



ФОРМАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ КАТЕГОРИЙ

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №18-47-350001 р_а и грант №19-01-00103 А

Обсуждаются принципы формализации интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем (ИИТС), связанные с концепцией иерархического управления сетью связи. Определяются пространства поведения, эволюции и функторов в теоретико-категорной модели интеллектуального агента ИИТС.

Информационно-телекоммуникационные системы, модели интеллектуальных агентов, категории, морфизмы, функторы, пространство эволюции.

Интеллектуальные ИТС следует рассматривать как территориально-распределенные многоуровневые иерархические структуры технических средств и программного обеспечения, управляемые агентно-ориентированными системами (АОС), включающими множества интеллектуальных агентов (ИА). Функционирование ИИТС направлено на обеспечение работы информационных сервисов, удовлетворяющих критериям качества информационного обмена и взаимодействия [1].

На основе анализа функционирования ИИТС и исследований интеллектуальных агентно-ориентированных систем [2, 3], учитывающих свойства неполноты, нечеткости, стохастичности сложных распределенных сред, формулируются следующие принципы формализации ИИТС в нейро-нечеткой агентно-ориентированной парадигме:

1. Принцип увеличения нечеткости (неполноты) с ростом уровня интеллектуальной иерархии в ИИТС и соответствия степени нечеткости (неполноты) уровню интеллектуальной иерархии, устанавливающий, что на уровне непосредственного взаимодействия ИИТС с аппаратными компонентами инфокоммуникационной среды наблюдается минимально-допустимый уровень нечеткости (неполноты), ограничиваемый требованиями целостности ИИТС и функционального соответствия компонентов системы и моделей из поведения целям существования и функционирования ИИТС.

С ростом уровня интеллектуальной системной иерархии в ИИТС степень нечеткости (неполноты) может возрастать, обеспечивая вариативность развития системы, возможность принятия адекватных решений по управлению ИИТС и эволюции интеллектуальных моделей соответствующего уровня.

2. Принцип постоянного изучения ИИТС утверждает необходимость постоянного (в течение всего жизненного цикла ИИТС) исследования динамики состояний ИИТС, информационных потоков и качества обслуживания посредством моделирования, накопления данных и извлечение знаний в процессе функционирования ИИТС.

3. Принцип саморазвития и эволюции ИИТС требует учета эволюционных изменений в структуре и поведении компонентов системы, возможностей самосовершенствования ИА и возникновения новых организаций и сообществ ИА.

4. Принцип многоуровневой интеллектуальной организации ИА в ИИТС устанавливает требование адекватного отражения в моделях ИИТС существующей в изменчивой действительности интеллектуальной и организационной иерархии и создания агентов соответствующего интеллектуального уровня, распределяемых по слоям и уровням представления ИИТС.

5. Принцип обучения и самообучения агентов ИИТС на основе анализа и выявления знаний о состояниях и поведении компонентов системы и изменения требований пользователей постулирует возможность и необходимость создания моделей ИА, включающих механизмы обучения и самообучения, привлечения агентов управления процессами обучения в ИИТС.

6. Принцип множественности форм и ролей ИА в ИИТС, устанавливающий возможность использования ИА, построенных на базе различных формально-математических и архитектурных моделей, и изменения сценариев поведения, реализуемых в рамках выполняемых ролей агентов в результате процессов обучения и самообучения.

7. Принцип неопределенности («размытости») времени и состояний в ИИТС постулирует существование и функционирование компонентов ИИТС в присущих им индивидуальных потоках времени (темпомирах), невозможность точного знания собственных времен и состояний всех компонентов ИИТС.

8. Принцип метаинтеллектуального моделирования компонентов ИИТС, предполагающий на основе принципов постоянного изучения и саморазвития и эволюции ИИТС формирование моделей новых нейро-нечетких ИА для их последующего воплощения на соответствующих уровнях управления ИИТС.

