

РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.391

DOI 10.22213/2413-1172-2017-4-77-81

В. В. Хворенков, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

И. С. Батурин, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

А. В. Савельев, доктор технических наук, профессор, АО «Сарапульский радиозавод»

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ГЛАВНОГО КОНСТРУКТОРА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Многолетний опыт разработки аппаратуры средств радиосвязи привел авторов к необходимости создания автоматизированного рабочего места (АРМ) конструктора, которое сосредоточит в одном месте и систематизирует всю информацию, необходимую для разработки радиосредств. Создаваемое АРМ призвано не только эффективно обосновывать технические решения, но и осуществлять их

проверку путем имитационного моделирования и натуральных экспериментов.

Предполагается, что АРМ будет представлять программно-аппаратный комплекс, состоящий из локальной вычислительной сети, комплекса контрольно-измерительного оборудования, баз данных и знаний, общего и специального программного обеспечения. Структурная схема АРМ представлена на рис. 1.

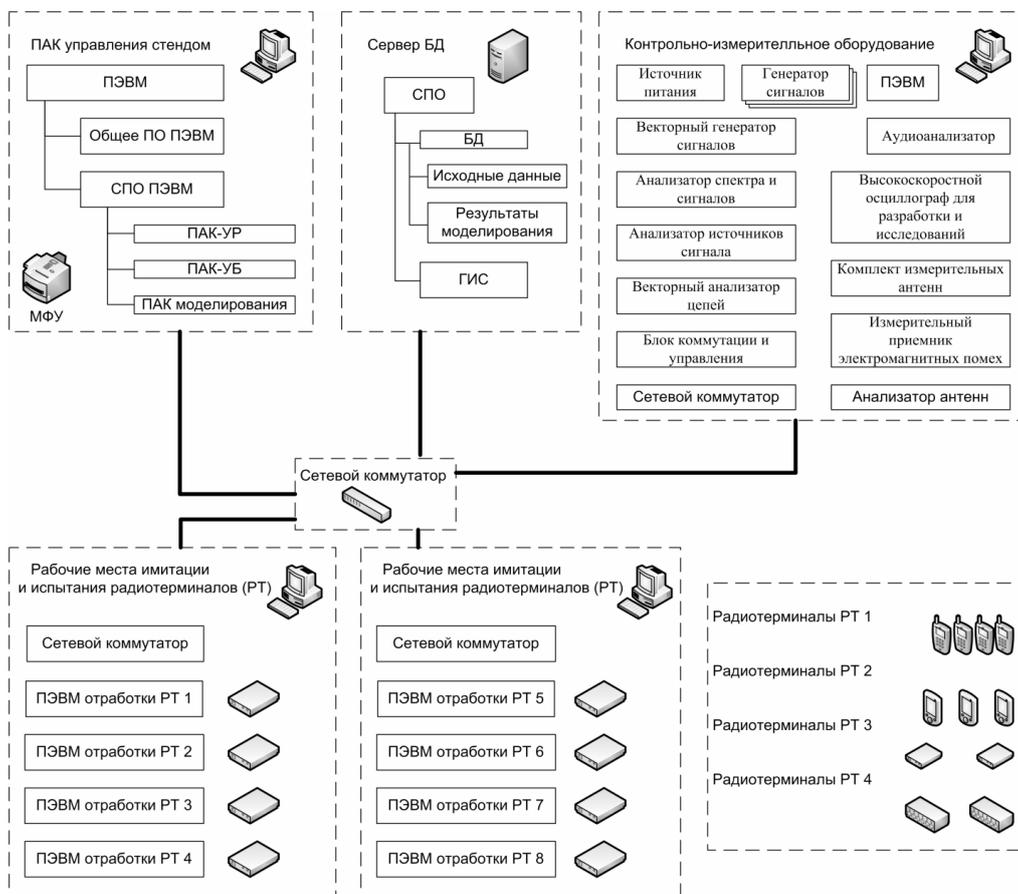


Рис. 1. Структурная схема АРМ главного конструктора радиоэлектронных средств

АРМ должно обладать определенным уровнем интеллекта. Например, выполнять функции экспертной системы. Под экспертной системой понимается компьютерная программа, способная выполнять ряд задач, осуществляемых главным конструктором при решении проблемных вопросов. Экспертные системы следует рассматривать совместно с базами знаний. Базы знаний выступают как модели поведения экспертов в проблемной области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия конкретных решений. АРМ как экспертная система может выполнять следующие функции.

