучателей. При этом происходит последовательный поворот ДН антенны на угол $\Delta\zeta$ (рис. 1) в результате чего максимум ДН перемещается из точки D_1 в точку D_2 .

Это приводит к неравномерности обзора пространства, которую можно характеризовать коэффициентом равномерности, определяемым по значению нормированной на максимум ДН в точке B , которая соответствует пересечению двух последовательно формируемых диаграмм.

Рассмотрим сферическую АФАР (рис. 2, а), излучатели которой расположены друг относительно друга с угловым шагом $\Delta\alpha = \delta\varphi = \delta\theta = 8^\circ$. Выбор шага должен быть таким, чтобы $N_{\max} = 360^\circ / \Delta\alpha$ —



■ Рис. 1. Принцип реализации сканирования путем перекоммутации



■ Рис. 2. Сферическая АФАР: а — общий вид; б — N — четное; в — N — нечетное

число излучателей в экваториальном сечении (yOx) АФАР было целым. При расстоянии между микрополосковыми излучателями, большем $\lambda/2$, появляются дифракционные максимумы. При меньшем расстоянии коэффициент развязки может уменьшиться настолько, что придется учитывать взаимное влияние излучателей по поверхностным и пространственным волнам (например, при построении такой АФАР из вибраторных излучателей).

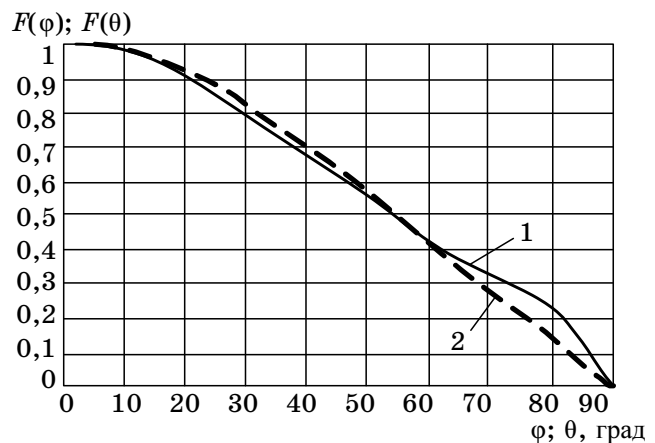
При указанном расположении излучателей за счет перекоммутации можно реализовать последовательный поворот ДН на угол $\Delta\zeta = \Delta\alpha/2$. Для этого необходимо синтезировать ДН в двух случаях. В первом максимум ДН направляется между излучателями, а угол раскрыва выбирается таким, чтобы он охватывал четное количество излучателей (рис. 2, б). Во втором случае максимум ДН проходит через центр симметрии излучателя, а угол раскрыва охватывает нечетное количество излучателей (рис. 2, в). В процессе перекоммутации при ориентировании ДН в заданном угловом направлении для упрощения вычислений фазового распределения система координат поворачивается так, чтобы направление максимума излучения соответствовало в сферической системе координат углам $\varphi = \theta = 0^\circ$.

Для расчета характеристик ДН для второго случая (см. рис. 2, в) были выбраны следующие параметры АФАР: угол формирующего раскрыва $\Delta\varphi = \Delta\theta = 72^\circ$, радиус сферической АР $R = 0,105$ м. Площадь формирующего раскрыва АР составила $S = \pi R^2 \sin(\Delta\varphi/2)$, а соответствующий радиус эквивалентного круглого раскрыва $R_0 = \text{root}(S/\pi) = 0,08$ м (здесь и далее root — функция взятия квадратного корня).

Диаграммы направленности одиночных микрополосковых дисковых антенн рассчитываются по формулам, приведенным в работе [3]. Множитель решетки в силу полной симметрии сферической АФАР одинаков для меридиональной и экватори-

альной плоскостей. Различия между итоговыми ДН в главных плоскостях появятся только, если ДН одиночного излучателя будет несимметричной. Известно [3], что в общем случае ДН двумерных микрополосковых излучателей несимметричны, но для дисковых микрополосковых антенн можно найти такое сочетание толщины диэлектрического покрытия, радиуса антенны и диэлектрической проницаемости, которые при заданной длине волны позволяют получить практически симметричную ДН. На рис. 3 представлены соответствующие ДН одиночной дисковой микрополосковой антенны в экваториальной 1 и меридиональной 2 плоскостях с максимальным различием функции направленности не более 10% при следующих параметрах: длина волны $\lambda = 3$ см, радиус излучателя $r_n = 0,7$ см, толщина подложки $d = 0,24$ см, диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 1,5$.

В случае, когда ДН оказываются несимметричными, требуется проводить анализ характеристик ДН не только для главных плоскостей антенны, но и для остальных плоскостей для проверки со-



■ Рис. 3. ДН дискового микрополоскового излучателя

хранения заданного для антенны допустимого УБЛ. Проектирование АФАР из излучателей с несимметричной ДН требует существенно больших вычислительных затрат при необходимости изменения ее конструктивных параметров. Кроме того, увеличивается и сложность математического аппарата.

В заданной на рис. 2 системе координат соблюдаются следующие соотношения: $x = R \cos \theta \cos \varphi$, $y = -R \cos \theta \sin \varphi$, $z = R \sin \theta$. Рассмотрим условия формирования остронаправленной ДН в сферической АФАР. Для обоих случаев угловые направления на излучатели АР определяются по соотношениям

$$\varphi_i = \left(\frac{-N-1}{2} + i \right) \Delta \alpha;$$

$$\theta_j = \left(\frac{-N-1}{2} + j \right) \Delta \alpha,$$

в которых $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, N$, а N — ближайшее целое к $N^* \approx \Delta \varphi / \Delta \alpha$.

Координаты излучателей в декартовой системе координат: $x_{ij} = R \cos \theta_j \cos \varphi_i$, $y_{ij} = -R \cos \theta_j \times \sin \varphi_i$, $z_j = R \sin \theta_j$.

Чтобы максимум ДН был ориентирован в направлении $\varphi = \theta = 0^\circ$, необходимо создать следующее фазовое распределение на излучателях:

$$\psi_{ij} = \psi(\theta_j, \varphi_i) = -\frac{2\pi}{\lambda} R \sin |\theta_j| |\sin \varphi_i|,$$

где λ — длина волны излучения.

Требования по формированию ДН с заданными характеристиками излучения: шириной диаграммы, УБЛ — могут быть удовлетворены посредством выбора размера формирующего раскрыва и создания на нем соответствующего амплитудного распределения. В плоских АР для решения указанной задачи используется распределение Дольфа—Чебышева, которое гарантирует самую малую ширину основного луча при заданном УБЛ [4].

В настоящей работе предлагается простая методика коррекции амплитудного распределения Дольфа—Чебышева, учитывающая тот факт, что излучатели в АФАР располагаются на сферической поверхности. Данная методика позволяет по заданному УБЛ формировать в сферической АФАР ДН типа острый луч.

Амплитудное распределение Дольфа—Чебышева в плоской решетке задается при условии равенства расстояний между излучателями. В рассматриваемой сферической АФАР на эквивалентном формирующем раскрыве, расположенном с учетом заданного фазового распределения в плоскости yOz , расстояния между спроецированными на данную плоскость излучателями неодинаковы.

Будем использовать следующую методику для получения значения амплитуд излучателей. Прежде всего рассчитывается расстояние от начала координат до точки проекции излучателя на эквивалентный формирующий раскрыв $r_{ij}^* = \text{root}[(z_{ij})^2 + (y_{ij})^2]$.

Затем считается максимальное значение $R_{\max} = r_{ij}^*$ при $i = j = N$. Далее считается количество фиктивных излучателей, т. е. ближайшее целое к $Z^* = 2R_{\max} / \Delta r_{\text{ф.и}}$, где $\Delta r_{\text{ф.и}} = \lambda / 2$ — расстояние между излучателями.

Потом по соотношениям, представленным в работе [4], рассчитываются амплитуды фиктивных излучателей с распределением Дольфа—Чебышева, гарантирующим получение заданного УБЛ в минус 30 дБ в экваториальной плоскости. Затем проводится квадратичная интерполяция полученного амплитудного распределения, результатом которой представляется в виде функции $\text{Ampl}(r)$, где r — радиальная координата, отсчитываемая от центра эквивалентного раскрыва в плоскости yOz . Далее для каждого излучателя вычисляется его амплитуда $I_{ij} = \text{Ampl}(r_{ij}^*)$.

Из исследований сферических АР с одинаковым расстоянием между излучателями на формирующем раскрыве [2] известно, что их УБЛ может быть выше, чем у плоских АР с аналогичным амплитудным распределением. В случае, если полученный в итоге УБЛ превышает заданный по требованиям, необходимо увеличить величину заданного уровня для перерасчета амплитудного распределения на фиктивных излучателях. Так, для реализации требуемого УБЛ в минус 30 дБ заданный УБЛ для фиктивных излучателей сферической АФАР в рассматриваемом случае составил 35 дБ.

Для расчета ДН сферической АФАР в экваториальной плоскости необходимо учесть разность фаз, возникающую между излучателями за счет разности хода лучей в заданном направлении φ, θ . Будем вычислять ДН в экваториальной плоскости аналогично тому, как это было сделано для цилиндрической АФАР [1], представив ее в следующем виде:

$$F_{\text{с.р}}(\theta, \varphi) = \left| \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N F_{ij}(\theta, \varphi) I_{ij} \text{Mn}_{ij}(\theta, \varphi) \right|,$$

где $F_{ij}(\theta, \varphi)$ — значение ДН одиночного микрополоскового излучателя в направлении φ, θ ; $\text{Mn}_{ij}(\theta, \varphi)$ — множитель, учитывающий влияние фазовых соотношений в экваториальной плоскости сферической АФАР. Данный множитель для сферической АФАР можно рассчитать по соотношению

$$\text{Mn}_{ij}(\theta, \varphi) = \exp^{-j \frac{2\pi}{\lambda} R [\sin \varphi \cos \alpha_{ij} + (1 - \cos \varphi) \sin \alpha_{ij}]},$$

где $j^* = \text{root}(-1)$; $\alpha_{ij} = \arctg(x_{ij}/y_{ij})$ при условии $y_{ij} > 0$, $\alpha_{ij} = 180^\circ + \arctg(x_{ij}/y_{ij})$ при $y_{ij} < 0$, $\alpha_{ij} = 90^\circ$ при $y_{ij} = 0$.

Учитывая симметричность ДН микрополоскового дискового излучателя, величину $F_{ij}(\theta, \varphi)$ можно рассчитать по соотношению $F_{ij}(\theta, \varphi) = F_{ij}(\beta)$, в котором

$$\beta = \arccos \left(\frac{x_{ij} \cos \varphi \cos \theta - y_{ij} \sin \varphi \cos \theta + z_{ij} \sin \varphi}{\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2} \sqrt{(\cos \varphi \cos \theta)^2 + (\sin \varphi \cos \theta)^2 + (\sin \varphi)^2}} \right),$$

$$F_{ij}(\beta) = 2 \frac{J_1 \left(\frac{2\pi}{\lambda} r_u \sin \beta \right)}{\frac{2\pi}{\lambda} r_u \sin \beta} \frac{1}{\frac{2\pi}{\lambda} d j^* \cos \beta + \sqrt{\varepsilon - (\sin \beta)^2} \cot \left(\sqrt{\varepsilon - (\sin \beta)^2} \frac{2\pi}{\lambda} \right)} \cos \beta.$$

В последнем соотношении: J_1 — функция Бесселя первого порядка, \cot — функция котангенса. На рис. 4, а представлена ДН сферической АФАР 1, полученная в результате применения рассчитанного по указанным выше соотношениям амплитудно-фазового распределения, и ДН плоской АР 2 с распределением Дольфа — Чебышева, составленная из аналогичных микрополосковых излучателей.

Аналогичные ДН для случая, показанного на рис. 2, а, когда в АФАР выбран угол $\Delta\varphi = \Delta\theta = 80^\circ$, представлены на рис. 4, б. Выбор данного угла приводит к соответствующему увеличению формирующего раскрыва и незначительному уменьшению ширины ДН. Включение в полотно сферической АФАР излучателей на угловых позициях $\pm 40^\circ$ приводит к соответствующему росту УБЛ в области от 70 до 90° . Из рис. 4, а и б отчетливо виден общий недостаток всех сферических АР — более высокий уровень бокового излучения для дальних боковых лепестков. Коэффициент равномерности при сканировании путем перекоммутации составил $0,8$.

Избежать неравномерности при сканировании можно совмещением сканирования путем перекоммутации с электронным сканированием за счет создания линейного набега фаз на формирующем раскрыве для поворота основного лепестка в пределах углов θ и φ от 0 до $\Delta\alpha/2 = 4^\circ$.

Поворот луча на столь незначительный угол потребует создания фазового распределения с достаточно плавным изменением фазы на излучателях. Однако столь малое изменение фазовых соотношений не должно привести к ухудшению характеристик излучения сферической АФАР.

