

МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ КАТЕГОРИЙ*

*Швецов Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор
Вологодский государственный университет, г. Вологда, Россия*

*Дианов Сергей Владимирович, к.т.н., доцент
Вологодский научный центр Российской академии наук,
г. Вологда, Россия*

Рассматривается математическая модель интеллектуального агента для информационно-телекоммуникационных систем, сочетающая точные и нечеткие продукционные правила. Исследуются возможности теоретического обобщения подобных моделей интеллектуальных агентов на основе теории категорий.

Ключевые слова: Информационно-телекоммуникационные системы, интеллектуальные агенты, нечеткие модели, теоретико-категорный подход, продукционные правила.

Современная интеллектуальная информационно-телекоммуникационная система (ИТС) рассматривается авторами как территориально-распределенная многоуровневая иерархическая совокупность технических средств и программного обеспечения, управляемая агентно-ориентированными системами (АОС), включающими множества интеллектуальных агентов (ИА), обеспечивающая предоставление пользователям системы информационных сервисов, удовлетворяющих критериям качества информационного обмена и взаимодействия.

В соответствии с концепцией иерархического управления сетью связи в виде выделенной сети передачи данных TMN (Telecommunications Management Network) и идеологией OSS (Система поддержки функционирования предприятий связи) Международного союза по электросвязи (МСЭ/ITU) в ИТС выделяются следующие уровни иерархии: сетевых элементов (NE); управления элементами (NEM); управления сетью (NM); управления услугами (SM); административного управления (BM) [1].

Для построения иерархии управления на уровнях NE–NEM–NM предложена модель базового интеллектуального агента (Fundamental Intelligent

Agent – FIA), осуществляющего прием входных сообщений $M_{A_i}^{In}$ в обычном входном языке $L_{A_i}^{In}$ и нечетком входном языке $\tilde{L}_{A_i}^{In}$, создание

* Работа выполнена при поддержке РФФИ – гранты №18-47-350001 p_a, №19-01-00103 A, №17-06-00514A.

сообщений на внутреннем языке (рассуждения, рефлексия) $L_{A_i}^{Int}$, и передачу во внешнюю среду точных и нечетких сообщений в соответствующих языках $L_{A_i}^{Out}$ и $\tilde{L}_{A_i}^{Out}$ (рис. 1).

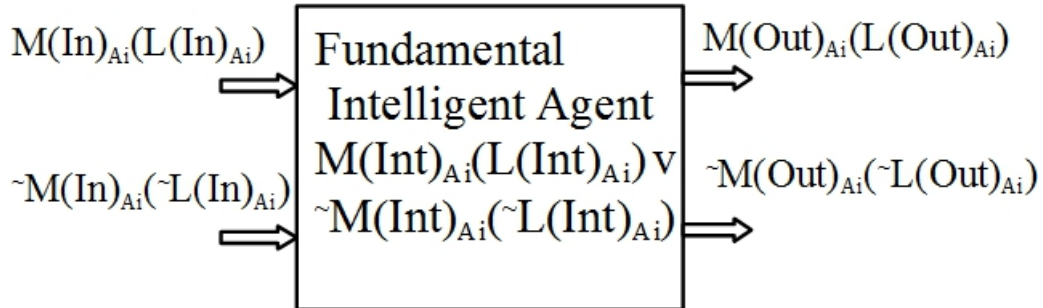


Рис. 1. Схема базового интеллектуального агента ИТС

FIA есть кортеж $FIA = \langle NB, A^o, Q, BM \rangle$, где NB – идентификатор базового агента в ИТС, A^o – множество атрибутов FIA, Q – множество агентов, структурно вложенных в данный, BM – модель поведения базового агента.

Множество атрибутов базового агента определяется как $A^o = \{A, \tilde{A}\}$, где A – множество точных атрибутов FIA, \tilde{A} – множество нечетких атрибутов FIA. Точный атрибут определяется кортежем $A_i = \langle NA_i, SA_i, VA_i \rangle$, где NA_i – имя i -го точного атрибута, SA_i – множество определения атрибута, VA_i – значение атрибута в рассматриваемый момент системного времени t .

Нечеткий атрибут определяется кортежем $\tilde{A}_j = \langle N\tilde{A}_j, X_j, \mu_j(x), x(t) \rangle$, где $N\tilde{A}_j$ – имя j -го нечеткого атрибута, X_j – область определения функции принадлежности нечеткого множества $\{x | \mu(x)\}$ (универсум нечеткого множества атрибута \tilde{A}_j), $x(t)$ – значение элемента универсального множества в рассматриваемый момент системного времени t .