1. На основе анализа требований технического задания на разработку системы или устройства осуществлять автоматизированный поиск элементной базы, конструкционных материалов, конструктивных решений и т. п.

2. По результатам моделирования [1] радиолиний и сетевых решений формировать реестр сигнально-кодовых конструкций (СКК), пригодных для реализации целей, сформулированных в техническом задании на разработку.

3. В процессе натурных испытаний и экспериментов диагностировать неисправности аппаратуры и программного обеспечения макетов и опытных образцов.

Приведенный перечень функций является неполным и по мере развития и совершенствования АРМ должен расширяться.

Чтобы АРМ выполняло функции экспертной системы, в нем должны быть сформированы следующие базы знаний.

1. Сигнально-кодовые конструкции.
2. Модели каналов связи.
3. Антенны и антенно-фидерные устройства.
4. Протоколы, регламенты, стандарты технологий беспроводной связи.
5. Элементная база.
6. Конструкционные материалы.
7. Конструкторско-технологические решения мировых производителей.
8. Средства вычислительной техники, периферийных устройств и программного обеспечения.
9. Источники питания.
10. Средства радиоэлектронного противодействия и методов борьбы с ним.

При формировании баз возникает вопрос, что же такое знания и чем они отличаются от обычных данных, десятилетиями обрабатываемых ЭВМ. Под данными будем понимать отдельные факты, процессы, явления, закономерности, характеризующие объекты. Под знаниями – принципы, связи, законы, проявляющиеся в пред-

метной области, полученные, накопленные и обобщенные в результате практической деятельности, позволяющие специалистам ставить и решать задачи в этой области. Принимая во внимание, что базы знаний – это результат практической деятельности специалистов в определенной области знания, можно сформулировать основные различия баз знаний и баз данных. Так, базы данных могут оперировать только однородными данными, а базы знаний могут содержать разнородные и разнотипные данные, так как в них отражается фактический результат деятельности. По этой же причине базы данных представляют собой жестко структурированную модель, а базы знаний могут быть реализованы в виде более гибкой открытой модели. Классическим представлением базы данных является представление в виде набора записей, а базы знаний удобнее представлять в виде семантической модели [2].

АРМ главного конструктора радиоэлектронных средств, основанное на базах знаний, может быть реализовано на основе следующих интеллектуальных алгоритмов (подходов): нейросети; системы экспертной оценки; элементы нечеткой логики; генетические алгоритмы.

Деятельность главного конструктора современных радиоэлектронных средств весьма разнопланова. Он координирует работу специалистов: схемотехников, разработчиков программного обеспечения, конструкторов, технологов, специалистов по информационным технологиям, системотехников и др. Каждый из этих специалистов имеет частичное представление о решаемой главным конструктором задаче. Поскольку АРМ призвано в определенной степени заменить главного конструктора, то оно должно для решения сложной задачи создать множество агентов и организовать между ними эффективное взаимодействие. Поэтому модель АРМ главного конструктора можно строить как многоагентную систему. Для организации процесса декомпозиции задачи в многоагентных системах создается либо система распределенного решения проблемы, либо децентрализованный искусственный интеллект.

В первом варианте процесс декомпозиции глобальной задачи и обратный процесс композиции найденных решений происходит под управлением некоторого единого «центра». В этом случае при проектировании многоагентной системы используется иерархия «строга сверху вниз» с учетом ролей, определенных для каждого из агентов, и вариантов разбиения глобальной задачи на мелкие подзадачи. При ис-

пользовании децентрализованного искусственного интеллекта декомпозиция заданий агентов происходит в процессе их взаимодействия и, как правило, часто носит непрогнозируемый характер. Для рассматриваемого АРМ более подходит первый вариант. В настоящее время не существует устоявшегося определения агента. Агент – это аппаратное или программное ядро, способное независимо от других действовать в интересах достижения цели [3]. В АРМ агентами будем считать такие программно-аппаратные комплексы (ПАК), как ПАК моделирования, ПАК натурального эксперимента, ПАК управления безопасностью и др. Каждый из агентов решает свою задачу, но способен обмениваться информацией друг с другом. Агенты в процессе отработки своих функций формируют список выполненных действий, результаты тестирования и верификации и пересылают его в управляющую систему. В зависимости от решаемых задач каждый из агентов может использовать различные технологии и математический аппарат. Варианты возможных инструментов приведены на диаграмме, представленной на рис. 2.



