

УДК 681.324

Т.В. Волкова, доцент, канд. техн. наук,**К.Ю. Апраксин***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: kvf@sevgtu.sebastopol.ua***ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНЕЧНОАВТОМАТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ***Формулируются принципы построения систем управления сложными техническими объектами, представленными в классе конечноавтоматных моделей.*

Применение конечноавтоматной модели в качестве формализованного языка для решения задач управления обусловлено постоянным ростом сложности структурной и функциональной организации объектов управления. В первую очередь это относится к сущности и характеру входных и выходных параметров объектов управления. Параметры, определяемые количественными характеристиками, могут иметь достаточно сложный закон изменения, трудно поддающийся описанию средствами языка дифференциальных уравнений (дискретность, разрывность, сложная нелинейность). Кроме большого разнообразия параметров, определяемых количественными характеристиками, существенное место в определении состояния сложных объектов управления занимают качественные показатели их функционирования, такие как наступление и завершение конкретных событий, различные типы отношений (временные, каузальные, информационные, сравнения) между параметрами, характеризующими объект управления. Использование качественных показателей, являющихся обязательными компонентами описания сложных объектов управления, является достаточно веской причиной для исследования альтернативных методов и моделей спецификации, проектирования и анализа систем управления. Среди возможных альтернативных подходов к решению большого разнообразия задач управления особо следует выделить подход, ориентированный на использование конечноавтоматной модели. Отличительной методологической особенностью такого подхода является использование модели для описания функционирования не проектируемого устройства управления, а объекта, для управления которым устройство управления создается.

Целью статьи является изложение полученных авторами результатов исследования возможности применения конечноавтоматной модели как для первичной спецификации сложных систем управления при неполной информации об объекте управления, так и для разработки принципов построения подобных систем, обеспечивающих улучшение качества управления в процессе функционирования системы.

Чтобы избежать неоднозначности трактовки различных терминов теории управления, приведем содержательные определения основных понятий этой теории в трактовке конечноавтоматной модели [1].

Обобщенная структура конечноавтоматной системы управления (СУ) изображена на рисунке 1. На входы объекта управления (ОУ) в дискретные моменты времени ($t = 0, 1, 2, \dots$) поступают наборы входных признаков, принадлежащих алфавиту $V = X_1 \cup X_3$ и образующих во времени входную последовательность. На выходе ОУ формируется последовательность выходных признаков из множества W , длина которой соответствует длине входной последовательности. Обе последовательности контролируются устройством управления (УУ). Входные наборы из множества X_2 относятся к неконтролируемым входным воздействиям. Реакция ОУ на эти воздействия аналогична реакции на контролируемые входы из множества $X_1 \cup X_3$.

Объект управления осуществляет некоторый технологический процесс, состояние которого зависит как от неуправляемых воздействий окружающей среды ($X_1 \cup X_2$), так и управляющих сигналов (X_3) со стороны УУ. С выхода ОУ снимаются сигналы, характеризующие его реакцию на входные воздействия. Другими словами, поведение ОУ можно охарактеризовать тремя конечными непустыми множествами: $V = \{v_i | i = 1, 2, \dots, n\}$, $W = \{w_j | j = 1, 2, \dots, m\}$, $S = \{s_k | k = 1, 2, \dots, r\}$, определяемыми, соответственно, как множество контролируемых входных воздействий на ОУ, множество реакций ОУ на входные воздействия и множество внутренних состояний ОУ. Динамика поведения ОУ определяется однозначными

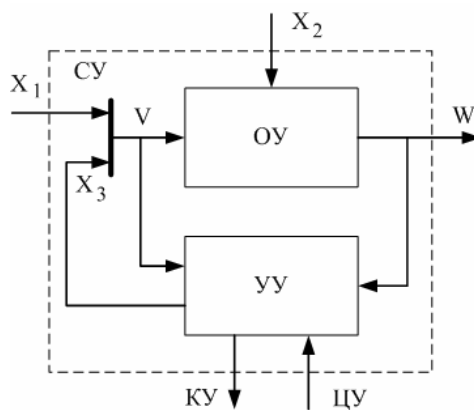


Рисунок 1 – Структурная схема СУ

отображениями $\delta: S \times V \rightarrow S$ и $\lambda: S \rightarrow W$. Неконтролируемый вход X_2 как источник случайных воздействий на ОУ. Влияние этих воздействий на поведение ОУ может быть выражено как искажение входного воздействия за счет наложения сигналов из X_2 на сигналы из множества V .

