

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ АВТОМАТНО-ЛИНГВИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

П.А. Агеев, О.А. Копичев, И.Б. Петров

В статье представлена концептуальная модель динамической радиоэлектронной обстановки, основанная на автоматно-лингвистическом описании зависимости изменения параметров функционирования систем и средств радиосвязи и радиотехнического обеспечения от многовариантного развития обстановки в социально-экономической и производственной сферах. Особенности работы радиоэлектронных средств рассматриваются с позиции непрерывно-дискретных (гибридных) систем. Предлагаемый вариант построения концептуальной математической модели основан на применении теории множеств, управляемых программных грамматик и гибридных автоматов.

Ключевые слова: радиоэлектронная обстановка, радиоэлектронное средство, непрерывно-дискретная система, гибридный автомат, формальные грамматики, правило поведения объекта, сценарий.

THE DYNAMIC MODEL OF RADIO ELECTRONIC SITUATION ON THE BASIS OF AUTOMATIC LINGUISTIC DESCRIPTION OF THE PARAMETERS THE FUNCTIONING OF RADIO-ELECTRONIC MEANS

Ageev P., Kopichev O., Petrov I.

The article presents a conceptual model of the dynamic radioelectronic environment, based on automata-linguistic description of the dependence of changes of parameters of functioning of systems and means of radio and radiotechnical support from multi-variant development of the situation in socio-economic and industrial spheres. Features the work of radio-electronic means are considered from the perspective of continuous-discrete (hybrid) systems. Offers the option of constructing conceptual mathematical model based on the application of set theory, software controlled grammars and hybrid automata.

Keywords: radioelectronic environment, radioelectronic means, continuously-discrete system, hybrid automata, formal grammars, a rule of object behavior, scenario

Высокие темпы развития и широкое применение систем связи и радиотехнического обеспечения (РТО) в различных сферах деятельности государства оказывают существенное влияние на радиоэлектронную обстановку (РЭО), являющуюся главным объектом исследования служб радиомониторинга (РМ). В рамках статьи под РЭО понимается функционирование множества радиоэлектронных средств (РЭС), объединенных в системы радиосвязи и РТО, характеризующих состав и состояние объектов социально-экономической и производственной сферы (СЭПС).

Важнейшим условием успешной организации функционирования служб РМ является качественная оценка и прогнозирование РЭО для планирования распределения и контроля использования радиочастотного спектра (РЧС). Решение данной задачи связано с наличием системы моделирования РЭО, как инструмента частотно-территориального планирования в условиях высокой абонентской плотности на урбанизированных территориях, оценки загруженности РЧС.

Основным компонентом РЭО является РЭС, как источник радиоизлучения, характеризующий режимы функционирования систем радиосвязи и РТО. Существующие аппаратно-программные средства позволяют формировать модели радиосигналов различных типов и применять их для имитации работы РЭС. Однако, проявляемая совокупность множества радиосигналов в различные моменты времени, определяется качественными показателями, связанными с деятельностью объектов СЭПС [1].

На основе качественных и количественных характеристик структура РЭО представляется в виде последовательности функционально связанных взаимно-вложенных множеств:

$$\{A \supset I \supset S\}, \quad (1)$$

где: $\{A\}$ – множество объектов СЭПС, $\{I\}$ – множество радиосетей и РЭС; $\{S\}$ – совокупность параметров радиосвязи (виды передач, режимы работы систем связи и т. д.). На основании выражения (1) РЭО можно описать на теоретико-множественном уровне в виде известной схемы общей теории систем [2]:

$$Syst_{РЭО} \subset \times \{A\}. \quad (2)$$

Выражение (2) определяет систему РЭО как декартово произведение ее основных элементов. Описание поведения элементов множества $\{A\}$ осуществляется на основе логико-временного сценария, включающего последовательность параметров элементов множеств $\{I\}$ и $\{S\}$, формирующих единую РЭО.