Для реализации поворота ДН на угол φ и угол θ необходимо задать соответствующее начальное фазовое распределение в виде

$$\varphi_i = \left(\frac{-N-1}{2} + i \right) \Delta\alpha - \left(\frac{-N-1}{2} + i \right) \frac{\varphi}{2(N-1)};$$

$$\theta_j = \left(\frac{-N-1}{2} + j \right) \Delta\alpha - \left(\frac{-N-1}{2} + j \right) \frac{\theta}{2(N-1)}.$$

Плоская решетка, формирующая ДН, представленную на рис. 4, а и б, имеет размеры 15×15 см, что на 30% меньше, чем размеры раскрыва АФАР. Для реализации электронного кругового обзора пространства необходимо три таких плоских АР [1]. Следовательно, общий требуемый объем внутреннего пространства на борту летательного аппарата для сферической АФАР меньше.

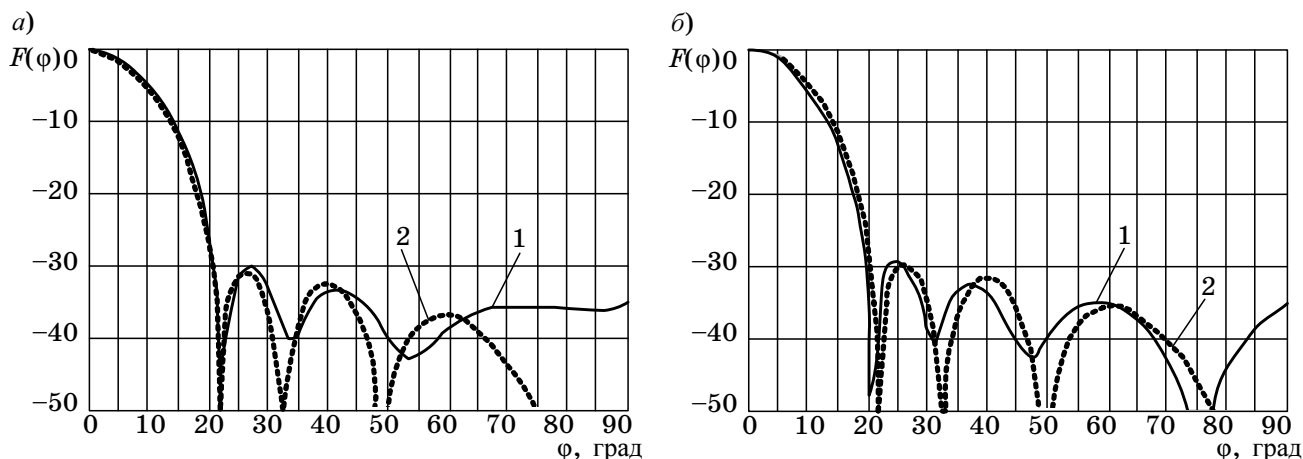
Таким образом, предложенный метод расчета амплитудно-фазового распределения с последующей корректировкой заданного УБЛ позволяет синтезировать сферическую АФАР с электронным обзором пространства при заданных требованиях по боковому излучению. При этом надо учесть то, что у сферической АФАР по сравнению с плоской АР в целом мощность бокового излучения выше, по-

скольку боковые лепестки не спадают так быстро, как у плоской АР. В пределах углового сектора от 50 до 90° средний уровень бокового излучения существенно выше, что может привести к большим помехам по боковым лепесткам при полетах на малой высоте над поверхностью Земли. Подавить это боковое излучение можно, используя свободную от формирования излучения часть раскрыва сферической АФАР, аналогично тому, как это показано в работе [1], путем создания противофазного излучения для боковых лепестков, имеющих неприемлемо большой уровень излучения. При этом главный лепесток, создаваемый на оставшейся части раскрыва, сам должен иметь ширину ДН, соответствующую ширине подавляемого лепестка, и столь малый УБЛ, который бы не приводил к появлению нежелательного излучения в других угловых направлениях.

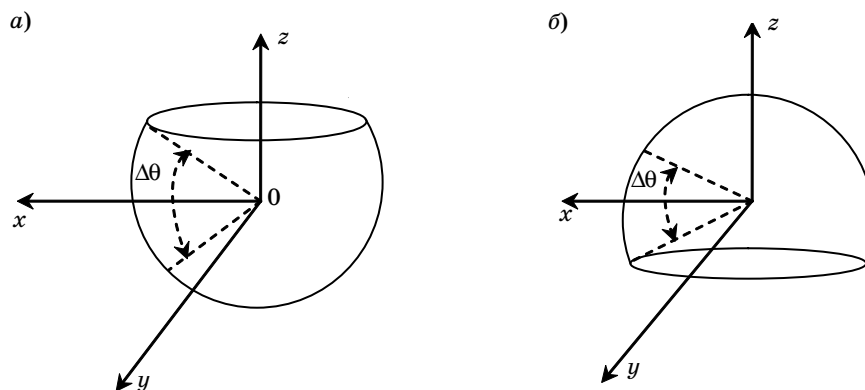
На практике бортовая сферическая АФАР может быть усечена или сверху (рис. 5, а), если ведется обзор нижней части пространства, а антенна располагается в обтекателе под фюзеляжем летательного аппарата. Для рассмотренного выше случая это означает, что электронное сканирование по углу места ведется в секторе углов $-180^\circ \leq \theta \leq 0^\circ$. Или снизу (рис. 5, б), если ведется обзор верхней части пространства, а антенный отсек расположен над фюзеляжем. При этом электронное сканирование по углу места ведется в секторе углов $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

Совместное использование двух подобных антенн позволяет осуществлять электронный обзор всего пространства вокруг летательного аппарата.

Таким образом, по предложенной в работе методике можно проводить поиск такого амплитудного распределения, которое гарантирует достижение заданного УБЛ в сферической АФАР с равным угловым расстоянием между излучателями. Наряду с существенным преиму-



■ Рис. 4. ДН плоской решетки и сферической АФАР: а — при нечетном количестве излучателей; б — при четном количестве излучателей



■ Рис. 5. Усеченные сферические АФАР: а — сверху; б — снизу

ществом — возможностью электронного обзора пространства — имеются и недостатки. Среди них стоит выделить следующие: по сравнению с эквивалентной плоской АР УБЛ несколько выше в области последних боковых лепестков, сканирование только посредством перекоммутации приводит к неравномерности, поэтому дополнительно следует управлять максимумом ДН за счет перестройки фазового распределения. Гарантия формирования заданного

УБЛ потребовала применения излучателей с симметричной ДН. Кроме того, использование микрополосковых антенн в сферической АФАР позволяет достичь такого уровня развязки, которое не требует учета их взаимного влияния. В то же время построение сферической АФАР с электронным обзором, в качестве излучателей которой могут выступать другие антенны, требует дополнительного анализа указанных факторов на характеристики излучения.

Литература

1. Красюк В. Н., Рыжиков М. Б. Микрополосковая цилиндрическая антенная решетка с уменьшенным числом излучателей и активным подавлением боковых лепестков // Вопросы радиоэлектроники. 2008. № 1.
2. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д. И. Воскресенского и А. И. Канащенкова. М.: Радиотехника, 2004.
3. Панченко Б. А., Нефедов Е. И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986.
4. Кюн Р. Микроволновые антенны. Л.: Судостроение, 1967.

УДК 681.518

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗОНЫ ПОКРЫТИЯ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ НА ЗАГОРОДНЫХ УЧАСТКАХ МЕСТНОСТИ МЕТОДОМ СТОХАСТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

И. А. Зикратов,

доктор техн. наук, доцент

Т. В. Зикратова,

преподаватель

Санкт-Петербургское высшее военное училище радиозлектроники

Обсуждаются вопросы рационального размещения ретрансляторов базовых станций сотовой связи на загородных участках местности с использованием цифровой картографической информации. Предложен метод выбора позиций, основанный на стохастическом программировании с вероятностными ограничениями. Решение представлено в виде детерминированного вектора.

Цифровая картографическая информация в составе геоинформационных систем (ГИС) находит широкое применение в различных предметных областях, в том числе используется для рационального размещения источников электромагнитных волн на местности.

Так, при решении задачи априорного выбора позиций систем радиосвязи на загородных участках местности предложен метод [1], основанный на представлении детерминированных целевой функции и ограничений задачи нелинейного программирования в виде эквивалентной задачи с булевыми переменными. Учитывая, что на величины, входящие в указанные соотношения, оказывает влияние большое число случайных независимых факторов, в настоящей работе приводится ее решение методом стохастического программирования.

Рассмотрим пример. Пусть имеется четыре возможные позиции x_1, x_2, x_3, x_4 размещения ретрансляторов, диаграммы направленности которых охватывают участок местности, через который проходят две трассы А и Б (рисунок).

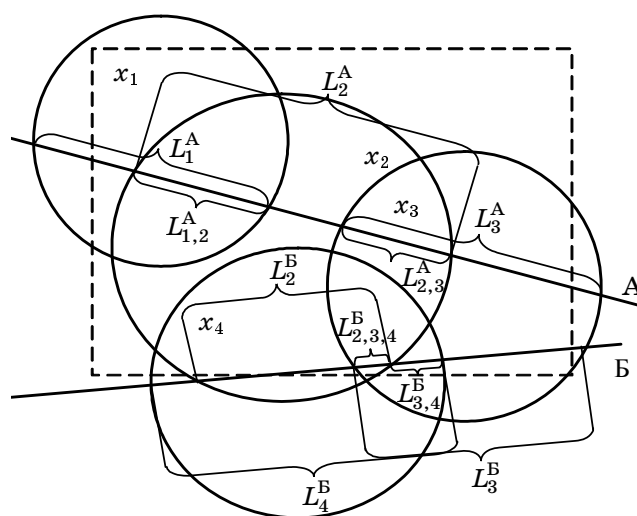
Из множества точек возможных позиций x_1, x_2, x_3, x_4 расположения базовых станций необходимо выбрать минимальное количество N таких позиций, которые позволят расположенным на них базовым станциям обеспечить устойчивую связь абонентов,двигающихся по маршрутам А и Б в пределах участка, ограниченного пунктирной линией. Положим, что концентрация абонентов на трассах А и Б различная. Вероятность по-

явления абонентов на трассах А и Б обозначим соответственно α_A и α_B .

В общем виде модель с вероятностными ограничениями определяется следующим образом [2]:

максимизировать $z = \sum_{j=1}^n \bar{c}_j x_j$ при ограничениях

$$P \left\{ \sum_{j=1}^n L_j^i x_j \leq b_i \right\} \geq \alpha_i, \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$



■ Зоны покрытия трасс А и Б диаграммами направленности базовых станций x_1, x_2, x_3, x_4

Здесь c , L и b — случайные величины. Известно, что если переменные L_j^i распределены нормально, с математическими ожиданиями $M\{L_j^i\}$ и дисперсиями $\text{var}\{L_j^i\}$, а также заданы (рассчитаны) ковариации $K_{L_j^i, L_{j'}^i} = \text{cov}\{L_j^i, L_{j'}^i\}$ случайных величин L_j^i и $L_{j'}^i$, то исходные ограничения вида (1) эквивалентны неравенству

$$\sum_{j=1}^n M\{L_j^i\} x_j + \Phi^{-1}(\alpha_i) \sqrt{\mathbf{X}^T \mathbf{D}_i \mathbf{X}} \leq b_i, \quad (2)$$

где $\Phi(t) = \int_{-\infty}^t e^{-\xi^2/2} d\xi$ — нормальная

функция распределения стандартизированной случайной величины; $\mathbf{X}^T \mathbf{D}_i \mathbf{X}$ — квадратичная форма; \mathbf{D}_i — i -я матрица ковариаций:

$$\mathbf{D}_i = \begin{pmatrix} \text{var}\{L_1^i\} & \cdot & \cdot & K_{L_1^i, L_n^i} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ K_{L_1^i, L_n^i} & \cdot & \cdot & \text{var}\{L_n^i\} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Применительно к рассматриваемому примеру переменные x_j ($j = 1, 2, 3, 4$), как и в детерминированной постановке задачи, будем полагать булевыми переменными $x_j = \{0, 1\}$. Пусть переменные L_j^i — суть длина участка i -й трассы, охватываемого диаграммой направленности j -го ретранслятора, в предположении, что эти ретрансляторы установлены на позициях анализируемого множества x_1, x_2, x_3, x_4 . Тогда, придерживаясь обозначений, принятых в работе [1] при рассмотрении детерминированной задачи, и учитывая (1)–(3), составим целевую функцию и ограничения для задачи стохастического программирования (см. рисунок):

$\sum_{j=1}^4 x_j \rightarrow \min$ — целевая функция;

— ограничение для трассы А

$$M\{L_1^A\} x_1 + M\{L_2^A\} x_2 + M\{L_3^A\} x_3 - M\{L_{1,2}^A\} x_1 x_2 - M\{L_{2,3}^A\} x_2 x_3 + \Phi^{-1}(\alpha_A) \sqrt{\mathbf{X}^T \mathbf{D}_A \mathbf{X}} \leq L_\Sigma^A;$$

— ограничение для трассы Б

$$M\{L_2^B\} x_2 + M\{L_3^B\} x_3 + M\{L_4^B\} x_4 - M\{L_{2,4}^B\} x_2 x_4 - M\{L_{3,4}^B\} x_3 x_4 - M\{L_{2,3,4}^B\} x_2 x_3 x_4 + \Phi^{-1}(\alpha_B) \sqrt{\mathbf{X}^T \mathbf{D}_B \mathbf{X}} \leq L_\Sigma^B,$$

где $L_{k,l}^i$ — протяженность участков i -й трассы, проходящей через зоны покрытия k -го и l -го ретрансляторов; L_Σ — суммарная протяженность участков трасс, которые должны находиться в зоне покрытия сети. Решением задачи является детерминированный вектор булевых переменных x_1, x_2, x_3, x_4 , которые могут принимать значения 0 и 1. Единица означает, что на позиции ретранслятор устанавливается, ноль — не устанавливается.