Управляющее устройство на основе анализа имеющейся информации об ОУ, а также входных воздействий на объект и его реакций на эти воздействия формирует последовательности управляющих сигналов из множества X_3 , которые должны обеспечивать достижение ОУ заданной цели управления.

Цель управления (ЦУ) представляется как последовательность сигналов, которая должна быть получена на выходе ОУ в пределах заданного интервала времени.

Качество управления (КУ) или качество работы СУ представляет собой характеризуемый определенной мерой результат сопоставления последовательности, определяющей ЦУ, с последовательностью, наблюдаемой на выходе ОУ.

Процесс управления объектом есть последовательность актов управления. Для осуществления каждого акта надо уметь предвидеть реакцию ОУ на этот акт, т.е. располагать информацией о возможном поведении ОУ. Другими словами, необходимо иметь модель, которая бы описывала реакцию ОУ на возможные входные воздействия.

Рассмотренное описание СУ в целом и ОУ в частности позволяет сделать вывод о том, что в качестве модели ОУ можно взять конечный автомат [2]

$$A = (Z, Y, A, \varphi, \psi),$$

где Z, Y, A – конечные непустые алфавиты (входной, выходной и алфавит состояний, φ – функция переходов, ψ – функция выходов, причем $\varphi(a_i(t), z_j(t)) = a_k(t+1)$ и $\psi(a_i(t)) = y_s(t)$.

Конечноавтоматная модель определяет отображение слов, составленных из букв входного алфавита, в слова, составленные из букв выходного алфавита. Характер отображения определяется как функциями конечного автомата, так и его начальным состоянием. Под начальным состоянием подразумевается состояние, в котором автомат находился до момента подачи на его вход буквы, определенной как первая буква входной последовательности. Каждая буква входного алфавита конечного автомата есть абстрактное обозначение ситуации на n входах ОУ, где каждый вход $v_i (i = 1, 2, \dots, n)$ – это какая-либо конкретная физическая переменная. Аналогичное отношение существует между буквами выходного алфавита конечного автомата и наборами физических переменных на выходах $w_j (j = 1, 2, \dots, m)$ объекта управления. Для упрощения рассуждений будем полагать, что физические переменные относятся к классу булевских.

К числу задач, решаемых УУ в каждом акте управления, необходимо отнести следующие:

- 1) расшифровка входа (сопоставление совокупности входных параметров, поступающих на вход ОУ, букве входного алфавита конечноавтоматной модели);
- 2) диагностика текущего состояния ОУ;
- 3) поиск частного алгоритма управления (принятие решения о конкретном акте управления) при известной цели управления и вычисленной оценке качества управления;
- 4) формирование управляющих воздействий.

Вполне очевидно, что первоначальных сведений о функционировании ОУ всегда недостаточно. Это значит, что модель ОУ априори известна лишь частично. Отсюда следует, что закон функционирования ОУ (закон управления) может претерпевать изменения в процессе функционирования на каждом акте управления. Оценку качества работы СУ (Q_i) на i -м акте можно представить как степень рассогласования цели управления (G_i) на i -м шаге и реакции ОУ на управляющее слово $p_{0i} = p_{0i-1} \cdot v_i$:

$$Q_i = \xi(G_i, \lambda(\delta(s_0, p_{0i}))) .$$

Относительно функции ξ можно предположить, что выполняется следующее:

$$\xi(G_i, W_i) = 0 \text{ при } G_i = W_i, \quad G_i = (\tilde{g}_1, \tilde{g}_2, \dots, \tilde{g}_m), \quad W_i = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_n); \quad \tilde{g}_j, \tilde{w}_j \in \{0, 1\};$$

$$\text{б) } \xi(G_i, W_i) = \sum_{r=1}^i \Delta r \sum_{j=1}^m \xi(g_j, w_j), \text{ где } \xi(g_j, w_j) = \begin{cases} 0, & \text{если } g_j = w_j \\ 1, & \text{если } g_j \neq w_j \end{cases}, \quad \Delta r \geq 0 \text{ – штраф несоответствия.}$$

Если Δr принять равной 1 для всех r , то функция ξ , определяющая рассогласование двоичных векторов, являющихся элементами последовательностей G_i и $\lambda(\delta(s_0, p_{0i}))$, принимает значение суммарного количества несовпадающих выходных параметров модели ОУ для каждого акта управления.