**УРОВНИ СТРУКТУРНО-ИЕРАРХИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ (ТКС)**

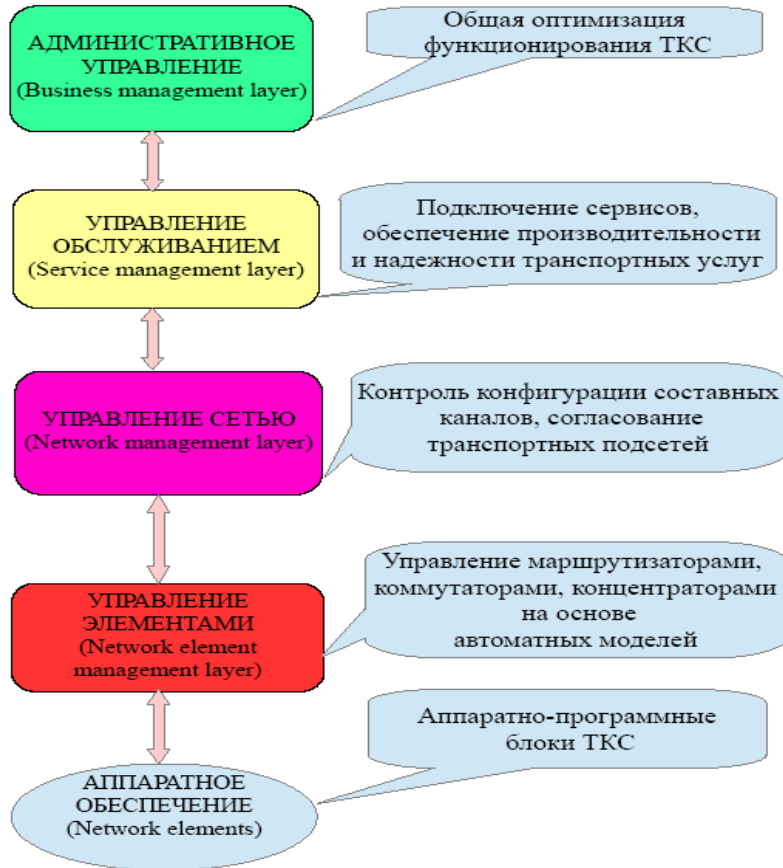


Рис. 1. Уровни управления в ИИТС

**ПРОЕКЦИИ И УРОВНИ УПРАВЛЕНИЯ В
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ**

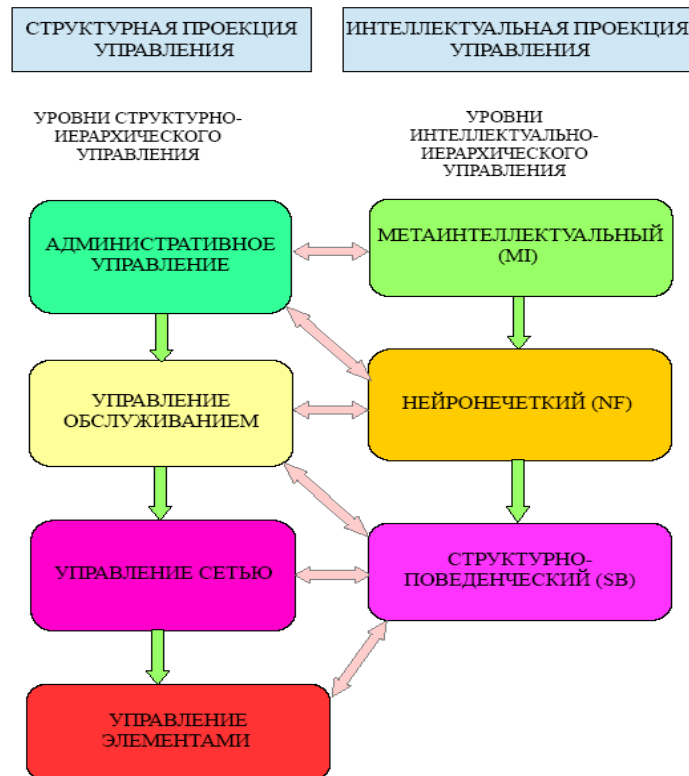


Рис. 2. Структурная и интеллектуальная проекции управления ИИТС

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 существуют следующие уровни иерархии: сетевых элементов (NE); управления элементами (NEM); управления сетью (NM); управление услугами (SM); административного управления (BM) (рис. 1).