В модели поведения агента $\{R, \tilde{R}\}$ – множество типов принимаемых данным агентом сообщений во входных языках $L_{A_i}^{In}$ и $\tilde{L}_{A_i}^{In}$, $\{T, \tilde{T}\}$ – множество передаваемых данным агентом типов сообщений в выходных языках $L_{A_i}^{Out}$ и $\tilde{L}_{A_i}^{Out}$.

В модели поведения базового агента преобразования выполняются над множествами $A^o = \{A, \tilde{A}\}$, $\{R, \tilde{R}\}$ и $\{T, \tilde{T}\}$. Требуется ввести понятие состояния FIA в модели поведения и выделить два класса состояний в мно-

жестве $\{S\}$: а) состояния, в которых возможен прием элементов множества $\{R, \tilde{R}\}$; б) состояния, в которых невозможен прием $\{R, \tilde{R}\}$.

Необходимые логические взаимоотношения учитываются с использованием множества допустимых предикатов в логике первого порядка $\{Pr\} = (Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_\varphi)$. Для анализа сложных условий и отношений применяются формулы над предикатами F и логические формулы в нечеткой логике \tilde{F} над нечеткими атрибутами и сообщениями.

Алфавит исчисления K_{BM} определяется следующим образом: $A = (\{A, \tilde{A}\}, \{R, \tilde{R}\}, \{T, \tilde{T}\}, \{S\}, \{Pr\}, \&, \vee, (,), \neg, \rightarrow, @, \nabla, \emptyset, 0)$. Алфавит переменных есть $P = (p, q, f, hA)$, где P – последовательность входящих сообщений из множества $\{R, \tilde{R}\}$, q – последовательность выходящих сообщений из множества $\{T, \tilde{T}\}$, f – последовательность формул с предикатами Pr в исчислении предикатов и формул нечеткой логики, hA – список атрибутов базового агента $hA^0 = \{hA, h\tilde{A}\}$.

Аксиома исчисления конфигурируется следующим образом: $Ax = (\emptyset @ S_0 @ hA^0(0) @ \emptyset @ \emptyset)$, где \emptyset означает пустое состояние переменной, $hA^0(0) = \{hA(0), h\tilde{A}(0)\}$ состоит из двух списков

$$hA(0) = \langle NA_1, SA_1, VA_1(0) \rangle; \langle NA_2, SA_2, VA_2(0) \rangle; \dots \langle NA_n, SA_n, VA_n(0) \rangle;$$

$$\text{и } h\tilde{A}(0) = \langle N\tilde{A}_1, X_1, \mu_1(x_1), x_1(0) \rangle; \dots \langle N\tilde{A}_m, X_m, \mu_m(x_m), x_m(0) \rangle;$$

где $VA_i(0)$ – значение i -го точного атрибута в момент времени $t=0$, $x_j(0)$ – значение j -го нечеткого атрибута в момент времени $t=0$, т. е. в момент начала функционирования базового агента.

Модель поведения интеллектуального агента в ИТС определяется средствами формального исчисления, подобного каноническим исчислениям Э.Поста, и содержит следующие схемы правил вывода:

- $$\frac{R_i, p @ S_0 @ hA(0) @ q @ f}{p @ S_i @ hA(R_i) @ q, T_i @ f, F_i};$$
- $$\frac{R_i p @ S_0 @ hA(0) @ q @ f}{\nabla p @ S_i @ hA(R_i) @ q, T_i @ f, F_i};$$
- $$\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f}{p @ S_j @ hA(R_i) @ q, T_j @ f, F_j};$$
- $$\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{p @ S_j @ hA(R_i) @ q, T_j @ f};$$

- $$\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f}{\nabla p @ S_j @ hA(R_i) @ q @ T_j @ f, F_j};$$
- $$\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{\nabla p @ S_j @ hA(R_i) @ q @ f};$$
- $$\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f}{p @ S_j @ hA(R_i) @ q @ T_j @ f, F_j};$$
- $$\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{p @ S_j @ hA(S_i) @ q @ T_j @ f};$$
- $$\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f}{\nabla p @ S_j @ hA(S_i) @ q @ T_j @ f, F_j};$$
- $$\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{\nabla p @ S_j @ hA(S_i) @ q @ T_j @ f},$$

где $\{R, \tilde{R}\}$ – множество принимаемых данным агентом сообщений во входных языках $L_{A_i}^{In}$ и $\tilde{L}_{A_i}^{In}$, $\{T, \tilde{T}\}$ – множество передаваемых данным агентом сообщений в выходных языках $L_{A_i}^{Out}$ и $\tilde{L}_{A_i}^{Out}$, p – последовательность входящих сообщений из множества $\{R, \tilde{R}\}$, q – последовательность выходящих сообщений из множества $\{T, \tilde{T}\}$, f – последовательность формул с предикатами Pr в исчислении предикатов и формул нечеткой логики, hA – список атрибутов базового агента $hA^o = \{hA, \tilde{hA}\}$.