При составлении матриц ковариаций \mathbf{D} следует учитывать, что если случайные величины независимы между собой, то их ковариации равны нулю. Так, например, из анализа рисунка можно записать матрицу ковариаций длин участков трасс $L_{k,l}^A$ для первого ограничения (трасса А):

$$\mathbf{D}_A = \begin{pmatrix} \text{var}\{L_1^A\} & 0 & 0 & K_{L_1^A, L_{1,2}^A} & 0 \\ 0 & \text{var}\{L_2^A\} & 0 & K_{L_2^A, L_{1,2}^A} & K_{L_2^A, L_{2,3}^A} \\ 0 & 0 & \text{var}\{L_3^A\} & 0 & K_{L_3^A, L_{2,3}^A} \\ K_{L_1^A, L_{1,2}^A} & K_{L_2^A, L_{1,2}^A} & 0 & \text{var}\{L_{1,2}^A\} & 0 \\ 0 & K_{L_2^A, L_{2,3}^A} & K_{L_3^A, L_{2,3}^A} & 0 & \text{var}\{L_{2,3}^A\} \end{pmatrix}.$$

Вектор \mathbf{X} в квадратичной форме для первого ограничения имеет вид

$$\mathbf{X} = \{x_1, x_2, x_3, x_{1,2}, x_{2,3}\}.$$

По аналогии составляется матрица ковариаций

$$\mathbf{D}_B = \begin{pmatrix} \text{var}\{L_2^B\} & 0 & 0 & K_{L_2^B, L_{2,4}^B} & 0 & K_{L_2^B, L_{2,3,4}^B} \\ 0 & \text{var}\{L_3^B\} & 0 & 0 & K_{L_3^B, L_{3,4}^B} & K_{L_3^B, L_{2,3,4}^B} \\ 0 & 0 & \text{var}\{L_4^B\} & K_{L_4^B, L_{2,4}^B} & K_{L_4^B, L_{3,4}^B} & 0 \\ K_{L_2^B, L_{2,4}^B} & 0 & K_{L_4^B, L_{2,4}^B} & \text{var}\{L_{2,4}^B\} & 0 & K_{L_{2,4}^B, L_{2,3,4}^B} \\ 0 & K_{L_3^B, L_{3,4}^B} & K_{L_4^B, L_{3,4}^B} & 0 & \text{var}\{L_{3,4}^B\} & K_{L_{3,4}^B, L_{2,3,4}^B} \\ K_{L_2^B, L_{2,3,4}^B} & K_{L_3^B, L_{2,3,4}^B} & 0 & K_{L_{2,4}^B, L_{2,3,4}^B} & K_{L_{3,4}^B, L_{2,3,4}^B} & \text{var}\{L_{2,3,4}^B\} \end{pmatrix}$$

и вектор $\mathbf{X} = \{x_2, x_3, x_4, x_{2,4}, x_{3,4}, x_{2,3,4}\}$ для второго ограничения (трасса Б).

В работе [3] показано, что путем введения вспомогательных переменных задачу можно преобразовать к виду суммы функций одной переменной. Тогда решение может быть получено при помощи методов сепарабельного программирования.

Чувствительность решения определяется:

— величинами дисперсий значений дальности радиосвязи при определении (расчете) зон покрытия ретрансляторов на анализируемых позициях, что влияет на значение компонентов матриц ковариаций;

— степенью концентрации абонентов $\alpha_{A, B}$.

Очевидно, что для определения величин $\alpha_{A, B}$ необходимо набирать достаточную статистику передвижения абонентов по соответствующим трассам в пределах рассматриваемого участка местности. Вычислять ковариационную матрицу можно с помощью соответствующей имитационной модели ГИС.

Необходимо отметить, что решая эту задачу на ПЭВМ, можно успешно использовать численные методы, реализованные в надстройке MS Excel «Поиск решения». При этом автоматизацию процесса составления целевой функции и ограничений удобно осуществлять средствами языка Visual Basic for Application.

Так, для приведенного примера, при равных величинах концентрации абонентов $\alpha_{A, B}$ на трассах А и В и одинаковых погрешностях расчета зон покрытия базовых станций x_1, x_2, x_3, x_4 , решением является вектор $\{0, 1, 1, 0\}$, т. е. минимальное количество базовых станции $N = 2$, которые достаточно установить на позициях x_2 и x_3 .

При формировании матриц D_A и D_B методом имитационного моделирования использовалось 100 статистических испытаний, время расчета составило 12 с на ПЭВМ класса AMD Athlon(tm)XP 1900+ 1,63 ГГц, 512 МБ ОЗУ.

Очевидно, что в значительной мере точность и время расчета определяются степенью достоверности используемой в ГИС мето-

дики расчета дальности радиосвязи с учетом рельефа и радиофизических свойств подстилающей поверхности.

Таким образом, достоинствами предлагаемого метода выбора позиций являются:

— возможность учета стохастических факторов, влияющих на качество радиосвязи;

— учет концентрации абонентов на рассматриваемом участке местности;

— относительная простота программной реализации в ГИС.

Литература

1. Зикратов И. А., Зикратова Т. В. К вопросу об оптимизации покрытия систем сотовой связи на загородных участках местности // Информационно-управляющие системы. 2007. № 3. С. 52–55.
2. Юдин Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. М.: Сов. радио, 1974. 400 с.
3. Таха Х. Введение в исследование операций: В 2 кн. Кн. 1; Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 479 с.

АВТОМАТНЫЙ ПОДХОД В ПОСТРОЕНИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ОБУЧАЮЩИХ ДИАЛОГОВ

А. Д. Тазетдинов,

канд. техн. наук, директор центра информационных технологий
АНО ВПО «Международный банковский институт»

Рассматривается автоматный принцип построения вопросно-ответных структур компьютерных адаптивных обучающих диалогов, предлагается технология их создания и применения.

Введение

В наступившем XXI веке происходит смена образовательной парадигмы, появляются новые педагогические концепции и идеи. Содержание образования насыщается различными образовательными программами, стимулирующими развитие у обучающихся умений и способностей оперировать информацией, творчески решать поставленные задачи. Использование компьютерных средств обучения, телекоммуникационных сетей глобального масштаба изменяет традиционные способы использования информации. Ценностными ориентирами в образовании становятся личность ученика, его способность к самостоятельной деятельности по сбору, обработке и анализу информации, умение принимать решения и применять полученные знания в жизни.

Тенденциями современной образовательной системы становятся социальная направленность и активное использование обучения в ситуационно-смоделированных реальностях, где обучение происходит в социальной группе, члены которой в сотрудничестве создают малую культуру совместных артефактов, результатов деятельности, имеющих общие значения. Это не только ролевые и деловые игры, позволяющие приблизить обучение к реальной действительности, на первый план выходят такие понятия, как конструктивизм и конструкционизм. Смысл этих понятий в утверждении, что люди активно приобретают новое знание по мере взаимодействия с окружающим миром, и что обучение особенно эффективно, когда учащийся создает что-то для передачи опыта другим, выстраивая речевые сообщения, интернет-сообщения и более сложные продукты, например произведение изобразительного искусства или комплект программного обеспечения.

Подобные утверждения основаны на результатах многочисленных исследований в области когнитивной психологии [1]. Эти результаты указы-

вают на то, что восприятие визуально предъявленных слов (узнавание) происходит автоматически и практически независимо от внимания, тогда как восприятие семантически связной информации тесно связано с факторами внимания и активизируется только тогда, когда испытуемого просят обработать слово активно, например назвать его или молча классифицировать. Поэтому если необходимо, чтобы обучаемые имели знания в активной форме, требуется активный анализ и обязательное воспроизведение изученного материала.

В этих условиях особенно актуальное значение приобретает создание программного обеспечения, позволяющего в рамках автоматизированных обучающих систем (АОС) имитировать обучающий диалог на естественном языке, не накладывая никаких явных ограничений на терминологию и фразеологию ответа обучаемого. Тем не менее, совершенно очевидно, что дидактическая эффективность любых АОС будет определяться не совершенством технических решений, принятых в области информатики и вычислительной техники, а характером решений, принятых в сфере педагогической науки.

Технологии реализации обучающих диалогов

Естественный язык человека наряду с преимуществами в осуществлении коммуникативной функции обладает и недостатками, к числу которых относятся многозначность слов, сложность грамматических норм, громоздкость и необозримость его конструкций, ситуативность многих конструкций, контекстно-зависимое представление информации, небрежность употребления терминов и т. д.

В литературе термин «диалог» нередко трактуется весьма широко, и диалоговым иногда объявляется любое взаимодействие человека с компьютером. При столь расширенном толковании про-



■ Рис. 1. Технологии реализации диалогового режима в АОС

блема диалога размывается. Большинство исследователей и разработчиков адаптивных и интеллектуальных АОС полагают, что говорить о полноценном диалоге между учащимся и компьютером можно будет только после решения сложной проблемы кибернетики — понимания компьютером естественного языка. Во всех остальных случаях речь идет о мере ограничения либо языка, либо предметной области для реализации диалогового режима обучения (рис. 1).

Иногда эти ограничения весьма значительны и заметно затрудняют общение. Большинство АОС используют в качестве языка общения некоторое подмножество естественного языка, которое характеризуется строгой предметной направленностью, обедненной лексикой и упрощенным синтаксисом. По этой причине некоторые специалисты считают, что при общении с системой узкой ориентации целесообразно использовать не ограниченный естественный язык, а специализированные формальные языки, поскольку изучить директивы легче, чем запомнить ограничения, налагаемые на естественный язык, и следовать им в ходе диалога, следить за допустимостью формулировок сообщений. В специализированных системах в качестве средства общения иногда используются редуцированные проблемно-ориентированные языки — рабочие языки. Они имеют четкую предмет-

ную направленность, по сравнению с естественным ограничены в лексике, синтаксисе и сфере применения.

Адаптивные сценарии обучающих диалогов

В результате проведенного исследования технологий организации диалогового обучения с применением компьютера предлагается автоматный принцип построения вопросно-ответных структур обучающего диалога. Автоматы и автоматное программирование является сегодня не только перспективным, но и весьма актуальным направлением научных исследований. Большой вклад в развитие парадигмы автоматного программирования внесли А. А. Шалыто и его ученики [2–6], а также другие отечественные и зарубежные ученые, например С. И. Баранов [7]. Преимущество автоматной реализации сценариев диалогов перед другими технологиями состоит в том, что, с одной стороны, автоматные алгоритмы существенно проще таких технологий, как нейронные сети, алгоритмы data mining и другие методы поиска и анализа текстов, и это дает возможность преподавателям самостоятельно, без привлечения сторонних специалистов, с помощью специального инструментария создавать и управлять обучающими диалогами. С другой стороны, они обладают большей гибко-

стью и интеллектуальностью по сравнению с простым поиском ключевых слов и даже деревьев решений с циклами [8].

Сценарии обучающих диалогов состояются из разделов, соответствующих отдельным состояниям автомата, объединенных переходами. Количество разделов не ограничено и определяется только логикой описываемого диалога. Раздел сценария является унифицированной структурой с фиксированным набором типовых блоков, количество которых может изменяться произвольным образом (рис. 2). Каждый раздел может содержать дополнительный вопрос, а также дополнительные блоки, осуществляющие многошаговый анализ ответа обучаемого, что позволяет создавать адаптивные обучающие диалоги произвольной длины и сложности. Переход из одного раздела в другой выполняется на основе параметров, заданных для текущего входа в раздел: блоками условий и действий для найденного выражения поиска или блоками действий по умолчанию. Такой подход в структурной организации сценариев позволяет применять универсальный алгоритм для обработки сценариев произвольных размеров и задавать контент сценария декларативно, посредством экранных форм пользовательского интерфейса.