Предлагается исследовать ИИТС как сложную систему, описываемую проекциями структурно-иерархического и интеллектуально-иерархического управления (рис. 2).

В интеллектуальной иерархии выделяются три уровня:

1. Структурно-поведенческий уровень (structural behavior level – SB), использующий концептуальные модели предметной области, представленные в традиционных формах представления знаний (логические исчисления, продукционные системы, семантические сети, фреймы, сценарии).

2. Нейро-нечеткий уровень (neuro-fuzzy level – NF), использующий нейро-нечеткие модели представления модельного пространства мира, реализующий методы динамического извлечения и накопления знаний на базе информации, предоставляемой структурно-поведенческим уровнем.

3. Метаинтеллектуальный уровень (meta-intellectual level – MI), использующий модели формирования нейро-нечетких моделей, предполагающие мета моделирование динамически порождаемых нейро-нечетких моделей второго уровня, их оценку и принятие решения о воплощении их в действующие нейро-нечеткие модели второго уровня обобщенной нейро-нечеткой архитектуры (ОННА).

На основании принципов формализации ИИТС построена модель базового интеллектуального агента (Fundamental Intelligent Agent – FIA), являющегося прототипом для интеллектуальных агентов структурно-поведенческого и нейро-нечеткого уровня и осуществляющего прием входных сообщений в обычном входном языке и нечетком входном языке, создание сообщений во внутреннем языке (рассуждения, рефлексия), который может быть как обычным, так и нечетким, и передачу во внешнюю среду точных и нечетких сообщений в соответствующих языках[4, 5].

Классификация множеств возможных видов FIA представлена на рисунке 3.

Интеллектуальный агент ИИТС описывается как кортеж: $FIA = \langle NB, A^o, G, BM \rangle$, где NB – идентификатор интеллектуального агента в ИИТС, A^o – множество атрибутов FIA, G – множество базовых агентов, подчиненных данному ИА, BM – модель поведения ИА.