Особенностью моделирования РЭО является необходимость формализации описательной информации об обстановке в СЭПС. Семантическая интерпретация некоторой цепочки символов естественного языка, описываемой выражением (3), в значение, выраженное в заложенном в модель формализме, представляется правилом поведения (4), описывающее состояние и деятельность элементов множеств $\{A\}$ и $\{I\}$:

$$F: \Lambda_j(a_i) \rightarrow (\{A\}), \quad (3)$$

где $\Lambda_j(a_i)$ – j -е правило поведение объекта СЭПС в i -м состоянии, F – соответствие, определяющее состав подмножества $\{a_i\} \supseteq \{A\}$.

Обладая универсальностью для множества вариантов развития обстановки, сценарий является логически-смысловой и информационной основой моделирования РЭО, позволяющей формализовать экспертную модель знаний о поведении объектов СЭПС в соответствии с теоретико-множественным представлением. Функциональная взаимосвязь между элементами множеств $\{A\}$ и $\{I\}$ определяется в сценарии РЭО набором правил поведения:

$$\Lambda_j = \left[t, \Lambda_{A_i \text{ СД}}(\tau_1) \Lambda_{I_i \text{ ССИРТО}}(\tau_1), \dots, \Lambda_{A_i \text{ СД}}(\tau_n) \Lambda_{I_i \text{ ССИРТО}}(\tau_n) \right], \quad (4)$$

где Λ_j – правило поведения, включающее набор величин $\Lambda_{A_i \text{ СД}}$ и $\Lambda_{I_i \text{ ССИРТО}}$, влияющих на фазовые координаты объекта модели; $t = t_{min}$ ближайшее (минимальное) время, τ_i – время на выполнение действия. Ход сценария характеризуется значениями фазовых координат в дискретные моменты времени. $\Lambda_{A_i \text{ СД}}$ – поток сведений о состоянии и деятельности элементов множества $\{A\}$, $\Lambda_{I_i \text{ ССИРТО}}$ – порядок и режимы функционирования элементов множества $\{I\}$.

Решение задачи преобразования выражения (3) в (4) возможно на основе управляемых программных грамматиках, позволяющих как интерпретировать, так и управлять состоянием моделируемой предметной области, под которой понимается радиоэлектронная обстановка [3]. Состояние предметной области на каждом шаге вывода грамматики управляет выбором продукции для дальнейшего вывода. Применение тех или иных продукций может изменять состояние предметной области в рамках модели.

Формально управляемая программная грамматика определяется совокупностью из девяти компонентов:

$$G = (k, Q, Pred, P, I, E, F_P, O, S). \quad (5)$$

Определение компонентов выражения (5) и область их значений приведены в таблице.

Выходными данными модели на основе управляемой программной грамматики является формализация сценария развития обстановки в виде календаря событий, содержащего последовательность правил поведения (4) объектов СЭПС:

$$\begin{aligned} \{\Lambda_j\} &= \Lambda_1 + \Lambda_2 + \dots + \Lambda_j = \bigcup_{j=1}^J \Lambda_j, \\ \Lambda_j &= \begin{cases} 0, j \notin \{\Lambda_j(a_i)\} \\ 1, j \in \{\Lambda_j(a_i)\}, j = \overline{1, J}, \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

где J – количество изменений в сценарии развития обстановки, правил поведения $\Lambda_j(a_i)$.