Структура сценария также может быть задана в виде грамматики, интерпретируемой автоматным преобразователем. В качестве стандарта де-факто в таких случаях для удобства использования и переносимости принято использовать язык XML.

```
<?xml version="1.0" standalone="yes" ?>
<!DOCTYPE question [
<!ELEMENT ball (#PCDATA)>
```

```
<!ELEMENT tema (#PCDATA)>
<!ELEMENT captionq (#PCDATA)>
<!ELEMENT questiontext (#PCDATA)>
<!ELEMENT states (state)+ >
<!ELEMENT state (statnum, questiontext?, reparestr,
flod*, dodefault*) >
<!ELEMENT statenum (#PCDATA)>
<!ELEMENT questiontext (#PCDATA)>
<!ELEMENT reparestr (#PCDATA)>
<!ELEMENT flod (counter, flodexpr, rightreply,
strictsearch, listdescriptors, syscomment, ball,
move_to, show)>
<!ELEMENT flodexpr (#PCDATA)>
<!ELEMENT strictsearch (#PCDATA)>
<!ELEMENT listdescriptors (#PCDATA)>
<!ELEMENT dodefault (counter, syscomment, ball,
move_to, show)>
<!ELEMENT counter (#PCDATA)>
<!ELEMENT syscomment (#PCDATA)>
<!ELEMENT move_to (#PCDATA)>
<!ELEMENT show (#PCDATA)>
]>
```

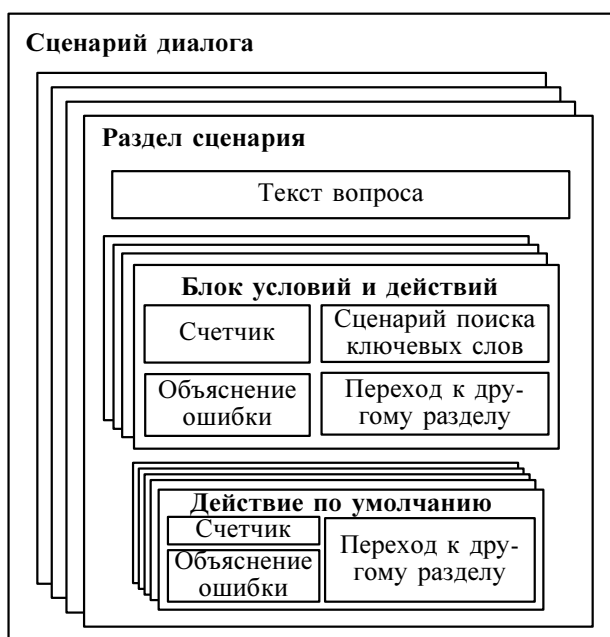
Блок условий и действий включает в себя алгоритм (сценарий) поиска определенных ключевых слов в ответе учащегося и связанных с ним набором реакций системы для текущего значения счетчика в случае совпадения выражения поиска с ответом обучаемого. Методика построения сложных сценариев (алгоритмов) поиска определенных ключевых слов основана на логико-семантическом методе анализа контекстно-зависимых высказываний, предложенным А. И. Стригуном [9].

Блок действий по умолчанию позволяет, для текущего значения счетчика, вывести соответствующий комментарий системы и перейти к требуемому разделу, согласно логики диалога. Нет необходимости описывать все возможные комбинации ответов, достаточно определить наиболее значимые, а остальные определить как неверные в действии по умолчанию. В любом случае, благодаря декларативному представлению контента сценария преподаватель всегда может самостоятельно изменить или расширить его содержимое. Таким образом, сценарий задает не жесткую линейную последовательность сцен, а гибкую схему (переходов между разделами), адаптированную к ответам учащихся.

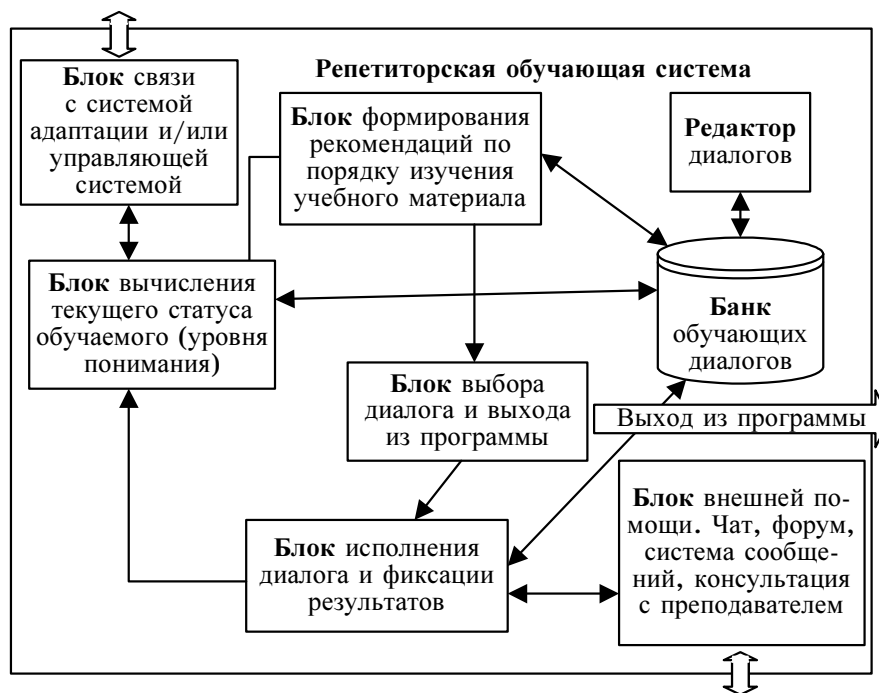
Автомат с памятью

В отличие от многих АОС, использующих методы традиционного программирования, для компьютерных автоматизированных обучающих систем репетиторского типа (РАОС) автором был предложен автоматный подход реализации как самой системы и всех ее элементов, так и структуры сценариев многошаговых обучающих диалогов. Программная архитектура РАОС показана на рис. 3.

Отличие репетиторских систем от других АОС определяется, прежде всего, наличием диалоговой формы взаимодействия обучающегося с системой в реальном масштабе времени, где обратная связь осуществляется не только при контроле, но и в процессе усвоения знаний. Благодаря такому



■ Рис. 2. Структура сценария обучающего диалога



■ Рис. 3. Программная архитектура репетиторской обучающей системы

подходу проверка работы системы может быть выполнена с помощью имитационной модели, построенной в любой из существующих сред моделирования. Для проверки теоретических положений и апробации результатов работы был создан программный модуль. В силу большого объема документации в данной статье рассматривается только его небольшая часть, а подробное описание приводится в работах [8–11]. Предлагается два варианта построения автомата: с помощью графа переходов и с помощью функций переходов и выходов. Первый более нагляден, а второй, на наш взгляд, удобен при создании программы проверки работы автомата в любой из программных сред, например в пакете MATLAB.

В качестве примера рассмотрим одну из частей блока исполнения обучающего диалога, подсистему анализа ответов обучаемого, которая реализует функции анализа ответов, интерактивные механизмы взаимодействия с пользователем в виде подробных описаний ошибок и переходов к дополнительным вопросам в случае неверных ответов. Логика работы анализатора ответов описывается схемой алгоритма, преобразуемой в автомат с помощью метода, предложенного Барановым [7] и развитого Шалыто и Туккелем [4]. В этом методе начало и конец схемы алгоритма соответствуют начальным состояниям автомата. Остальным состояниям для автомата Мура соответствует каждая операторная вершина. Каждый условный оператор соответствует определенному входному сигналу, а выходные сигналы и действия соответствуют действиям в операторных вершинах.

Проверка корректности построения и логики работы элементов системы выполнялась с помощью имитационного моделирования в пакете MATLAB-Simulink-Stateflow. Для повышения наглядности процесса моделирования были выполнены некоторые упрощения, не изменяющие логику работы автомата:

- входные и выходные переменные могут принимать значения $\{0, 1\}$;
- входное слово — это набор из всех входных переменных, который представляет собой плоскую проекцию одного из возможных вариантов событий, возникающих в разное время (распределенных по времени) работы системы; обозначается z_i , где i — порядковый номер набора;
- полной комбинацией возможных событий в системе является полный набор комбинаций входных переменных.

Формально конечный автомат A определяется как шестерка объектов: $A = \langle S, X, Y, s_0, \delta, \lambda \rangle$, где: S — конечное непустое множество (состояний); X — конечное непустое множество входных переменных (входной алфавит); Y — конечное непустое множество выходных переменных (выходной алфавит); $s_0 \in S$ — начальное состояние; $\delta: SX \rightarrow S$ — функция переходов; $\lambda: SX \rightarrow Y$ — функция выходов.

Интерпретатор сценариев реализует функции предъявления вопросов, анализа ответов, интерактивные механизмы взаимодействия с пользователем в виде подробных описаний ошибок и переходов к дополнительным вопросам в случае неверных

■ Входные и выходные переменные интерпретатора сценариев

Входные сигналы	Действия
x_1 Ожидание идентификатора сценария или выбор раздела	y_0 Ожидание идентификатора сценария, номера раздела или ответа обучающегося
x_2 $i < n$	y_1 Установить код ошибки $err = 0$, выбрать требуемый раздел, увеличить счетчик раздела
x_3 Ответ совпал с маской правильного ответа	y_2 Получение следующей маски правильного ответа
x_4 $i < m$	y_3 Сравнение маски с ответом
x_5 Ответ совпал с маской неправильного ответа	y_4 Получение следующей маски неправильного ответа
x_6 Ошибка	y_5 Получение параметров по умолчанию
x_7 Ошибка	y_6 Стандартный обработчик
	y_7 Установить код ошибки $err = 1$
	y_8 Вернуть объяснения ошибки и номер раздела для перехода

ответов. Входные и выходные переменные интерпретатора сценариев представлены в таблице.

Для работы интерпретатора определяются:

$$S = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\};$$

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7\};$$

$$Y = \{y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8\};$$

$$s_0 = a_0.$$

В каждый момент времени $t = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ автомат находится в некотором состоянии $a_i = a(t)$. Функция переходов определяет состояние $a(t)$ в некоторый момент t . Для описываемого автомата строятся функции переходов:

$$a_0(t) = (a_0(t-1) \wedge \bar{x}_1(t-1)) \vee a_7(t-1);$$

$$a_1(t) = a_0(t-1) \wedge x_1(t-1);$$

$$a_2(t) = a_1(t-1) \vee (a_2(t-1) \wedge x_2(t-1) \wedge \bar{x}_3(t-1));$$

$$a_3(t) = (a_2(t-1) \wedge \bar{x}_2(t-1) \wedge \bar{x}_3(t-1)) \vee (a_3(t-1) \wedge x_4(t-1) \wedge \bar{x}_5(t-1));$$

$$a_4(t) = a_3(t-1) \wedge x_4(t-1) \wedge \bar{x}_5(t-1);$$

$$a_5(t) = a_4(t-1) \wedge x_6(t-1);$$

$$a_6(t) = a_5(t-1) \wedge x_7(t-1);$$

$$a_7(t) = a_6(t-1) \vee (a_5(t-1) \wedge \bar{x}_7(t-1)) \vee (a_4(t-1) \wedge \bar{x}_6(t-1)) \vee (a_2(t-1) \wedge x_3(t-1)).$$

Соответственно функции выходов:

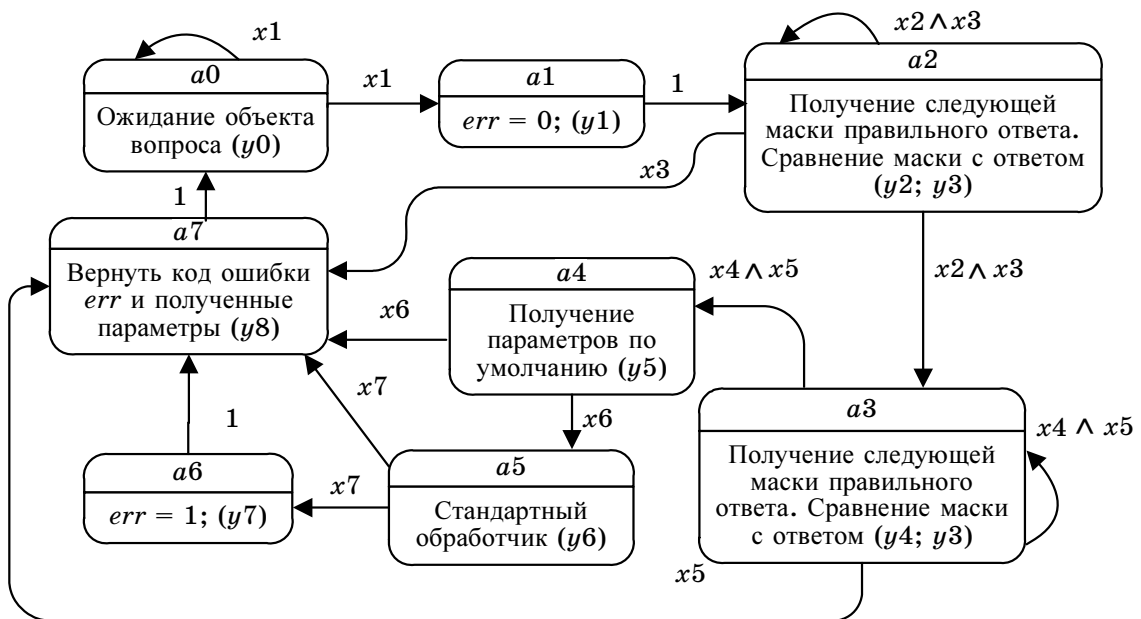
$$y_0(t) = a_0(t); y_3(t) = a_2(t) \vee a_3(t); y_6(t) = a_5(t);$$

$$y_1(t) = a_1(t); y_4(t) = a_3(t); y_7(t) = a_6(t);$$

$$y_2(t) = a_1(t); y_5(t) = a_4(t); y_8(t) = a_7(t).$$

По этим выражениям составляется граф переходов (рис. 4) и разрабатывается управляющий блок, который обеспечивает работу анализируемого устройства.