Рис. 2. Технологии, используемые интеллектуальными агентами

Далее встает задача принятия оптимального решения. Для анализа сигнально-кодовых конструкций и каналов связи довольно часто применяется теорема Байеса. В этом случае для описания системы связи воспользуемся методом переменных состояний [4]. Рассмотрим радиотелефонную систему для организации дуплексного режима работы. Система имеет два канала связи – прямой и обратный. Прямой канал предназначен для передачи сообщений от базовой станции (БС) к абонентской станции (АС), а также команды по управлению качеством об-

ратного канала связи. В качестве управляющего параметра, определяющего качество канала связи, определим номер выбираемой зоны при установлении связи. Передача сообщений от АС к БС осуществляется по обратному каналу связи. Качество обратного канала будем определять по мощности сигнала на выходе передатчика, которая будет выступать в качестве управляющего параметра. Следует отметить, что по прямому каналу передается команда по управлению качеством обратного канала связи, и наоборот.

При заданных таким образом условиях работы системы связи модель адаптивной цифровой информационной радиосистемы (ЦИРС) можно записать в виде системы уравнений:

$$\begin{aligned} \bar{X}_{k+1}^a(g) &= A^a(k+1, k)\bar{x}_k^a(g) \oplus \\ &\oplus \Gamma^b(k+1, k)\bar{u}_k^b(g), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\bar{Z}_{k+1}^a(g) = \bar{X}_{k+1}^a(g) \oplus B^a(k+1, k)\bar{W}_{k+1}^a(g), \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \bar{X}_{k+1}^b(g) &= A^b(k+1, k)\bar{x}_k^b(g) \oplus \\ &\oplus \Gamma^a(k+1, k)\bar{u}_k^a(g), \end{aligned} \quad (3)$$

$$\bar{Z}_{k+1}^b(g) = \bar{X}_k^b(g) \oplus B^b(k+1, k)\bar{W}_k^b(g), \quad (4)$$

где $\bar{X}(g)$ – вектор сообщения; $\bar{Z}(g)$ – вектор наблюдения; $\bar{W}(g)$ – вектор аддитивной ошибки; $\bar{u}(g)$ – вектор управления; $A(k+1, k)$ – переходная матрица информационного источника; $B(k+1, k)$ – переходная матрица источника ошибок канала связи; $\Gamma(k+1, k)$ – переходная матрица вектора управления; g – элемент группы; \oplus – групповая операция сложения по модулю 2; $k = 0, 1, \dots$ – отсчеты времени; a и b – индексы прямого и обратного канала соответственно.

Будем считать, что алфавит передаваемых сигналов априорно известен, а порядок их следования является случайным. Найдем апостериорное распределение вероятностей вектора состояния $\bar{X}(g)$ по вектору наблюдения $\bar{Z}(g)$. Для этого необходимо воспользоваться уравнением сообщения, описывающим процесс формирования цифрового сигнала на входе системы, и уравнением наблюдения, описывающим процесс формирования цифрового сигнала на выходе. Все расчеты будем проводить на основе предложенной математической модели (1)–(4). Для простоты расчетов ограничимся рассмотре-

нием только одного канала связи в ЦИРС – прямого канала А. Для этого воспользуемся уравнениями (1) и (2). Распределение вероятностей вектора наблюдения $P[\bar{Z}^a(g)]$ определяется по формуле

$$P_k[\bar{Z}(j)] = \sum_{d=0}^{2^n-1} P_k[\bar{X}(d)] P_k[\bar{W}(d \oplus j)].$$

Определим условную вероятность наступления события $\bar{Z}^a(j)$ при условии, что передавался вектор $\bar{X}^a(i)$, и обозначим ее $P[\bar{Z}^a(j)/\bar{X}^a(i)]$. Пусть передается вектор \bar{X} с комбинацией 00010 (номер 2), и при этом наблюдается вектор \bar{Z} с комбинацией 00110 (номер 6). Наложение ошибок на передаваемое сообщение характеризует несоответствие принятого сообщения передаваемому, значит, вероятность $P[\bar{Z}^a(j)/\bar{X}^a(i)]$ равна вероятности появления вектора ошибок с комбинацией 00100 ($00100 = 00010 \oplus 00110$). Следовательно, условную вероятность наблюдения можно определить как

$$P[\bar{Z}^a(j)/\bar{X}^a(i)] = P[\bar{W}^a(i \oplus j)]. \quad (5)$$

Полная вероятность появления вектора наблюдения $\bar{Z}^a(j)$ определяется как свертка распределений вероятностей векторов сообщения и ошибок. Распределение вероятностей вектора измерения с учетом операции \oplus определяется сверткой

$$P_k[\bar{Z}(j)] = \sum_{d=0}^{2^n-1} P_k[\bar{X}(d)] P_k[\bar{W}(d \oplus j)], \quad (6)$$

