DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.024

КОМПЛЕКС МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СТРУКТУР ИНТЕГРИРОВАННЫХ И КОГНИТИВНЫХ СИСТЕМ

Поляков М.А. к. т. н., доцент

Национальный университет «Запорожская политехника» (Украина)

Аннотация. Рассмотрен комплекс математических моделей операционных и управляющих автоматов и их применение в функциональных структурах интегрированных и когнитивных систем. Модели управляющих автоматов представлены бинарными, не бинарными, недетерминированными, нечеткими конечными автоматами, что позволило расширить информационную базу для выбора воздействий на объект познания или управления. Семантика комплекса названий элементов конечных автоматов также использована в качестве дополнительных знаний для улучшения управления объектом. Модель интегрированной системы представлена в виде иерархии «управлений управлением», что позволило унифицировать структуру и элементный состав системы. Предложенная типовая модель когнитивной системы разбивает ее по вертикали на базу знаний, подсистемы познания, когнитивности и деятельности, а по горизонтали на подсистемы с уровнями управления – от непосредственного до целевого.

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ, ИНТЕГРИРОВАННЫЕ И КОГНИТИВНЫЕ СИСТЕМЫ, УПРАВЛЯЮЩИЕ И ОПЕРАЦИОННЫЕ АВТОМАТЫ.

Вступление. Наиболее обобщенный элементный состав систем технического назначения включает объект управления и управляющее устройство. Интегрированной назовем систему, которая содержит хотя бы один общий элемент двух подсистем выполняющий функцию объекта управления в одной подсистеме и управляющего устройства – в другой. Стремление к расширению информационной базы для управления привело к использованию в этом процессе высших форм знаний подобно тому, как это делает человек – воспринимая, планируя, обучаясь с пониманием своих системных возможностей и целей функционирования системы. Системы, которые имеют такие свойства, называют когнитивными. Анализ показал, что в известных источниках отсутствуют математические модели типовых функциональных структур интегрированных и когнитивных систем, а модели элементов не соответствуют требованиям этих систем, что усложняет процесс проектирования таких систем.

Основной материал. В управляющем устройстве системы выделим операционные (ОА) и управляющие (УА) автоматы и опишем их теоретико-множественном уровне:

$ОА = \{ВхОА, ВыОА, ПрОА\};$

$ВхОА = \langle X_{д}, Y_{уа}, C_{OA}, c_0, f_{ВхОА}\rangle;$

$ВыОА = \langle X_{УА}, Y_{им}, C_{OA}, c_0, f_{ВыОА}\rangle;$

$ПрОА = \langle X_{OA}, Y_{OA}\ C_{OA}, c_0, f_{ПрОА} \rangle;$

$УА = \langle X, Y, S, C_{УА}, s_0, c_0, \delta, \lambda \rangle,$

где *ВхОА, ВыОА, ПрОА* – входной, выходной и промежуточный автоматы; $X_{д}$ – множество входов соединённых с датчиками системы; $Y_{уа}$ - множество выходов соединённых с входами УА, входами *ПрОА, ВыОА*; C_{OA} – множество входов управления; c_0 – начальное управление; $f_{ВхОА}$, $f_{ВыОА}$, $f_{ПрОА}$ – функции преобразования *ВхОА, ВыОА, ПрОА*, соответственно; X, Y, S, $C_{УА}$ – множества входов, выходов, состояний и управлений УА, соответственно; δ, λ, – функции УА: δ – функция переходов; λ – функция выходов. Отметим, что ОА и УА реализуются программно, аппаратно и программно - аппаратно и исполняются в различных программных средах от операционной системы контроллера до приложений человеко-машинного интерфейса. Команды на входах управления автоматов задают их параметры и структуру, что используется в процессах адаптации системы. Известные определения УА не описывают природу элементов множеств автомата, но из анализа поведения автомата следуют бинарные свойства элементов этих множеств, что ограничивает их функциональные возможности. Предложена модель УА с не бинарными (тернарными, n - арными) элементами множеств: $УА = \langle X, Y, S, s_0, C, c_0, F \rangle$, где F – множество функций состояния $F = \{f_i\}$; f_i – множество функций i – го состояния, $f_i = \langle \mu_i, \lambda_i, \sigma_i \rangle$, где μ_i – функция активации; λ_i – функция выходов; σ_i – функция структуры. С помощью этих функций i – е состояние автомата рассматривается одновременно с позиций предыстории входов, текущего состояния выходов и с позиций будущих переходов в другие состояния автомата. Элементы множеств *X, Y, S* принимают значения из множеств V_x, V_y, V_s. Значение *i* –го состояния после активации $V_{si}= \mu_i(n_i,, at, V_{xi},, V_{sj}, R_{ij})$, где n_i – количество значений *i* –го состояния; *at* – тип активации: по максимальному (*at* = 1), приоритетному (*at* = 2) значению или взвешенной сумме (*at* = 3) значений активирующих входов без учета значений прошлых состояний; по максимальному (*at* = 4), приоритетному (*at* = 5) значению или взвешенной сумме (*at* = 6) значений активирующих входов с учетом значений прошлых состояний; V_{xi} – множество значений входов, которые активируют данное состояние; V_{sj} - множество значений состояний, которые связаны с активирующими входами; R_{ij} – расстояние между состояниями S_i и S_j (количество переходов на кратчайшем пути между ними).