В общем виде задача управления на i -м шаге может быть сформулирована следующим образом:

определить управляющее слово $p_{0i} \in P_{0i}$, обеспечивающее

$$\min_{p_{0i} \in P_{0i}} \xi(G_i, \lambda(\delta(s_0, p_{0i}))),$$

где p_{0i} – множество слов длины i , переводящих ОУ из начального состояния s_0 в одно из возможных состояний $s_k \in S$, для которого $\lambda(s_k) = W_i$ и $W_i \in W$.

Конкретизируем сформулированную задачу, отталкиваясь от тех сведений об ОУ, которыми располагает УУ. Во-первых, главной составляющей этих сведений является закон функционирования ОУ, представленный в форме его модели (в форме конечноавтоматных функций). Во-вторых, известны множества наборов входных воздействий и множества выходных параметров, характеризующих реакцию ОУ на входные воздействия. И, наконец, в-третьих, задана цель управления G_i .

Первоочередной задачей УУ в этом случае является сопоставление входных и выходных параметров ОУ символам входных и выходных алфавитов конечноавтоматной модели.

Если значения компонент векторов входных воздействий и выходных реакций принимают только два значения (0 или 1), то мощности входного и выходного алфавитов автомата-модели в случае установления взаимно-однозначного соответствия будут определяться величинами 2^n и 2^m , соответственно. Если каждый параметр задается множеством значений большей мощности, то задача установления взаимно-однозначного соответствия между векторами параметров и буквами алфавитов автомата-модели становится слишком громоздкой. Более того, если в какой-либо момент времени тот или иной параметр в результате его измерения принимает незафиксированное значение или в результате воздействия помех искажается, то эта задача становится не только громоздкой, но и бессмысленной. В этом случае следует говорить об установлении соответствия типа

$$\gamma_{vz} : \bigcup_{i \in I} v_i \rightarrow z_k, \quad \gamma_{wy} : \bigcup_{j \in J} w_j \rightarrow y_l,$$

где I, J – подмножества векторов значений соответственно входных воздействий и выходных реакций ($1 \leq |I| \leq |Z|, 1 \leq |J| \leq |Y|$).

Если наборы значений признаков входных воздействий и выходных реакций определены полностью, тогда некоторому множеству векторов сопоставляется буква входного (выходного) алфавита автомата-модели. Если наборы определены частично, тогда букве алфавита модели сопоставляется некоторое подпространство в пространстве признаков. Для установления однозначных соответствий γ_{vz} достаточно пространство признаков представить в виде совокупности ортогональных подпространств $\overline{V_i} (\forall \overline{V_i} \cap \overline{V_j} = \emptyset, i \neq j)$, причем объединение подпространств должно образовывать универсальное пространство признаков ($\bigcup_i \overline{V_i} = V$). Аналогичные утверждения должны быть справедливы и для отображения γ_{wy} .

На рисунке 2 показано соответствие γ_{vz} для $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$ и $Z = \{z_1, z_2, z_3\}$ в случае $v_i \in \{0,1\}$. Пространство $\overline{V_1}$ может быть представлено характеристическим вектором xxv_4 , который отображает каждый из восьми векторов входных воздействий ($\overline{v_1 v_2 v_3 v_4}, \overline{v_1 v_2 v_3 v_4}, \overline{v_1 v_2 v_3 v_4}, \overline{v_1 v_2 v_3 v_4}, \overline{v_1 v_2 v_3 v_4}, \overline{v_1 v_2 v_3 v_4}, \overline{v_1 v_2 v_3 v_4}, \overline{v_1 v_2 v_3 v_4}$) в букву Z_1 входного алфавита модели. Характеристические вектора $xv_2 xv_4$ и $xv_2 xv_4$ сопоставляются Z_2 и Z_3 , соответственно.