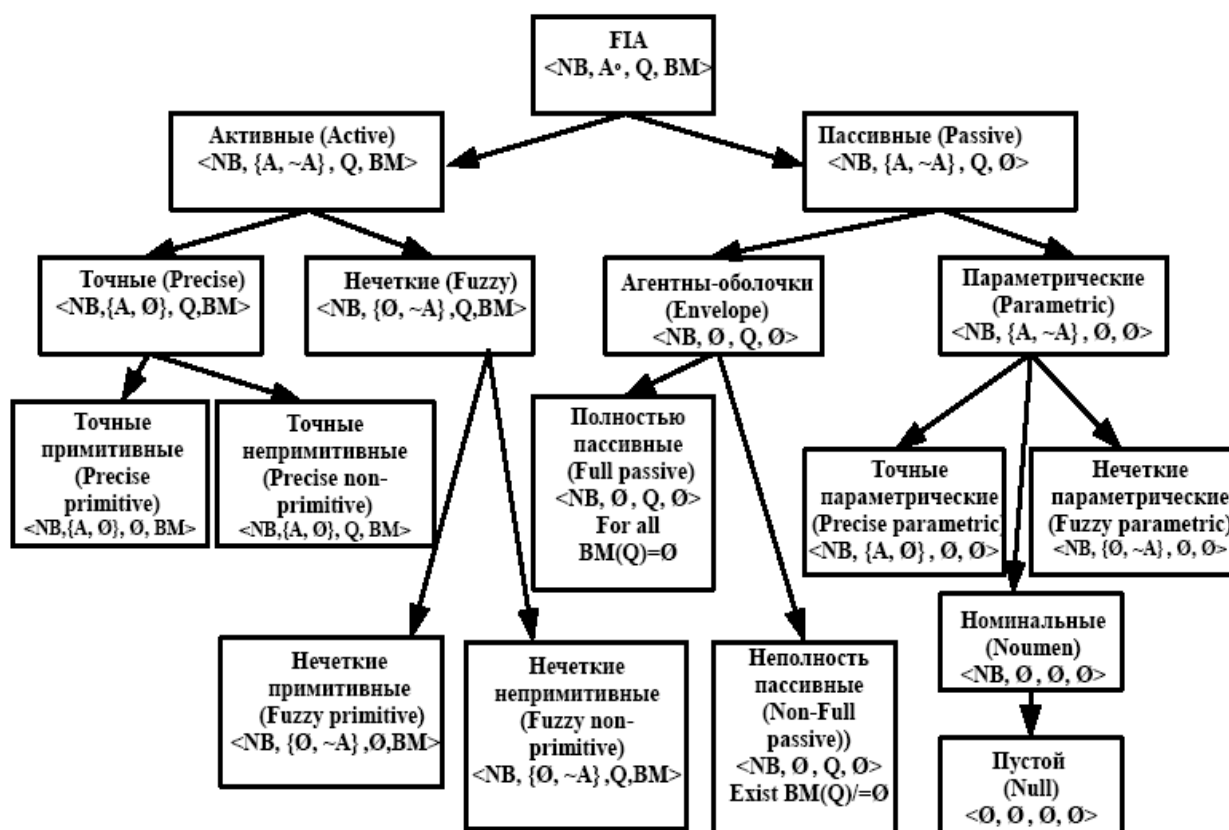


Рис. 3. Классификация интеллектуальных агентов по модели FIA

Модель поведения ИА определяется формальным исчислением в парадигме Э. Поста, и содержит следующие схемы правил вывода:

- 1) $\frac{R_i, p @ S_0 @ hA(0) @ q @ f}{p @ S_i @ hA(R_i) @ q, T_i @ f, F_i}$;
- 2) $\frac{R_i p @ S_0 @ hA(0) @ q @ f}{\nabla p @ S_i @ hA(R_i) @ q, T_i @ f, F_i}$;
- 3) $\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f}{p @ S_j @ hA(R_i) @ q, T_j @ f, F_j}$;
- 4) $\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{p @ S_j @ hA(R_i) @ q, T_j @ f}$;
- 5) $\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f}{\nabla p @ S_j @ hA(R_i) @ q, T_j @ f, F_j}$;
- 6) $\frac{R_i p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{\nabla p @ S_j @ hA(R_i) @ q @ f}$;
- 7) $\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f}{p @ S_j @ hA(R_i) @ q, T_j @ f, F_j}$;
- 8) $\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{p @ S_j @ hA(S_i) @ q, T_j @ f}$;
- 9) $\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f}{\nabla p @ S_j @ hA(S_i) @ q, T_j @ f, F_j}$;
- 10) $\frac{\nabla p @ S_i @ hA @ q @ f, F_i}{\nabla p @ S_j @ hA(S_i) @ q, T_j @ f}$,

где $\{R, \tilde{R}\}$ – множество принимаемых данным ИА сообщений во входных языках $L_{A_i}^In$ и $\tilde{L}_{A_i}^In$, $\{T, \tilde{T}\}$ – множество передаваемых ИА 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 $hA^o = \{hA, h\tilde{A}\}$.

Формально-математический аппарат теории категорий [6] позволяет исследовать модели ИА более высокого уровня абстракции, antecedentes и консеквенты продукционных правил рассматриваются как кортежи объектов соответствующих категорий. Для каждого сегмента продукции определяется собственная категория с соответствующим классом объектов категории и классом допустимых морфизмов.

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.

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 является и единичным морфизмом $id_S : S \rightarrow S$.

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 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 $id_F : F \rightarrow F$.

В пространстве поведения ИА выделяются состояния пространства $\hat{\Pi}_i$, определяемые конкретными комбинациями пар объектов и морфизмов в соответствующих категориях:

$$\hat{\Pi}_i = \langle (O_{i\Omega}, h, H, \alpha_\Omega), (O_{i\Sigma}, h, H, \alpha_\Sigma), (O_{i\Psi}, h, H, \alpha_\Psi), (O_{i\Theta}, h, H, \alpha_\Theta), (O_{i\Phi}, h, H, \alpha_\Phi) \rangle.$$

Множества объектов всех категорий являются перечислимыми множествами, индекс i в каждой категории может иметь собственное значение. В пространстве поведения конкретного ИА выделяются два подмножества: допустимых состояний $\hat{\Pi}_D$, в которых ИА может находиться в процессе своего функционирования, и недопустимых состояний $\hat{\Pi}_N$, в которых ИА не должен находиться.