ТАБЛИЦА. Состав и область значений управляемой программной грамматики

Элементы управляемой программной грамматики	Условное обозначение	Область значений семантических признаков управляемой программной грамматики
Множество терминальных символов грамматики	k	$\{k_{zjnlm}\} \ni (a, i, x_a, y_i, F)$, где $z = 1..Z, j = 1..J, n = 1..N, l = 1..L, m = 1..M$, S – начальный символ грамматики
Множество нетерминальных символов грамматики	Q	$\{QUQ_z \cup Q_{zj} \cup Q_{zjn} \cup Q_{zjnl} \cup Q_{zjnlm}\} \ni (a, i, F_1)$, где $z = 1..Z, j = 1..J, n = 1..N, l = 1..L, m = 1..M$
Алфавит исчисления предикатов первого порядка	$Pred$	$Pred_n$, где $n = 1..N$
Множество продукций грамматики	P	I , ядро, F_S, F_F, C_S, C_F, O
Ядро продукции	$Q_0 \rightarrow Q_1 Q_2 \dots Q_z$ $jnlm; Q_{zjnlm} \rightarrow$ k_{zjnlm}	$Q_0(a, i) \rightarrow Q_{zjnlm}(a, i, F)$; $Q_{zjnlm}(a, i) \rightarrow k_{zjnlm}(a, i, x_a, y_i, F)$
Множества переходов по успеху и не успеху применения продукции	F_S, F_F	$F_S \subseteq I; F_F \subseteq I$
Множества условий перехода к продукциям	C_S, C_F	$C_S \ni (ППФ) \rightarrow F_S, C_F \ni (ППФ) \rightarrow F_F$
Множество меток продукций грамматики	I	$I_n = 1..N$
Область интерпретации данного исчисления предикатов	E	Неформальное описание зависимости $F: \{A\} \rightarrow \{I, S\}$
Соответствие каждого предикатного символа из множества $Pred_n$, где $n = 1..N$, в n -местное отношение в E	F_P	$Pred(\{a, i, x_a, y_i\}, \{F\})$, где $\{a, i\}$ – переменные предиката, принимающие значения на множествах $\{A \supset I\}$, $\{x_a, y_i\}$ – константные символы предиката, принимающие значения на множествах $\{A \supset I\}$ (являются значениями параметров a, i), $\{F\}$ – функциональные символы предиката
Множество операторов	O	$O_n \ni (ППФ); O_n = 1..N$
Начальный символ грамматики	S	

Выражение (6) представляет собой сценарий развития обстановки в СЭПС в формализованном виде. Рассматривая процесс моделирования РЭО как процесс управления множеством РЭС, формальное отображение управляющего воздействия (выражение 6) можно представить в виде n -мерного вектора-реализации правила поведения объекта модели.

С позиции теоретико-множественного представления последовательности параметров систем радиосвязи и РТО, функционирование РЭС рассматривается как дискретная система. Имитация радиоизлучения, как физического процесса, относит РЭС к непрерывным системам. Сочетание указанных свойств осу-

ществляется в рамках непрерывно-дискретных (гибридных) систем, имеющих как непрерывные, так и дискретные аспекты поведения (также используются термины «системы с переменной структурой», «событийно-управляемые») [4].

К современным методам моделирования непрерывно-дискретных систем относятся математические схемы на основе гибридных автоматов. Часть переменных гибридного автомата и соответствующих им состояний описываются дифференциальными уравнениями или аналитическими функциями.

Модель РЭС представлена в виде гибридного автомата, преобразующего последовательность формализованных правил изменения параметров множеств $\{A\}$ и $\{I\}$ выражение (6) в последовательность n -мерных векторов параметров множества $\{S\}$ выражение (8).

Функционирование гибридного автомата описывается конструкцией:

$$H = \{Z, X, E, F, Pred_E, Pred_Z\}, \quad (7)$$

где Z – конечное множество состояний; $X = \{X_d, X_c\}$ – конечное множество существенных переменных, X_d – множество дискретных переменных $X_d = \{X_d \in \mathfrak{R} \cup Bool\}$, X_c – множество непрерывных переменных $X_c = \{X_c \in \mathfrak{R}\}$; E – конечное множество дуг, $e = (z, q, Pred_E, \lambda, z') \in E$, $z, z' \in Z$ – исходное и целевое состояние для дуги e ; $q \in \Sigma$, Σ – алфавит меток переходов (алфавит событий), λ – множество начальных значений переменных множества X для каждой локации; F – оператор локального поведения внутри каждой локации (система дифференциальных уравнений или аналитических функций); $Pred_E$ – множество логических предикатов над X , описывающих условия перехода по дугам E , $Pred_E = \{Pred_{Ei}(t, X_d) \in Bool\}$; $Pred_Z$ – множество предикатов над X , описывающих область значений переменных X в локациях $z \in Z$, $Pred_Z = \{Pred_{Zj}(t, X_c) \in \mathfrak{R}\}$.