Полный набор комбинаций входных переменных будет состоять из 127 входных слов $z_0(0000000) - z_{127}(1111111)$. Слову соответствует последовательность символов $x_1x_2x_3x_4x_5x_6x_7$, каждый из которых может принимать только значение из диапазона $\{0, 1\}$. Проверка корректности работы автомата на всех возможных комбинациях входных сигналов выполняется с помощью программы, созданной в пакете MATLAB и использующей уравнения функций переходов данного автомата. Отсутствие вершин, не задействованных в работе ни при каких входных переменных, определяется сравнением полученного множества с заявленным.



■ Рис. 4. Граф переходов автомата

создания обучающих систем диалогового типа. Целиком РАОС состоит из десяти блоков и включает в себя интерпретатор сценариев диалогов, анализатор ответов обучающихся, подсистему ввода вывода информации, подсистему связи с обучающей системой, а также редактор сценариев обучающих диалогов, реализуемых в виде автоматов с памятью. Результатом работы с системой является автоматизированный многошаговый обучающий диалог, позволяющий в рамках РАОС вести обучение на естественном языке, не накладывая никаких явных ограничений на терминологию и фразеологию ответа обучаемого. На рис. 5 представлен сокращенный пример такого обучающего диалога.

В настоящее время преподавателями четырех вузов по разработанной автором методике создано для 144 дисциплин около 11 тыс. обучающих диалогов, которые успешно используются в учебном процессе Международного банковского института, Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов, Самарского Международного института рынка. Кроме того, к текущему моменту разработана реализация этого модуля для такой популярной среды обучения, как Moodle.

Заключение

В отличие от существующих методов организации обучающих диалогов в АОС, применение автоматного подхода на всех уровнях построения РАОС, включая адаптивные сценарии обучающих диалогов, позволяет отказаться от сложного семантического и синтаксического анализа ответа учащегося. Предлагаемая технология дает возможность существенно упростить программные алгоритмы, реализовать в обучающей системе относительную предметную независимость, использовать естественный язык для ввода ответов учащихся, а преподавателям самостоятельно, без привлечения программиста, создавать и модифицировать сценарии адаптивных диалогов посредством экранных форм пользовательского интер-

фейса. Практическое применение предложенных теоретических положений возможно:

- для построения самостоятельной адаптивной обучающей системы;
- в качестве структурной основы для построения отдельных модулей к различным обучающим системам.

Литература

1. Солсо Р. Когнитивная психология. 6-е изд. СПб.: Питер, 2006. 589 с.
2. Шопырин Д. Г., Шалыто А. А. Объектно-ориентированный подход к автоматному программированию // Информационно-управляющие системы. 2003. № 5. С. 29–39.
3. Степанов О. Г., Шалыто А. А., Шопырин Д. Г. Предметно-ориентированный язык автоматного программирования на базе динамического языка RUBY // Информационно-управляющие системы. 2007. № 4. С. 22–27.
4. Шалыто А. А., Туккель Н. И. Преобразование итеративных алгоритмов в автоматные // Программирование. 2002. № 5. С. 12–26.
5. Казаков М. А., Шалыто А. А. Автоматный подход к реализации анимации в визуализаторах алгоритмов // Компьютерные инструменты в образовании. 2005. № 3. С. 62–76.
6. Корнеев Г. А., Шалыто А. А. Автоматизированное построение визуализаторов алгоритмов дискретной математики // Компьютерные инструменты в образовании. 2006. № 5. С. 16–26.
7. Баранов С. И. Синтез микропрограммных автоматов (граф-схемы и автоматы). Л.: Энергия, 1979.
8. Тазетдинов А. Д. Интерактивные процессы в обучающих системах: методы управления. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2007. 155 с.
9. Федоров Б. И., Джалишвили З. О. Логика компьютерного диалога. М.: Онега, 1994. 240 с.
10. Система тестирования с использованием свободного ответа: А. С. 4229 ОФАП / А. Д. Тазетдинов, А. И. Стригун. № ГР 50200500081 // Алгоритмы и программы: Сб. М.: ВНИИЦ, 2005.
11. Тазетдинов А. Д., Стригун А. И. Редактор компьютерных интеллектуальных тьюторов в ВУОКСе: Руководство пользователя / МБИ. СПб., 2005. 34 с.

УДК 681.142.37

E-LEARNING В СИСТЕМАХ КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ В РОССИИ: ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Л. Г. Алсынбаева,

канд. физ.-мат. наук, доцент

Югорский НИИ информационных технологий

Рассматриваются современное состояние и динамика развития мирового рынка корпоративного электронного обучения, тенденции, проблемы и перспективы использования e-Learning для организации систем корпоративного обучения в России.

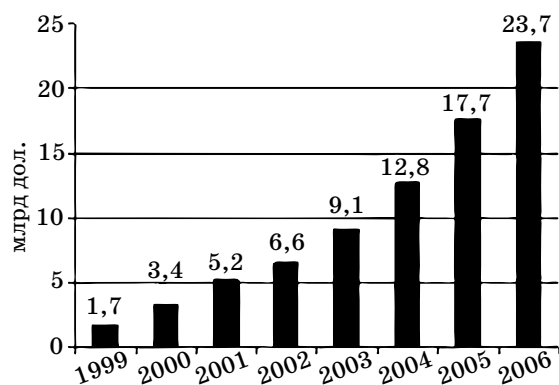
Переход от индустриального к постиндустриальному (информационному) обществу характеризуется интенсивным развитием и быстрой сменой технологической базы и технологий практически в любой сфере жизни и деятельности человека. В условиях рыночных отношений компании неизбежно сталкиваются с ключевым вопросом их конкурентоспособности — необходимостью в постоянном обучении и развитии кадров.

Изменение численности персонала в компаниях, внедрение нового оборудования и технологий, создание разветвленной сети филиалов, трудности с контролем качества персонала на местах, необходимость в постоянном переобучении и аттестации диктуют потребности в новых методах работы. В связи с этим метод дистанционного обучения с помощью компьютерных систем (e-Learning) находит свое применение во многих компаниях как сетевая информационная учебная среда, обеспечивающая создание сетевого корпоративного информационно-технологического пространства. Ядром этой среды является программный комплекс, где сосредоточены электронные учебные курсы, справочные материалы, электронные тренажеры, система электронного тестирования, базы данных преподавателей (тьюторов) и учащихся (персонала), расписание учебных занятий, система управления процессом обучения, сервисы интерактивного взаимодействия преподавателей и обучающихся и т. д.

Использование e-Learning позволяет построить модель обучения и аттестации персонала на предприятии, включенную в единую технологическую цепочку: «контроль и анализ эффективности деятельности предприятия» — «оценка и развитие персонала». Система обучения и аттестации персонала, как правило, базируется на модели компетенций и позволяет формировать программы обучения с учетом знаний и умений, необходимых сотруднику на данной должности.

Данные, приведенные на рисунке, характеризуют рынок электронного корпоративного обучения как емкий и динамично растущий [1]. По данным Bersin & Associates, в 2007 г. 65 % американских компаний использовали очное/аудиторное обучение, по сравнению с 70 % в 2006 г. On-line обучение (обучение с помощью веб-технологий) в 2007 г. применяли 20 % компаний, по сравнению с 7 % в 2006 г. Важно, что рост e-Learning сейчас происходит за счет небольших компаний, начавших инвестировать в технологии [2].

Пионерами во внедрении технологий e-Learning в корпоративное обучение в России являются крупные компании, такие как «Русский алюминий», «Северсталь», «Сибнефть», «Вимм-Билль-Данн», «Татнефть», «ЛУКОЙЛ», ОАО «Внешторгбанк», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». В настоящее время технологии электронного корпоративного обучения и развития персонала захватывают сферу среднего бизнеса. Однако по данным, опубликованным в рейтинге 2006 г., в области электронного обучения Россия занимает 52-е место из 68 [3]. А по сравнению с США



■ Объем мирового рынка корпоративного электронного обучения, IDC, 2003

и Европой корпоративное электронное обучение в нашей стране находится в зачаточном состоянии.

Сложившиеся реалии в мировой практике корпоративного электронного обучения подтверждают тот факт, что дискуссия о перспективах e-Learning в данной сфере беспредметна. Надо активно формировать российский рынок электронного обучения (инструментальных средств и контента) и осуществлять внедрение систем электронного обучения и развития персонала на предприятиях, аккумулируя и адаптируя международный опыт.

В последние годы российские разработчики систем и инструментальных средств электронного обучения приступили к освоению и программной реализации специфики корпоративного обучения, которое должно функционировать в контексте задач управления развитием персонала.

Наряду с базовыми решениями e-Learning-продуктов, появились такие программные средства, как «Комплексная система оценки и развития персонала» (компания WebSoft), автоматизированная система оценки персонала «Прометей — центр компетенций» (ООО «Виртуальные технологии в образовании»), «Competentum.ShareKnowledge» (группа Competentum), «1С:Оценка персонала» (агентство «1С — Персонал») и др. Перечисленные программные продукты разрабатываются с учетом методик управления персоналом, пришедшим с Запада. Например, конфигурация «Оценка персонала» представляет собой комплексное решение для автоматизации процессов оценки персонала и проектирования команд или коллективов на основе психодиагностических тестов. В конфигурации «Оценка персонала» реализованы следующие персонал-технологии:

- психологическое тестирование (формирование психологических профилей, соответствующих позициям кадрового плана в компании);
 - профессиональное тестирование (оценка знаний и навыков сотрудников);
 - оценка компетенций (автоматизация процесса проведения оценки персонала методом «360 градусов» [4]);
 - оценка неформальной иерархии (проведение социометрии, формирование коллективов);
 - формирование команд (психологическое совместимость и проектирование команд по методологии Р. Белбина);
 - решение кейсов.
- Комплексная система «Оценка и развитие персонала» фирмы WebSoft позволяет автоматизировать процессы развития персонала с использованием ряда HR-технологий:
- оценка персонала методом «360 градусов»;
 - оценка по методу MBO (управление на основе целей) [5];
 - автоматизация корпоративного учебного центра;
 - грейдинг (система процедур оценки и ранжирования должностей) [6].

Интересен тот факт, что формирование системы электронного корпоративного обучения идет двумя путями. Одна ветвь — это наращивание функционала и адаптация интерфейсов системы дистанционного обучения (СДО), или, как принято называть на Западе, Learning Management System (LMS), к конкретной предметной области — «управление развитием персонала». Вторая ветвь — это расширение системы автоматизации управления предприятием, добавление к функциям автоматизации учета кадров функций оценки персонала, аттестации и обучения.

Для реализации электронного корпоративного обучения на базе СДО возникают комплексные программные решения, которые включают возможности обучения, развития и оценки персонала, администрирования обучения, ведения корпоративного или HR-портала, подбора персонала и управления знаниями.

Возможно, со временем эта разновидность программных систем получит новое конкретное название, так как привычные для нас понятия «СДО» и «LMS» не отражают сути создаваемых программных комплексов электронного корпоративного обучения.

Конечно, внедрение современных технологий оценки и развития персонала зависит во многом от готовности предприятия к переходу на новые формы управления персоналом. При этом можно спорить о достоверности результатов психологического тестирования: определения психологической совместимости и проектирования команд, но тот факт, что корпоративный e-Learning сокращает на 50 % временные и на 30–50 % стоимостные издержки, по сравнению с традиционным обучением [7], убеждает в том, что электронное корпоративное обучение становится неотъемлемой компонентой в структуре любого предприятия.

Внедрение LMS на предприятии, как и любой другой информационной системы, состоит из следующих основных этапов:

- 1) информационного обследования;
- 2) анализа требований;
- 3) предпроектной разработки;
- 4) разработки технического задания на проект;
- 5) разработки программного обеспечения;
- 6) системной интеграции, тестирования, отладки, документирования;
- 7) ввода системы в опытную эксплуатацию;
- 8) уточнения требований к системе, реализации требований;
- 9) ввода системы в промышленную эксплуатацию;
- 10) эксплуатации и сопровождения системы.

Следует обратить внимание, что ввод LMS в эксплуатацию предполагает наличие не только инструментальных средств электронного обучения, тестирования и коммуникаций. Необходимы удобные средства создания контента и тщательно разработанная модель функционирования процедур оценки и развития персонала. Например, в LMS

могут быть реализованы все описанные выше персонал-технологии, позволяющие выявить психологические и физиологические особенности персонала, что дает возможность оптимально распределить производственные задачи, а также сделать правильный выбор при приеме новых сотрудников на работу. Однако основное назначение LMS — предоставление электронных учебных курсов и средств контроля знаний, а также возможности управления учебным процессом. Поэтому, внедряя LMS в организацию, надо рассчитывать на решение тех задач, под которые в первую очередь и разрабатывались системы данного класса:

- организация дистанционного обучения, т. е. доставка контента в удаленные филиалы и отделения;
- снижение затрат на обучение персонала за счет командировочных расходов;
- формирование индивидуальных учебных планов и мониторинг контроля качества подготовки персонала.

При этом не стоит перекладывать на LMS не свойственные ей функции. Например, публикации вакансий в организации, прием резюме кандидатур на их замещение лучше расположить на корпоративном портале.