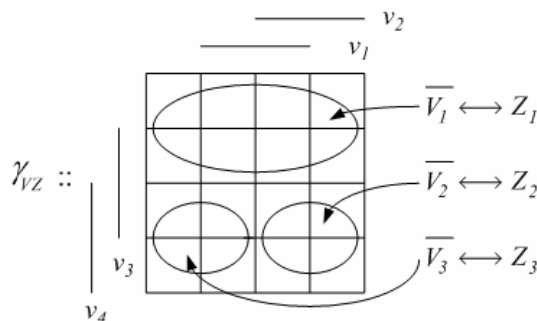


Рисунок 2 – Соответствие векторов входных признаков ОУ буквам входного алфавита Z автомата-модели

Диагностика текущего состояния ОУ может быть произведена, если для ОУ создана его модель, представленная в виде конечного автомата с входным алфавитом Z и выходным Y , причем соответствия $v_i \rightarrow z_i$ и $w_j \rightarrow y_j$ для объекта и модели должны быть взаимно однозначны. Иными словами,

необходимо решить задачу построения множества внутренних состояний УУ, являющихся образами внутренних состояний ОУ, и функций переходов и выходов УУ. Исходной информацией для решения этой задачи является сформулированное на естественном или специальном языке задание поведения ОУ. Процесс преобразования исходной спецификации ОУ в абстрактную модель (абстрактный синтез) необходим в первую очередь для того, чтобы в рамках этой модели доказать непротиворечивость и полноту задания поведения ОУ. Обеспечить полноту задания далеко не всегда представляется возможным. Причиной тому – недостаток сведений о законе функционирования ОУ. Результатом абстрактного синтеза в этом случае является частично определенный конечный автомат.

СУ подобного типа должна быть открытой системой, т.е. системой, позволяющей осуществлять коррекцию своих знаний об ОУ и методах управления им. В процессе функционирования такой СУ можно выделить два этапа – обучения и непосредственно работы. Обучение сводится к коррекции конечноавтоматной модели, основанной на дополнительной информации о поведении ОУ, полученной в процессе его функционирования. Непосредственно работа сводится к задаче выбора управляющего слова или поиска частного алгоритма управления. При этом требуется оценка значений функции $\xi(G_i, \lambda(\delta(s_0, p_{0i})))$ для каждого из состояний, достижимых из начального под воздействием входных последовательностей p_{0i} ($i = 1, 2, \dots$), которые и являются альтернативными управляющими воздействиями на ОУ.

Управляющее устройство СУ представляет собой два взаимодействующих блока:

- 1) модель ОУ – конечный автомат, реализованный аппаратным или программным способом;
- 2) блок реализации алгоритмов решения задач управления.

Структура первого блока (его аппаратная, программная или смешанная реализация) непосредственным образом определяется законом функционирования ОУ [3]. Структура второго блока зависит от состава решаемых задач управления. Алгоритмы решения этих задач и характер их взаимосвязи определяются особенностями как самого ОУ, так и особенностями его взаимодействия с окружающей средой.

Предложенная методика использования конечноавтоматной модели обладает целым рядом положительных свойств (пригодность для спецификации широкого класса СУ, модифицируемость, верифицируемость, автоматизируемость процесса проектирования), которые обеспечивают возможность и эффективность ее применения при проектировании современных систем управления различного назначения.

Задачи, которые подлежат дальнейшим исследованиям, связаны как с разработкой естественно-ориентированного языка спецификации СУ, так и с реализацией процедур синтеза обучающихся УУ.

Библиографический список

1. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
2. Апраксин Ю.К. Основы теории и проектирования цифровых автоматов: учеб. пособие для вузов / Ю.К. Апраксин. — Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2001. — 345 с.
3. Апраксин Ю.К. Аппаратная реализация протоколов распределенных технических систем / Ю.К. Апраксин, Т.В. Волкова // Вестник СевГТУ. Сер. Информатика, электроника, связь: сб. науч. тр. — Севастополь, 2003. — Вып. 47. — С. 71–75.

Поступила в редакцию 17.06.2008 г.