Состояние гибридной системы определяется вектором значений переменных $x \in X$ и локацией $z \in Z$, к которой этот вектор относится (т. е. $Pred_E(x) = True \rightarrow Z$). Поэтому состоянием гибридной системы называется пара (z, x) , $z \in Z$, $x \in X$. Моделирование глобального поведения системы переходов на основании выражения (7) заключается в построении множества вычислений цепочек пар (z_i, t_i) .

Таким образом, в каждый момент времени состояние РЭО представлено набором случайных параметров и характеристик радиоизлучений. Обобщив список возможных параметров деятельности и состояний элементов множества $\{I\}$, выраженных в характеристиках излучений РЭС, получим составной n -мерный вектор состояний и действий объектов модели:

$$v_{\Lambda_j} = \left[t_{\text{рэс}}, \{a_1(\tau_1), a_2(\tau_2), \dots, a_n(\tau_n)\}, N_i, T_{\text{рэс}}, N_{\text{кор}}, XYZ, S_{\text{рэс}}, S_{\text{сис}}, S_{\text{пто}} \right], \quad (8)$$

где: $t_{\text{рэс}}$ – временные характеристики работы РЭС; $\{a_1(\tau_1), a_2(\tau_2), \dots, a_n(\tau_n)\}$ – набор элементов $\{A\}$ участвующих в событии сценария длительностью τ_n ; N_i – условный номер элемента $i \in \{I\}$; $T_{\text{рэс}}$ – типы используемых РЭС; $N_{\text{кор}}$ – корре-

спонденты из состава $i \in \{I\}$; XYZ – координаты размещения РЭС; S_{PC} , $S_{СЛС}$, S_{PTO} – параметры радиосигналов наземных и воздушных линий связи, спутниковых линий связи и средств РТО соответственно.

Суммарный поток параметров множества радиосигналов (Λ_S), формируемый совокупностью разнородных РЭС и поступающий на вход системы РМ, в общем виде представлен выражением:

$$\begin{aligned} \Lambda_S &= \{\Lambda_{S_{PC}}\} \cup \{\Lambda_{S_{СЛС}}\} \cup \{\Lambda_{S_{PTO}}\} \cup \{\Lambda_{S_{MC}}\} = \\ &= \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{k=1}^K \bigcup_{n=1}^N \bigcup_{w=1}^W S_{mknw}, m = \overline{1, M}; k = \overline{1, K}; n = \overline{1, N}; w = \overline{1, W}, \end{aligned} \quad (9)$$

где Λ_{PC} – поток параметров радиосигналов наземных и воздушных линий связи; $\Lambda_{СЛС}$ – поток параметров радиосигналов СЛС; Λ_{PTO} – поток параметров радиосигналов РТО; Λ_{MC} – поток параметров мешающих сигналов общего фона.

Таким образом, выходные данные модели РЭО представляют собой упорядоченный последовательный поток множества параметров радиосигналов, представленный выражением (9), поступающих на вход подсистемы РМ.

Данный подход позволит осуществлять имитацию РЭО на основе множества моделей РЭС функционирующих в соответствии с логикой поведения объектов СЭПС.

Список используемых источников

1. Заика П. В., Копичев О. А. Имитационное моделирование радиоэлектронной обстановки на основе агрегативного подхода // Сборник докладов III Международной научно-технической конференции «Радиотехника, электроника и связь», Омск, 6–8 октября 2015 г. С. 207–212.
2. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 311с.
3. Кузин Л. Т. Т. 2. Основы кибернетических моделей : учебное пособие для вузов. М.: Энергия, 1979. 584 с.
4. Колесов Ю. Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 240 с.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЕВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Л.А. Акимова, О.П. Жадан, И.Г. Стахеев

Морфологический анализ является весьма эффективным средством для решения задач по построению сетей связи, поскольку он позволяет выявить, систематизировать и изучить всевозможные варианты и способы построения системы, предназначенной для реализации заданных функций. Он позволяет систематически выявить всю полноту возможных вариантов построения полевой транспортной сети связи специального назначения.