Остановимся на проблемах, препятствующих массовому внедрению систем электронного корпоративного обучения.

1. Многие руководители настороженно относятся к внедрению e-Learning, учитывая высокую стоимость его внедрения на старте и не имея точного плана о времени окупаемости вложенных средств и эффективности использования системы корпоративного электронного обучения. Интересные выводы были представлены Открытой школой бизнеса по вопросу развития корпоративного обучения на II Российско-Британском HR-форуме «Новые технологии в сфере HR-менеджмента» в 2007 г. При проведении исследования вопроса о сложившейся в России практике обучения и развития персонала, выявлении и анализе существующих тенденций в качестве основных трудностей была отмечена проблема в установлении взаимосвязи между результатами обучения и показателями деятельности организации.

2. Отмечено также то обстоятельство, что персонал оказывает сопротивление при внедрении e-Learning. Чаще всего эта проблема связана с недостаточным уровнем владения персоналом информационными технологиями, а также возможностью детального анализа и контроля процесса и результатов обучения со стороны руководителя (или менеджера по работе с персоналом). Нужна грамотная система мотивации и контроля, для того чтобы e-Learning работал на повышение эффективности персонала, а такие негативные явления как «cheating» («спيسывание») были бы невыгодны сотрудникам.

Первая и вторая проблемы тесно связаны с вопросом внедрения системы менеджмента качества

(СМК) на основе международных стандартов ISO серии 9000 для руководства и управления организацией и автоматически решаются в компаниях, внедряющих СМК. Реформирование российской экономики и выход на мировые рынки вынуждают отечественные компании уделять проблеме качества все больше внимания. Постоянное улучшение деятельности организации, вовлечение работников всех уровней и максимальное использование их способностей как обязательные элементы качества, регламентированные стандартами ISO 9000, формируют потребность в непрерывном обучении и развитии персонала, которые наиболее эффективно могут осуществляться с использованием e-Learning-технологий.

3. Еще одна проблема — отсутствие или недостаток электронного образовательного контента. Конечно, в мире накоплено огромное количество различных электронных курсов, но зарубежные курсы требуют локализации. Под локализацией понимается не только перевод на русский язык, но и переработка содержания с учетом российских реалий. Существуют следующие способы наполнения корпоративного контента: приобретение готовых курсов, разработка курсов на заказ или самостоятельная разработка.

В России, как и во всем мире, стоимость разработки курса колеблется в очень широком диапазоне. По некоторым данным, в Европе стоимость разработки одного часа составляет около 5 тыс. евро. Согласно исследованиям Brandon Hall, средняя стоимость создания одного часа учебного курса составляет минимум \$ 4500, максимум \$ 80 тыс. [1]. Предложения российских разработчиков электронных учебных курсов также имеют большой разброс цен. Стоимость разработки одного часа учебного курса фирма «РЕДЦЕНТР» оценивает от \$ 800 до \$ 2500 (в зависимости от наличия иллюстраций, упражнений, тестов). Есть и такие данные: стоимость разработки электронного курса в России оценивается в пределах \$ 3–5 тыс., из них 2–4 тыс. — техническая разработка. Срок разработки — 1–2 месяца [8].

Такой разброс цен на создание электронных курсов определяется тем, что под электронным курсом понимают очень разные реализации как по стоимости используемых компонент, так и по сложности технологий. Например, на двух противоположных полюсах по стоимости находятся тренажер для подготовки пилотов военной и гражданской авиации с использованием программных систем и устройств виртуальной реальности и учебный курс, представленный оцифрованными учебными материалами, размещенными в среде Интернет.

Интересные данные, относительно времени, затрачиваемого на создание электронных курсов, приводятся Janet Clarey, сотрудницей компании Brandon Hall Research. Она отмечает, что на создание одного часа электронного курса необходимо потратить в среднем 250 ч. Для создателей e-Learning

■ *Трудозатраты (в человеко-часах) для создания обучающего курса длительностью 1 час*

Трудозатраты	Виды работ и технологии обучения
34:1	Учебные занятия, проводимые инструктором (instructor-led training — ИЛТ), включающие разработку плана урока, подготовку раздаточных учебных материалов, слайдов презентации PowerPoint и т. д.
33:1	Перенос презентации PowerPoint в среду e-Learning (не понятно, почему данная технология занимает меньше времени, чем ИЛТ, однако эти данные подтверждаются практикой работы 200 компаний)
220:1	Использование стандартной технологии e-Learning, включающей презентацию, аудио и некоторое количество видеoinформации, тесты и 20 % интерактивности
345:1	Время, необходимое на проектирование, разработку, тестирование и создание коробочной версии системы автоматизированного обучения
750:1	Создание компьютерных моделей и высокоинтерактивного контента

приемлемыми являются следующие цифры: на обеспечение одного часа учебных занятий необходимо затратить 8–12 недель, на два часа занятий — 12–16 недель, на три часа — 16–20 недель [9].

Бryan Chapman, ведущий специалист в области стратегии развития образовательных технологий, приводит следующие сравнительные данные (таблица), характеризующие количество часов, необходимых на подготовку одного часа учебных занятий в зависимости от используемых технологий [10].

Тем не менее, если рассматривать массовое электронное обучение с использованием LMS-систем, то из публикаций Интернета [11] следует, что от 40 до 50 % бюджета тратится на разработку учебного контента, примерно 10 % — на поддержку функционирования системы и около 50 % идет на заработную плату сотрудникам учебного центра, закупку LMS и оборудования.

Опыт Югорского НИИ информационных технологий (ЮНИИ ИТ) в разработке и реализации

средств электронного обучения подтверждает перспективность использования типовых архитектур LMS, имеющих открытые исходные коды и совместимость с международными стандартами. В настоящее время на вычислительных мощностях ЮНИИ ИТ реализованы две СДО: для учащихся и студентов Интернета — школа «Отличник» (<http://e-school.uriit.ru>) и СДО Региональной информационной системы телемедицины Ханты-Мансийского автономного округа — Югры (<http://medcms.uriit.ru>), которая может служить платформой корпоративного электронного обучения медицинских работников округа.

В заключение необходимо отметить, что в целях развития систем электронного корпоративного образования и с учетом сложившихся реалий корпоративного обучения в России необходимо определить место, задачи и перспективы корпоративного обучения в системе российского образования. Необходимо закрепить на законодательном уровне понятие корпоративного обучения как вида дополнительного профессионального образования (ДПО) в системе непрерывного профессионального образования. Расширить виды ДПО корпоративным обучением в Типовом положении об образовательных учреждениях, дополнить государственные образовательные стандарты требованиями к образовательным программам корпоративного обучения, разработать новую Программу развития ДПО, привлечь компании к разработке корпоративных образовательных программ и профессиональных стандартов.

Интернет-ресурсы

1. http://msk.treko.ru/show_article_954
2. <http://websoft-elearning.blogspot>
3. <http://www.hr-director.ru/80>
4. <http://www.ht.ru/press/articles/print/art65.htm>
5. http://www.icsti.su/rus_ten3/1000ventures/a/business_guide/mgmt_mbo_main.html
6. http://www.zrp.spb.ru/article_01.php
7. <http://www.redlab.ru/data/322/589/1234/49.pdf>
8. <http://learnware.ru/static.php?id=20010>
9. <http://www.brandon-hall.com>
10. <http://brandon-hall.com/bryanchapman/?p=7>
11. <http://www.hypermethod.ru/static.php?id=20010>

УДК 535.317

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГОРИТМА КОМПОЗИЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А. В. Сальников,

аспирант

И. Л. Лившиц,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики

Унчун Чо,

профессор

Корейский политехнический университет

Приводится один из подходов к повышению эффективности использования алгоритма структурного синтеза, основанного на теории композиции оптических систем из элементов с известными свойствами. Показаны этапы изменения и усовершенствования существующего тестового программного продукта с применением современных информационных технологий.

Введение

Высокий уровень развития информационных технологий в последние годы, несомненно, напрямую способствует развитию всех отраслей науки и техники, данные тенденции отчетливо прослеживаются и в развитии оптики. Благодаря современным компьютерным средствам проектирования и расчета оптических систем стало возможным в рекордные сроки создавать новые приборы, востребованные в других областях науки и техники.

Таким темпам особенно способствует бурное развитие телекоммуникационных технологий. Одну из главных ролей в этом процессе сыграло появление Интернета. Использование современного программного обеспечения уже невозможно представить без его сопряженности с глобальной сетью. Колоссальные вычислительные мощности, информационные и телекоммуникационные ресурсы стали доступны практически каждому в результате их реализации на платформах Интернета.

Основные особенности системы структурного синтеза

Коллективом авторов настоящей статьи был разработан алгоритм [1, 2], реализующий метод композиции оптических систем [3, 4], основой для

которого послужила теория структурного синтеза, разработанная М. М. Русиновым [5]. Созданный на основе указанного алгоритма тестовый программный продукт позволил автоматизировать процесс получения структурных формул оптических систем и в значительной степени повысил общую эффективность выполнения технических заданий на расчет объективов.

Несмотря на многочисленные положительные свойства созданного тестового программного продукта [2], с точки зрения современных информационных технологий, он обладает рядом недостатков. В силу простоты архитектуры и особенностей примененных средств разработки программного обеспечения платформенная зависимость, невозможность параллельного проведения сеансов применения алгоритма синтеза, отсутствие встроенных средств редактирования информационной базы и отсутствие средств защиты доступа к накопленной информации ограничивают потенциальную эффективность применения разработанного алгоритма структурного синтеза. В целях устранения указанных недостатков было принято решение усовершенствовать архитектуру программного продукта, обеспечив при этом выполнение следующих требований:

1) обеспечить доступ к программному продукту посредством Интернета;

2) встроить средства внесения изменений и дополнений в классификацию оптических систем и базу экспертных правил;

3) обеспечить возможность применения системы синтеза несколькими пользователями в параллельном режиме;

4) реализовать многоуровневый доступ к информационной базе;

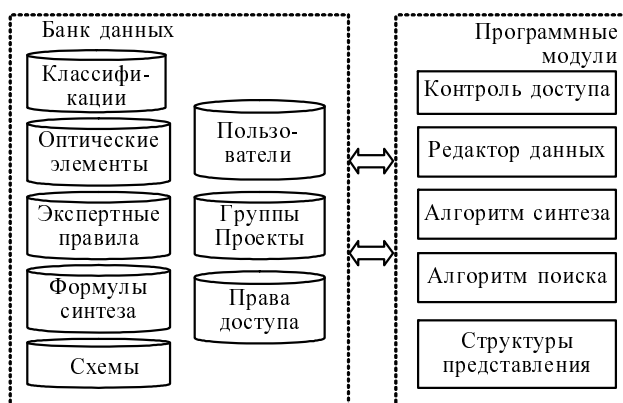
5) обеспечить платформенную независимость программного продукта.

Применение современных информационных технологий при разработке усовершенствованной версии программного продукта, несомненно, способствует реализации вышеперечисленных требований.

Совершенствование структуры программного продукта

В результате анализа поставленных требований в общую архитектуру программного продукта внесены целый ряд структурных изменений и дополнений. Ее конечный состав включил следующие основные программные модули (рис. 1): модуль контроля доступа; модуль редактирования данных; модуль, реализующий алгоритм синтеза структурных схем; модуль алгоритмов поиска; модуль структур представления. Банк данных также был пополнен базами классификаций, формул синтеза, схем, пользователей, групп, проектов и прав доступа.

Предполагается, что разработанная система будет свободно доступна в Интернете. В предложенной архитектуре хранение всех информационных ресурсов системы, таких как классификации оптических систем, данные о составе и свойствах оптических элементов, эвристические правила применения элементов в различных классах оптических систем и, наконец, результаты структурного синтеза, осуществляется централизованно. В связи с этим необходимо обеспечить сохранение



■ Рис. 1. Усовершенствованная структура программного продукта

прав интеллектуальной собственности на примененные пользователями в процессе использования системы знания и полученные результаты.

Модуль контроля доступа обеспечивает выполнение политики доступа к информации отдельных пользователей и их групп, и все обращения к информационной базе осуществляются при согласовании с ним. При занесении в систему информации пользователь определяет права других пользователей и групп на доступ к ней, он может устанавливать разрешение на ее просмотр и применение в процессе синтеза, внесение изменений и удаление. Каждый пользователь системы имеет возможность создавать собственные группы и включать в их состав других пользователей и группы.

Модуль редактирования данных содержит основные механизмы, позволяющие создавать новые и корректировать уже имеющиеся инфологические структуры (иерархические классификации оптических систем, оптические элементы и входящие в их состав поверхности, эвристические правила применения элементов в конкретных классах оптических систем, результаты структурного синтеза). В случае внесения изменений в инфологические структуры без учета взаимосвязей объектов разного рода общая информационная целостность может быть нарушена (например, радикальное изменение используемой классификации может создать ситуацию, в которой некоторые из эвристических правил перестанут выполнять свою функцию). В связи с этим недопущение указанных конфликтов является первостепенной задачей данного модуля.

Модуль структурного синтеза включает реализованные ранее базовые алгоритмы и не предполагает внесения значительных изменений. Тем не менее, его главная особенность состоит в том, что все входные данные выбираются из базы данных посредством обращения к модулю контроля доступа. Результаты структурного синтеза заносятся в базу данных также с учетом установленных прав пользователя текущего сеанса.