Функция выходов λ_i, определяет значения выходов *i* - го состояния в зависимости от значения данного состояния $v_{yi}= \lambda_i(v_{si})$, $v_{yi}\epsilon V_{yi}$, где V_{yi} – множество значений выходов. Значение v_{yi} определяет: вариант (подмножество Y_i) номенклатуры $Y_{iv}(v_{yi})$ исполняемых выходов (λ_i =1), полноту реализации (характеризует некоторый параметр выхода) $B_i(v_{yi})$ (λ_i =2), и временной интервал $[t_{bi}(v_{yi}), t_{ei}(v_{yi})]$ их реализации (λ_i =3), который задается временами начала t_{bi}, и окончания t_{ei} окончания активности выходов. Функция структуры устанавливает подмножество входов автомата $x_{ic}=\sigma(v_{si}, c_i)$, которые разрешены для перехода из *i* - го состояния при его значении v_{si} и управлении c_i.

Таким образом, увеличение арности значений элементов множеств автомата, позволило описать поведение автомата, в котором выходы автомата исполняются не только в активном состоянии, но и в некоторой окрестности состояний. Такое поведение задает последействие состояний после завершения их активности и подготовительные операции выходов перед вероятным или возможным переходом в это состояние. При этом сокращается время выполнения задач автоматом.

С целью расширения базы знаний для выбора эффективных целей, сценариев их достижения, поведений в процессе выполнения сценария, предложена семантическая модель конечного автомата, под которой будем понимать набор высказываний характеризующих семантические отношения между определениями элементов автоматов, содержащимися в названиях этих элементов.

Особенностью информационных процессов в когнитивной системе является наличие кольцевой причинности. Суть ее заключается в том, что управляющее устройство и объект управления соединены в контур. Поэтому, для построения семантической модели управляющего автомата необходимо иметь модели объекта управления, а в ряде случаев, также учитывать модели окружающей среды и модели ненаблюдаемых параметров объекта управления. Формальное описание семантической модели SMS управляющего автомата это система кортежей:

$SMS=<S_a, S_c>; S_i=<N_i, CD_i, KB_i>; N_{ij} = <N_p, N_{pr}, N_f>; KB_{ij}:IF\ CD_i\ THEN\ N_{ik}<=N_{im},$

где S_a, S_c – множество контуров деятельности и управления, соответственно; S_i - множество входящее во множества S_a, или S_c; N_{ij} – комплекс названий j – го элемента в i –м контуре; CD_i – направление причинности в i –м контуре; KB_i – база знаний i – го контура; N_p, N_{pr}, N_f, - множество названий j – го элемента в i –м контуре в стиле предыстории, текущего выбора и пост- истории, соответственно; KB_{ij} – элемент базы знаний j – го элемента в i – м контуре. Выражение $N_{ik}<=N_{im}$ описывает тот факт, что N_{im}, является следствием N_{ik}, где N_{ik}, N_{im}, - знания в форме названий для элементов k и m в i – м контуре. Структура знаний семантической модели системы проанализирована методами логического вывода.