Для построения моделей ИА на различных уровнях системной иерархии ИТС применяется более высокий уровень абстракции с использованием формально-математического аппарата теории категорий [4] и элементов алгебраической теории продукций [5]. При этом antecedentes и консеквенты продукционных правил рассматриваются как кортежи объектов соответствующих категорий. Для каждого сегмента продукции может быть определена собственная категория с соответствующим классом объектов категории и классом допустимых морфизмов.

В данной терминологии пространство поведения ИА, включающее возможные интерпретации для конкретных предметных областей, определяется структурой $\Pi = (\Omega, \Sigma, \Psi, \Theta, \Phi)$, где Ω – категория входящих сообщений, Σ – категория внутренних состояний ИА, Ψ – категория атрибутов ИА, Θ – категория выходящих сообщений, Φ – категория логических формул.

Данным категориям приписывается следующее содержание.

Для категории Ω класс объектов Ob_Ω есть множество $R = (r_i | i = 1, \dots, n; \emptyset, \nabla)$, где r_i – сообщение во входном языке L_{in} , \emptyset – символ пустого множества, ∇ – символ запрета. Класс морфизмов Hom_Ω включает "стирающий" морфизм $\alpha_\Omega : R \rightarrow \emptyset$ и "запрещающий" морфизм $\beta_\Omega : R \rightarrow \nabla$, в качестве единичного морфизма устанавливается $id_R : R \rightarrow R$.

Класс объектов Ob_Σ категории внутренних состояний Σ есть $S = (S_i | i = 1, \dots, m)$. Класс морфизмов Hom_Σ включает единственный морфизм $\alpha_\Sigma : S \rightarrow S$, который играет и роль единичного морфизма $id_S : S \rightarrow S$.

Класс объектов Ob_Ψ категории атрибутов Ψ , в первом приближении, рассматривается как список лингвистических переменных $H = (h_i | i = 1, \dots, l)$, где h_i – строка символов в заданном алфавите атрибутов ИА. Класс морфизмов Hom_Ψ включает единственный морфизм $\alpha_\Psi : H \rightarrow H$, который играет и роль единичного морфизма $id_H : H \rightarrow H$.

Категория Θ включает класс объектов Ob_Θ , которые являются сообщениями выходного языка L_{out} , который в первом приближении можно считать конечным языком $T = (t_i | i = 1, \dots, k; \emptyset)$, где t_i – конкретное предложение входного языка, включая и пустое предложение \emptyset . Тогда Hom_Θ содержит единственный морфизм $\alpha_\Theta : T \rightarrow T$, который играет роль единичного морфизма $id_T : T \rightarrow T$.

Категория логических формул Φ включает класс объектов Ob_Φ , которые являются правильно построенными логическими формулами исчисления высказываний или исчисления предикатов первого порядка $F = (f_i | i = 1, \dots, g; \emptyset)$. Класс морфизмов Hom_Φ содержит единственный морфизм $\alpha_\Phi : F \rightarrow F$, который играет роль единичного морфизма $id_F : F \rightarrow F$.

Дальнейшее исследование теоретико-категорного представления ИА с нечеткими и комбинированными правилами продукций предполагает построение функторов, преобразующих объекты одной категории в объекты другой категории, что позволит построить модели эволюционирующих и саморазвивающихся информационно-телекоммуникационных систем.

Список литературы

1. Перспективные технологии инфокоммуникационного взаимодействия / Н. А. Верзун, М. О. Колбанев, А. В. Омелян. СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2017. – 76 с.
2. Распределенные интеллектуальные информационные системы и среды: монография / А.Н. Швецов, А.А. Суконщиков, Д.В. Кочкин и др.; под ред. А.Н. Швецова и А.А. Суконщикова. – Курск: Изд-во "Университетская книга", 2017. – 197 с.

3. Shvetcov A. Models of neuro-fuzzy agents in intelligent environments / *Procedia Computer Science* 103 (2017). – pp. 135 – 141.
4. Маклейн С. Категории для работающего математика / Перевод с англ. под ред. В.А. Артамонова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 352 с.
5. Zhozhikashvili A.V., Stefanuk V.L. Theory of Category Approach to Knowledge Based Programming. 11th Joint Conference, JCKBSE 2014, Volgograd, Russia, September 17–20, 2014, pp. 735–746.