Предполагается, что в процессе применения усовершенствованного программного продукта количество накопленных данных в базе будет стремительно расти. Таким образом, необходимо реализовать процесс поиска интересующей пользователя информации, принимая во внимание эту особенность, а также учесть, что вследствие наличия различных уровней доступа к данным поиск должен охватывать только область данных, доступную для текущего пользователя.

Для разделения в программном продукте логики, управляющей данными, и логики, отвечающей за их представление пользователю, предлагается реализовать пользовательский интерфейс в виде отдельного программного модуля — модуля структур представления. Такой подход позволяет разрабатывать и вносить изменения в части программного кода, отвечающие за то, в каком виде ото-

бражаются данные, без необходимости внесения изменений в остальные модули. К примеру, благодаря этому возможна углубленная проработка интерфейса пользователя с точки зрения его эргономики. При необходимости достаточно легко также реализовать многоязыковую поддержку. Но необходимо отметить, что вопросы более детальной проработки данного модуля в указанном направлении выходят за рамки представленной работы и относятся к области компьютерного дизайна.

Таким образом, применение современных подходов из области информационных технологий позволяет усовершенствовать структуру разработанного программного продукта и обеспечить все необходимые возможности для совместного накопления, использования и управления информационными ресурсами среди распределенных групп разработчиков оптических систем, что, несомненно, способствует повышению эффективности применения алгоритма структурного синтеза.

Выбор средств разработки программного обеспечения

На сегодняшний день существует широкий спектр средств и технологий разработки программного обеспечения. В качестве основных средств авторами были выбраны современные открытые программные продукты, ориентированные на применение сетевых технологий. Непосредственный выбор компонентов основывался на ряде критериев, главными из которых являлись: высокая надежность и производительность, широкая распространенность и свободная доступность, а также наличие квалифицированной поддержки и регулярных обновлений.

В качестве основного языка программирования выбран язык PHP5, одним из его преимуществ в рамках данной работы является непосредственная ориентированность на применение современных сетевых технологий. В качестве платформы для выполнения программного кода выбран продукт «Apache HTTP-Server» второй версии, обладающий, помимо перечисленных выше, следующими достоинствами: гибкостью конфигурирования, возможностью подключения дополнительных модулей для обработки и предоставления данных. За последние пять лет высокой оценки среди свободно доступных систем управления реляционными базами данных удостоился продукт «MySQL». Его пятая версия, использованная в работе, имеет сравнительно высокую скорость обработки запросов и удобство администрирования.

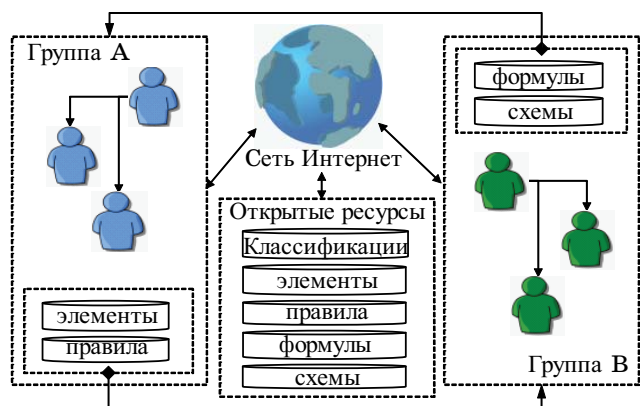
В целом необходимо отметить, что выбранный комплекс средств разработки программного обеспечения в полной мере способствует удовлетворению всех поставленных требований, нацеленных на повышение эффективности применения разработанного алгоритма структурного синтеза схем оптических систем.

Пример совместного распределенного использования накопленных знаний

Главной особенностью предлагаемого подхода является его ориентация на совместное накопление, использование и управление информационными ресурсами распределенными группами разработчиков. С целью показать взаимную выгодность работы пользователей в системе с современными сетевыми технологиями, рассмотрим следующий пример.

Представим, что основанную на предложенном подходе систему используют в процессе своей работы две группы специалистов, занимающихся расчетом оптических систем, условно обозначим их как «группа А» и «группа В» (рис. 2). Допустим, что в системе имеется некоторое количество открытых для свободного доступа ресурсов. Помимо этого в процессе своей работы с системой «группа А» накопила некую базу собственных оптических элементов и сформулировала правила их применения в рамках открыто-доступной классификации. В это время «группа В», занимаясь исследованием возможности получения новых схемных решений на базе открыто-доступных элементов, внесла в систему дополнительные оптические поверхности и адаптировала на их основе уже имеющиеся в системе элементы. При наличии специальных средств поиска информации в определенный момент у групп возникнет заинтересованность в обмене накопленными знаниями.

У сторон-партнеров, вследствие обеспечения системой полного соблюдения политики прав доступа, нет прямых оснований опасаться того, что информацией может воспользоваться третья сторона, так как пользователи, изначально не являющиеся владельцами ресурса, не могут управлять правами доступа к нему. В таком случае группы-партнеры могут организовать друг для друга ограниченный доступ к части собственных информационных ресурсов посредством предложенного механизма управления правами доступа. Тогда



■ Рис. 2. Пример совместного распределенного использования открытых информационных ресурсов

противоположные стороны смогут незамедлительно воспользоваться информацией, предоставленной партнерами, и самостоятельно осуществлять структурный синтез, применяя ее в интересующем их направлении.

Заключение

Для повышения эффективности применения разработанного алгоритма структура тестового программного продукта преобразована и усовершенствована с применением современных информационных технологий. В качестве средств проектирования использован комплекс открытых

программных продуктов, в полной мере способствующий реализации всех предъявленных требований. Разработан подход к накоплению и управлению ресурсами в среде с распределенными группами пользователей, открывающий для специалистов новые возможности в области проектирования оптических систем.

Работа выполнена в рамках международного контракта между СПб ГОУ ИТМО и Корейским политехническим университетом при поддержке гранта Корейского исследовательского фонда, основанного корейским правительством (MOEHRD) (KRF-2006-613-C00002).

Литература

1. Лившиц И. Л., Сальников А. В., Unchung Cho. Исследование возможности решения задачи структурного синтеза объективов методом экспертных оценок // Прикладная оптика — 2004: Сб. тр. Междунар. конф. СПб.: СПб ГУИТМО, 2004. С. 140–144.
2. Сальников А. В., Лившиц И. Л., Unchung Cho. Формализация процесса структурного синтеза объективов // Оптика — 2005: Тр. IV Междунар. конф. молодых ученых и специалистов. СПб.: СПб ГУИТМО, 2005. С. 134–135.
3. Анитропова И. Л., Голованевский Г. Л. Система эвристического синтеза оптических схем. Препринт ИПМ АН СССР 31. М., 1990.
4. Анитропова И. Л., Пряничников В. Е. Проектирование базовых оптических модулей. Препринт ИПМ АН СССР 43. М., 1987.
5. Русинов М. М. Техническая оптика. Л.: Машиностроение, 1979. 448 с.

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.

При наличии положительной рецензии статья рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи.

Процедуры согласования текста статьи могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (80x@mail.ru).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию, при необходимости доработать статью — рецензию. Рукописи не возвращаются.

Редакция журнала напоминает, что ответственность за достоверность и точность рекламных материалов несет рекламодатели.

Институт проблем передачи информации РАН

Общество теории информации IEEE

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Laboratoire Poncelet (UMI 2615) — Французско-Российская математическая лаборатория (Москва)

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ДНИ КОДИРОВАНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ»

6–10 октября 2008 г.

Место проведения: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес: 190000, Россия, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67, ГУАП

Международная научная конференция «Дни кодирования в Санкт-Петербурге» проводится на базе Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. Предыдущая конференция проводилась в Москве в мае 2005 г.

Сопредседатели

Илья Думер (Университет Риверсайд Калифорнии, США)

Григорий Кабатянский (Институт проблем передачи информации РАН, Москва)

Организационный комитет

Евгений Крук (ГУАП, Санкт-Петербург) — председатель

Сергей Федоренко (ГУАП, Санкт-Петербург) — заместитель председателя

Направления работы конференции

Теория кодов, исправляющих ошибки
Кодовая криптография
Комбинаторика (в приложении к теории кодирования)

Сферические коды и дизайны

Официальный язык

Английский

Издание трудов

Планируется издание сборника докладов

Тезисы докладов и доклады

Отбор и рецензирование докладов будут проводиться на основе представленных авторами расширенных тезисов. Окончательная версия доклада ограничена шестью страницами. Инструкция для авторов размещена на сайте симпозиума: <http://k36.org/codingdays/>

Контрольные сроки

Тезисы и текст итогового доклада направлять в организационный комитет в электронном виде (в LaTeX) по адресу: codingdays@vu.spb.ru

1 июля 2008 — окончание приема расширенных тезисов

15 июля 2008 — извещение авторов о принятии докладов

1 сентября 2008 — окончание приема версии доклада для печати

Дополнительная информация и справки

Организационный комитет симпозиума:
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67.

тел./факс. (+7-812) 494-70-52

сайт: <http://k36.org/codingdays/>

эл. почта: codingdays@vu.spb.ru

АЛСЫНБАЕВА
Людмила
Георгиевна



Руководитель центра информационных технологий тестирования Югорского НИИ информационных технологий, доцент кафедры компьютерного моделирования и информационных технологий Югорского государственного университета.

В 1976 году закончила Новосибирский государственный университет по специальности «Математика».

В 1998 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, в 2004 году присуждено ученое звание доцента. Является автором более 70 научных и учебно-методических публикаций.

Область научных интересов — технологии электронного образования, системы автоматизированного тестирования, системы электронного корпоративного обучения и развития персонала.

БЕСТУГИН
Александр
Роальдович



Доцент кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1982 году окончил математикомеханический факультет Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова.

В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 50 научных публикаций и соавтором одной монографии.

Область научных интересов — системы управления и связи.

БРЕДУН
Игорь
Леонидович



Ведущий научный сотрудник ОАО «Концерн «Гранит-Электрон».

В 1967 окончил радиотехнический факультет Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина).

В 1967 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 30 научных публикаций и изобретений, в том числе одной монографии.

Область научных интересов — помехозащищенность радиотехнических систем, в частности радиолокационных систем управления противокорабельных крылатых ракет.

ЗИКРАТОВ
Игорь
Алексеевич



Доцент, начальник кафедры военной кибернетики Санкт-Петербургского высшего военного училища радиоэлектроники.

В 1987 году окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище ПВО им. Маршала авиации А. И. Покрышкина.

В 2006 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 40 научных публикаций, в том числе соавтором двух монографий.

Область научных интересов — геоинформационные технологии.

ЗИКРАТОВА
Татьяна
Викторовна



Преподаватель кафедры радиоэлектроники Санкт-Петербургского высшего военного училища радиоэлектроники.

Окончила Томский политехнический институт в 1986 году.

Является автором шести научных публикаций.

Область научных интересов — геоинформационные технологии.

КОРЖАВИН
Георгий
Анатольевич



Генеральный директор ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», декан базового факультета, заведующий базовой кафедрой вычислительных комплексов ГУАП, заслуженный конструктор РФ, академик Международной академии информатизации, академик Санкт-Петербургской инженерной академии.

В 1970 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Радиоэлектронные устройства». В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором около 200 научных публикаций, в том числе 100 патентов и изобретений.

Область научных интересов — разработка сложных систем управления ракетным и торпедным оружием, бортовых и корабельных систем управления для различных носителей, систем целеуказания.

**КРАСЮК
Владимир
Николаевич**



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

**МАЛЬЦЕВ
Георгий
Николаевич**



Профессор, начальник кафедры космических радиотехнических систем Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского, заслуженный деятель науки Российской Федерации, действительный член Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского. В 1980 году окончил Ленинградский инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского. В 1994 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 200 научных публикаций. Область научных интересов — обработка сигналов в радиотехнических и оптико-электронных информационных системах, космические радиотехнические комплексы управления, сбора и передачи информации.

**МОИСЕЕНКО
Антон
Сергеевич**



Инженер-программист ЗАО «Моторола ЗАО», аспирант кафедры компьютерной математики и программирования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 2005 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». Область научных интересов — нейронные сети, эволюционные алгоритмы, трансляторы, компиляторы, интерпретаторы.

**ЛИВШИЦ
Ирина
Леонидовна**



Старший научный сотрудник, заведующая лабораторией «Специальные оптические и ТВ-системы» Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. В 1974 году окончила Ленинградский институт точной механики и оптики. В 1980 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 122 научных публикаций. Область научных интересов — оптические и оптико-информационные системы.

**МАТЪЯШ
Валерий
Анатольевич**



Начальник отдела планирования и мониторинга учебного процесса, доцент кафедры компьютерной математики и программирования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1995 году окончил Санкт-Петербургскую государственную академию аэрокосмического приборостроения по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». В 1999 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 20 научных публикаций. Область научных интересов — технология разработки программного обеспечения, теория расписаний, генетические алгоритмы.