Предложены модели нечетких управляющих автоматов, в которых элементы множеств автомата представлены нечеткими и лингвистическими переменными, а вычисления значений зависящих переменных производится с помощью нечеткого контроллера, с соответствующей базой знаний в виде нечетких продукций, и связанного с памятью текущего и нового состояний. Этот контроллер рассчитывает: нечеткое значение выхода автомата, как функцию нечеткого текущего активного состояния; значение нового (или подтверждение текущего) активного состояния, как функцию актуальных в текущем состоянии входов и значения текущего состояния.

Другим видом неопределенности, которая имплементирована в управляющий автомат, является вероятностная неопределенность. Известные недетерминированные конечные автоматы относятся только к одному классу - автоматов – распознавателей цепочек входных сигналов. При этом используются три способа имплементации вероятностной неопределенности: ε – переходы; множественные переходы; множественные начальные состояния. В дополнение к перечисленным способам, предложено ввести неопределенность в состояния и выходы автомата. С этой целью к обычным значениям состояния (пассивное, активное) добавлено состояние вероятного отказа. Вероятность отказа P определяется с помощью специального операционного автомата. Очевидно, что если вероятность P отказа достаточно мала $(P \leqslant P_{min})$, то вход в состояние по событию X_i разрешен и условие перехода $X_i\&(P \leqslant P_{min})$. При выполнении условия $X_i\&(\ P_{min} < P \leqslant P_{доп})$ вход в состояние разрешен, но деятельность (выходы) в нем может быть ограничена $(Y = f(P))$ по номенклатуре выходов, амплитуде или продолжительности воздействий. При высокой вероятности отказа $P > P_{доп}$ состояние и исходящие из него события исключаются из автомата. Таким образом, сохраняется его функциональность даже при наличии отказавших элементов.

Рассмотренные модели операционных и управляющих автоматов использованы при построении интегрированной и когнитивной системы. Предложена математическая модель функциональной структуры интегрированной системы, формирующей подсистемы по принципу «управление управлением», когда элемент управления на i-м уровне может быть объектом управления на $(i + 1)$ -м или на другом уровне в иерархии управлений, что сделало возможным одновременное учета управляющих воздействий всех подсистем на функционирование конечного объекта управления или познания.

Предложена математическая модель функциональной структуры когнитивной системы в виде древовидной иерархии подсистем непосредственного, сигнального, вычислительного, информационного, когнитивного (уровень знаний), концептуального и целевого управления, взаимодействуют с многоуровневой базой знаний в различных формах от данных к пониманию и мудрости. При этом блоки подсистем различного уровня иерархии управлений объединяются в вертикальные подсистемы познания, когнитивности и деятельности, а структура системы состоит из унифицированных блоков и типична для широкого круга систем, что позволило упростить процесс проектирования когнитивных систем.

В качестве примеров применения предложенных моделей систем можно указать удаленные лаборатории для инженерного обучения и системы

ISSN-online 2708-0102

управления жизненным циклом целлюлозной изоляции маслонаполненного силового трансформатора.

Выводы. Предложен комплекс математических моделей унифицированных элементов и функциональных структур интегрированной и когнитивной систем. Комплекс отличается расширенной информационной базой, видами реализуемых поведений и возможностями структурной и параметрической адаптации системы.

A COMPLEX OF MATHEMATICAL MODELS OF FUNCTIONAL ELEMENTS AND STRUCTURES OF INTEGRATED AND COGNITIVE SYSTEMS

Polyakov Mykhailo

Abstract. The complex of mathematical models of operating and control automata and their application in the functional structures of integrated and cognitive systems is considered. The models of control machines are represented by binary, non-binary, non-deterministic, fuzzy finite-state machines, which allowed expanding the information base for the selection of effects on the object of knowledge or control. The semantics of the complex of names of elements of finite state machines is also used as additional knowledge to improve the management of the object. The integrated system model is presented in the form of a hierarchy of “management controls”, which made it possible to unify the structure and elemental composition of the system. The proposed standard model of a cognitive system breaks it down vertically into a knowledge base, subsystems of cognition, cognitiveness and activity, and horizontally into subsystems with control levels from direct to target.

Keywords: MATHEMATICAL MODELS, FUNCTIONAL STRUCTURES, INTEGRATED AND COGNITIVE SYSTEMS, CONTROL AND OPERATIONAL MACHINES.