где d и j принадлежат группе над полем GF(2). Теперь можно окончательно получить выражение для вычисления апостериорной вероятности передаваемого сообщения по формуле Байеса:

$$P[\bar{X}^a(i)/\bar{Z}^a(j)] = \frac{P[\bar{X}^a(j)] P[\bar{W}^a(j \oplus i)]}{\sum_{d=0}^{2^n-1} P[\bar{X}^a(d)] P[\bar{W}^a(d \oplus j)]}. \quad (7)$$

В качестве критерия оценки передаваемого кодового вектора выберем максимум апостериорной вероятности (МАВ), где в случае принятия вектора $\bar{Z}^a(j)$ принимается решение о пе-

редаче такого вектора $\bar{X}^a(g)$, при котором апостериорная вероятность $P[\bar{X}^a(i)/\bar{Z}^a(j)]$ максимальна. Тогда правило выбора решения может быть записано как $\hat{X}^a(g) = \bar{X}^a(i)$, если

$$P[\bar{X}^a(i)/\bar{Z}^a(j)] = P_{\max}[\bar{X}^a(i)/\bar{Z}^a(j)]. \quad (8)$$

На рис. 3 приведена зависимость вероятности правильного приема от вероятности ошибки в символе в символе, вычисленной по предложенному алгоритму.

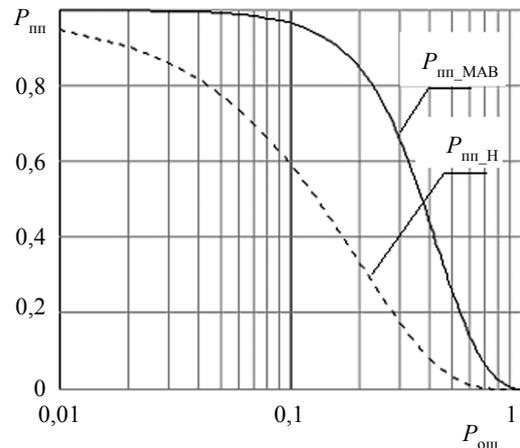


Рис. 3. Зависимость вероятности правильного приема от вероятности ошибки в символе

Нижняя граница вероятности правильного приема ($P_{\text{пр}_H}$) совпадает со значением ВПП при нулевом весе вектора ошибок, т. е. при отсутствии ошибок в принятой кодограмме.

Таким образом, предложены модель системы и алгоритм получения оптимальной оценки результата взаимодействия сообщения и канала связи, которые могут быть использованы для работы одного из интеллектуальных агентов АРМ главного конструктора радиоэлектронных средств.

Библиографические ссылки

1. Бояришинов М. А., Хворенков В. В., Марков М. М. Аппаратно-программный комплекс для моделирования сложных сигналов в условиях замираний и аддитивных помех // Сб. тезисов и докладов конференции «Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем» (Пенза, 15–17 марта 1997 г.). / Пензенский государственный технический университет, 1997. С. 132–133.
2. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000.
3. Городецкий В. И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы //

Новости искусственного интеллекта. 1996. № 1. С. 44–59.

4. Хворенков В. В., Караваев П. В., Савельев А. В. Решение задачи управления ресурсами в цифровой радиосистеме с использованием теоретико-игрового подхода // Интеллектуальные системы в производстве. 2016. № 2(29). С. 76–80.

References

1. Boyarshinov M. A., Khvorenkov V. V., Markov M. M. (1997). *Apparatno-programmnyi kompleks dlya modelirovaniya slozhnykh signalov v usloviyakh zamiraniya i additivnykh pomekh* [Hardware and software complex for modeling complex signals in conditions of

fading and additive noise]. Proceedings of the conference *Aktual'nye problemy analiza i obespecheniya nadezhnosti i kachestva proborov, ustroystv i sistem (Penza, 15-17 marta 1997 g.)*, Penzenskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, pp. 132-133 (in Russ.).

2. Gavrilova T. A., Khoroshevskii V. F. (2000). *Bazy znaniy intellektual'nykh system* [Intelligent Systems Knowledge Base]. St. Petersburg: Piter (in Russ.).

3. Gorodetskii V. I. (1996). *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of Artificial Intelligence], no. 1, pp. 44-59 (in Russ.).

4. Khvorenkov V. V., Karavaev P. V., Savel'ev A. V. (2016). *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve* [Intelligent systems in production], no. 2(29), pp. 76-80 (in Russ.).

Получено 02.10.2017