**ПОДОПЛЕКИН
Юрий
Федорович**



Профессор, первый заместитель генерального директора ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», академик Российской академии электротехнических наук, Международной академии информатизации, Российской академии ракетно-артиллерийских наук, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ за 2000 г. В 1962 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 1995 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 300 научных публикаций, в том числе около 150 патентов на изобретения. Область научных интересов — разработка и внедрение многоканальных помехозащитных систем наведения противокорабельных ракет, разработка сложных комплексов управления подвижными объектами, включающих радиолокационные и вычислительные системы.

РЫЖИКОВ
Максим
Борисович



Доцент кафедры антенн и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 2001 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.

В 2005 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 22 научных публикаций.

Область научных интересов — теория дифракции электромагнитных волн на телах сложной формы, методики проектирования антенных систем с заданными характеристиками рассеяния и излучения.

САЛЬНИКОВ
Александр
Владимирович



Аспирант кафедры прикладной и компьютерной оптики факультета оптико-информационных систем и технологий Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.

В 2004 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети».

Является автором восьми научных публикаций.

Область научных интересов — оптико-информационные системы, веб-технологии, методики разработки программного обеспечения.

СЕМЕНЦОВ
Станислав
Григорьевич



Доцент кафедры проектирования и технологии производства электронно-вычислительных и телекоммуникационных систем Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана.

В 1998 году окончил Дагестанский государственный технический университет по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств». В 2002 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 30 научных публикаций.

Область научных интересов — цифровая обработка сигналов, системы управления акустическими полями, элементы систем управления.

ТАЗЕТДИНОВ
Андрей
Дамирович



Директор центра информационных технологий АНО ВПО «Международный банковский институт», г. Санкт-Петербург.

В 2002 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления».

В 2006 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором двух монографий, 24 научных публикаций и одного авторского свидетельства. Область научных интересов — автоматизированные обучающие системы, компьютерные сети, интеграция программного обеспечения с применением SOA.

ТЕЛИЧКО
Виталий
Владимирович



Заместитель директора ООО «Цифровые технологии», г. Москва.

В 1986 году окончил Харьковское высшее военное командное инженерное училище ракетных войск им. Маршала Советского Союза Н. И. Крылова.

Является автором десяти научных публикаций.

Область научных интересов — цифровые технологии передачи и обработки информации, защита информации в информационных и телекоммуникационных системах.

ТОЛМАЧЕВ
Андрей
Сергеевич



Инженер-программист, аспирант Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

В 2007 году окончил Санкт-Петербургский государственный политехнический университет со степенью магистра по специальности «Прикладная математика и информатика».

Область научных интересов — языки моделирования бизнес-процессов, методы верификации программ.

УНЧУН ЧО

Профессор факультета инженерной механики Корейского политехнического университета. В 1987 году окончил университет Ёнсэй (Республика Корея) со степенью бакалавра, в 1988 году получил степень магистра в университете Карнеги Меллон (США), в 1997 году — степень доктора в Политехническом институте Ренсселер (США). Является автором 37 научных публикаций. Область научных интересов — техническая оптика, лазеры, нанотехнологии, микрокомпоненты и материалы.

**ЦВЕТКОВ
Сергей
Александрович**

Аспирант Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 2004 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Область научных интересов — синтез нелинейных импульсных систем автоматического управления.

**ШИШЛАКОВ
Владислав
Федорович**

Профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1982 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. В 2002 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 100 научных и учебно-методических публикаций, в том числе двух монографий. Область научных интересов — синтез нелинейных систем автоматического управления с различными видами модуляции сигнала.

**ШИШЛАКОВ
Дмитрий
Владиславович**

Аспирант Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 2006 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения. Является автором 15 научных публикаций. Область научных интересов — синтез нелинейных многосвязных систем автоматического управления.

УДК 621.396.96: 621.391.828

Кроссиндикация групповой помехи в моноимпульсной РЛС

Коржавин Г. А., Подоплекин Ю. Ф., Бредун И. Л. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 2–8.

Предлагаются меры, обеспечивающие надежное распознавание групповой маскирующей помехи в РЛС. Приводятся результаты исследований, полученные на математической модели.

Список лит.: 8 назв.

УДК 519.681

Разработка методов скрепления эпох для предотвращения сходимости генетического алгоритма

Моисеенко А. С., Матяш В. А. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 9–13.

Рассмотрено применение генетических алгоритмов к эвристической задаче оптимизации расписаний. Анализируется проблема сходимости генетического алгоритма, предложен метод улучшения приспособленности поколений за счет применения так называемых алгоритмов скрещивания эпох.

Список лит.: 2 назв.

УДК 681.5.013

Синтез и моделирование автономной электрогенерической установки

Шишлаков В. Ф., Шишлаков Д. В., Цветков С. А. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 14–17.

Рассматривается решение задачи синтеза параметров регуляторов в каналах регулирования частоты и напряжения автономной электрогенерической установки обобщенным методом Галеркина. Приводятся результаты моделирования работы данной установки с синтезированными параметрами регуляторов в нормальном режиме.

Список лит.: 5 назв.

УДК 534.843.1

Моделирование передаточной функции вторичного канала систем активного гашения шума

Семенцов С. Г. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 18–22.

Рассмотрены методы моделирования передаточной функции вторичного канала для адаптивных алгоритмов систем активного гашения шума. На примере помещений предложен новый подход к моделированию на основании априорной информации об объекте управления. Показана высокая эффективность трассерных методов при моделировании передаточных функций в помещениях произвольной формы. Проведена оценка адекватности предложенных моделей.

Список лит.: 6 назв.

УДК 621.396.96: 621.391.828

Cross indication of group jamming in the mono-pulse radar

Korzhasvin G. A., Podoplekin Y. F., Bredun I. L. IUS, 2008. N 4. P. 2–8.

Measures are proposed for reliable identification of group masking jamming by radar. The results of studies carried out using a mathematical model are given.

Refs: 8 titles.

УДК 519.681

Preventing genetic algorithm convergence by means of eras interbreeding methods

Moiseenko A. S., Matiash V. A. IUS, 2008. N 4. P. 9–13.

This article is dedicated to the issue of using the Genetic Algorithm as an heuristic way of time-table optimization. Also it includes the investigation of Genetic Algorithm convergence and a new methodic of generation fitness improvement based on so-called «interbreeding methods».

Refs: 2 titles.

УДК 681.5.013

Synthesis and modeling of the stand-alone electro power station

Shishlakov V. F., Shishlakov D. V., Tsvetkov S. A. IUS, 2008. N 4. P. 14–17.

We discuss some solutions for the task of synthesis of regulator parameters in frequency and voltage control channels in stand-alone electro power stations using the generalized Galerkin method. We present the results of modeling of this kind of station functioning with synthesized regulator parameters in normal mode.

Refs: 5 titles.

УДК 534.843.1

Modeling the secondary path transfer function for active noise control systems

Sementsov S. G. IUS, 2008. N 4. P. 18–22.

Response simulation techniques of the secondary path transfer function for active noise control systems are presented. A new approach to simulation is proposed by the example of room response simulation; the approach is based on prediction of the secondary path transfer function. High efficiency of ray tracing methods is showed on simulation of response in any rooms. Proposed simulation techniques are evaluated and tested.

Refs: 6 titles.

УДК 602-507

Язык моделирования бизнес-процессов BPDFL

Толмачев А. С. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 23–28.

Рассматривается новый язык описания бизнес-процессов BPDFL, обладающий, в отличие от известных BPEL и XLANG, рядом важных свойств: простотой, гибкостью и расширяемостью.

Список лит.: 5 назв.

УДК 681.3.067

Оптимизация состава средств защиты информации в информационно-управляющей системе с каналами беспроводного доступа на основе графа реализации угроз

Мальцев Г. Н., Теличко В. В. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 29–33.

Приводится описание теоретико-множественной постановки и графового метода решения задачи выбора оптимального состава комплекса средств защиты информации распределенной информационно-управляющей системы с каналами беспроводного доступа. Рассмотрены особенности составления и преобразования графов реализации угроз в системах с каналами беспроводного доступа, для которых характерна возможность достижения нарушителем своих целей при реализации различного числа угроз и при различных последовательностях их реализации.

Список лит.: 11 назв.

УДК 621.396.67

Микрополосковая сферическая активная фазированная антенная решетка с электронным сканированием путем перекоммутации излучателей

Красюк В. Н., Бестугин А. Р., Рыжиков М. Б. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 34–38.

Рассмотрен способ реализации электронного кругового обзора в сферической активной фазированной антенной решетке с одинаковым угловым расстоянием излучателями. Предложена методика поиска амплитудно-фазового распределения, позволяющего синтезировать диаграмму направленности при заданном уровне боковых лепестков. Представлены результаты сравнения характеристик излучения данной антенны и эквивалентной плоской антенной решетки.

Список лит.: 4 назв.

UDK 602-507

BPDFL: business process description language

Tolmachev A. S. IUS, 2008. N 4. P. 23–28.

In this article, we introduce a new business process description language BPDFL which, unlike popular languages BPEL and XLANG, possesses such important properties as simplicity, flexibility and extendibility.

Refs: 5 titles.

UDK 681.3.067

Optimization of information protection means in the informational-command system with wireless channels access based on threats realization graph

Maltsev G. N., Telichko V. V. IUS, 2008. N 4. P. 29–33.

Some theoretical-numerous propounding and graph method for the solution of the problem of optimal information defense means complex compound choice in distributed informational-command system with wireless access channels are described. The peculiarities of threat realization graph composition and transformation in wireless access channels system, for which is typical the possibility of infringer tasks achievement by different threat number and different realization consistence, are considered.

Refs: 11 titles.

UDK 621.396.67

Microstrip spherical active phased-array antenna with electronic scanning by means of rearrangement of patches

Krasyuk V. N., Bestugin A. R., Ryzhikov M. B. IUS, 2008. N 4. P. 34–38.

A way of circular electronic scanning in the spherical active phased-array antenna with equal angular distance between patches is considered. Here proposed a technique to find gain-phase distribution, which forms the directional diagram of the antenna with request side-lobe level. The results of comparison between emission characteristic of this antenna and the equivalent flat antenna are presented.

Refs: 4 titles.

УДК 681.518

Оптимизация зоны покрытия систем сотовой связи на загородных участках местности методом стохастического программирования

Зикратов И. А., Зикратова Т. В. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 39–41.

Обсуждаются вопросы рационального размещения ретрансляторов базовых станций сотовой связи на загородных участках местности с использованием цифровой картографической информации. Предложен метод выбора позиций, основанный на стохастическом программировании с вероятностными ограничениями. Решение представлено в виде детерминированного вектора.

Список лит.: 3 назв.

УДК 004.588

Автоматный подход в построении компьютерных обучающих диалогов

Тазетдинов А. Д. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 42–48.

Рассматривается автоматный принцип построения вопросно-ответных структур компьютерных адаптивных обучающих диалогов, предлагается технология их создания и применения.

Список лит.: 11 назв.

УДК 681.142.37

E-Learning в системах корпоративного обучения в России: тенденции, проблемы, перспективы

Алсынбаева Л. Г. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 49–52.

Рассматриваются современное состояние и динамика развития мирового рынка корпоративного электронного обучения, тенденции, проблемы и перспективы использования e-Learning для организации систем корпоративного обучения в России.

Список лит.: 11 назв.

УДК 535.317

Повышение эффективности использования алгоритма композиции оптических систем с применением современных информационных технологий

Сальников А. В., Лившиц И. Л., Унчун Чо. Информационно-управляющие системы, 2008. № 4. С. 53–56.

Приводится один из подходов к повышению эффективности использования алгоритма структурного синтеза, основанного на теории композиции оптических систем из элементов с известными свойствами. Показаны этапы изменения и усовершенствования существующего тестового программного продукта с применением современных информационных технологий.

Список лит.: 5 назв.

УДК 681.518

Optimising cellura phone coverage zone in suburban areas using methods of stochastic programming
Zikratov I. A., Zikratova T. V. IUS, 2008. N 4. P. 39–41.

The issues of rational placement of basic cellular communication station re-transmitters in out-of-town areas using digital cartographical information are discussed. The positioning method is based on stochastic programming with probability limitations, and is suggested in this article. The decision is represented as a determinate vector.

Refs: 3 titles.

УДК 004.588

The automatic approach in creating computer training dialogues

Tazetdinov A. D. IUS, 2008. N 4. P. 42–48.

The article is about the automatic principle of construction of question-answer structures of computer adaptive training dialogues, the technology of their creation and application.

Refs: 11 titles.

УДК 681.142.37

E-Learning for corporative educational system in russia: tendencies, problems and prospects

Alsynbaeva L. G. IUS, 2008. N 4. P. 49–52.

Today's conditions and dynamics of development of world corporative e-Learning market, tendencies, problems and prospects of using e-Learning for corporative educational systems organizing in Russia are examined in this article.

Refs: 11 titles.

УДК 535.317

Increasing the application efficiency of the algorithm for optical systems composition using modern information technologies

Salnikov A. V., Livshits I. L., Sergeev M. B., Unchung Cho. IUS, 2008. N 4. P. 53–56.

An approach to increasing the application efficiency of the algorithm for structural synthesis based on the theory of optical systems composition is described. It shows the steps of refactoring and enhancing the prototype software solution using modern information technologies.

Refs: 5 titles.