Для изменения модели поведения ИА к категориям пространства $\Pi = (\Omega, \Sigma, \Psi, \Theta, \Phi)$ предлагается применять функторы, преобразующие исходные категории в новые, необходимые для решения задач целесообразного поведения ИА. Таким образом, совокупность возможных пространств поведения ИА следует определить как пространство эволюции E :

$E = \bigcup_{i=1}^n \Pi_i$ – при конечном числе возможных пространств поведения,

$E = \bigcup_{i=1}^{\infty} \Pi_i$ – при бесконечном числе возможных пространств поведения ИА.

Поскольку функторов, изменяющих пространство поведения ИА может быть несколько, то целесообразно рассматривать и пространство функторов $F = (F_{\Omega}, F_{\Sigma}, F_{\Psi}, F_{\Theta}, F_{\Phi})$, где $F_{\Omega} = (F_{j\Omega} | j = 1, \dots, m_{\Omega})$, $F_{\Sigma} = (F_{j\Sigma} | j = 1, \dots, m_{\Sigma})$, $F_{\Psi} = (F_{j\Psi} | j = 1, \dots, m_{\Psi})$, $F_{\Theta} = (F_{j\Theta} | j = 1, \dots, m_{\Theta})$, $F_{\Phi} = (F_{j\Phi} | j = 1, \dots, m_{\Phi})$.

Конкретное состояние пространства функторов можно определить как кортеж $\hat{F}_j = \langle F_{j\Omega}, F_{j\Sigma}, F_{j\Psi}, F_{j\Theta}, F_{j\Phi} \rangle$, индекс j может принимать различное значение в различных группах функторов.

Развитие теоретико-категорной формализации ИА с нечеткими и комбинированными правилами продукции, построение возможных траекторий поведения интеллектуальных агентов ИТС в пространствах E и F позволят исследовать модели компонентов эволюционирующих и саморазвивающихся информационно-телекоммуникационных систем на различных уровнях управления.

A.N. Shvetsov
Vologda State University

FORMALIZATION OF INTELLECTUAL INFORMATION-TELECOMMUNICATION SYSTEMS BY MEANS OF MATHEMATICAL TOOL OF THE CATEGORY THEORY

The principles of formalizing intelligent information and telecommunication systems (IITS) related to the concept of hierarchical management of a communication network are discussed. Spaces of behavior, evolution, and functors are determined in the category-theoretical model of the intellectual agent IITS.

Information and telecommunication systems, models of intelligent agents, categories, morphisms, functors, evolution space.

Литература

1. Перспективные технологии инфокоммуникационного взаимодействия / Н. А. Верзун, М. О. Колбанев, А. В. Омелян. – Санкт-Петербург : СПбГЭУ, 2017. – 76 с.
2. Суконщиков, А. А. Информационные сети и телекоммуникации / А. А. Суконщиков, Д. В. Кочкин. – Курск : Университетская книга, 2016. – 223 с.
3. Швецов, А. Н. Распределенные интеллектуальные информационные системы и среды : монография / А. Н. Швецов, А. А. Суконщиков, Д. В. Кочкин [и др.]. – Курск : Университетская книга, 2017. – 197 с.
4. Ситуационные интеллектуальные системы поддержки принятия решений : монография / А. Н. Швецов, А. А. Суконщиков, Д. В. Кочкин [и др.] ; под редакцией А. Н. Швецова и А. А. Суконщикова. – Курск : Университетская книга, 2018. – 251 с.
5. Shvetsov, A. Models of neuro-fuzzy agents in intelligent environments / Anatoliy Shvetsov // Procedia Computer Science. – 2017. – 103. – P. 135 – 141.
6. Маклейн, С. Категории для работающего математика : перевод с английского / С. Маклейн ; под редакцией В. А. Артамонова. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 352 с.