

Швецов Анатолий Николаевич

Доктор технических наук, профессор,
Вологодский государственный университет
(Вологда, Россия)
E-mail: smithv@mail.ru

Shvetsov Anatoliy Nikolaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Vologda State University
(Vologda, Russia)
E-mail: smithv@mail.ru

Дианов Сергей Владимирович

Кандидат технических наук,
Вологодский государственный университет
(Вологда, Россия)
E-mail: dianov.sv@mail.ru

Dianov Sergey Vladimirovich

PhD in Technical Sciences,
Vologda State University
(Vologda, Russia)
E-mail: dianov.sv@mail.ru

Суконщиков Алексей Александрович

Кандидат технических наук, доцент,
Вологодский государственный университет
(Вологда, Россия)
E-mail: avt@vstu.edu.ru

Sukonschikov Aleksey Aleksandrovich

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Vologda State University
(Vologda, Russia)
E-mail: avt@vstu.edu.ru

**АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ
ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ¹**

**AGENT-ORIENTED APPROACH
TO THE CONSTRUCTION
OF INTELLECTUAL INFORMATION-
TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

Аннотация. Рассматривается проблема повышения интеллектуального уровня современных информационно-телекоммуникационных систем (ИТС) на основе агентно-ориентированного подхода. Предлагается математическая модель комбинированного интеллектуального агента, использующего точные и нечеткие правила в продукционной модели поведения. Обсуждаются возможности теоретико-категорного представления моделей подобных интеллектуальных агентов и последующей формализации эволюционного развития агентных сообществ.

Abstract. Our research deals with the improvement of the intellectual level of modern information-telecommunication systems (ITS) on the basis of agent-oriented approach. One suggests the mathematical model of the combined multi-agent system that operates precise and neuro-fuzzy rules in the productive model of behavior. One discusses the options of theoretical-categorical representation of the models of such multi-agent systems and the options of the further formalization of agents' communities evolutionary development.

Ключевые слова: информационно-телекоммуникационные системы, интеллектуальные агенты, нечеткие модели, продукционные правила

Keywords: information and telecommunication systems, multi-agent systems, models of neuro-fuzzy agents, production rules

¹ Работа поддержана грантами РФФИ № 18-47-350001 р-а и №17-06-00514 А

Введение

Современные информационно-телекоммуникационные системы (ИТС) представляют собой сложные территориально-распределенные иерархические программно-аппаратные комплексы, перерабатывающие большие информационные потоки, осуществляющие сбор, обработку, хранение, передачу и защиту информации от множества гетерогенных источников [1], [6].

Одной из важнейших задач развития ИТС становится интеграция между системами управления сетью, корпоративными информационными системами (КИС), обеспечивающими задачи поиска, обработки, хранения и защиты информации, системами поддержки принятия решений (СППР), которые помогают принять решение ЛПР по управлению ИТС, и системами моделирования функционирования ИТС.

Интеграция приобретает большое значение как одно из средств объединения управляющих и моделирующих приложений с КИС и СППР. Она предоставляет верхнему звену управления сетью возможности по обработке данных в задачах моделирования различных процессов в сети, выступая в роли средства планирования, контроля и оптимизации различных сетевых операций и процессов обработки информации [3], [14].

Исследованию данной проблемы посвящены работы А. Н. Верзун, В. М. Вишневого, В. В. Касаткина, М. О. Колбанева, А. В. Омелян, Б. Я. Советова, Т. М. Татарниковой, В. В. Цехановского, С. А. Яковлева, М. J. Creaner, J. Terrell, G. K. Siddesh [1]–[3], [12]–[14]. Трудности, связанные с решением проблемы анализа, моделирования и построения ИТС в условиях расширения глобального информационного общества, обусловлены следующими факторами:

- наличие большого числа взаимосвязанных подсистем (компонентов) со сложными структурными и функциональными отношениями между ними;
- жизнедеятельность отдельных подсистем не носит самостоятельного характера и обусловлена их местом в системе в целом;
- функционирование отдельных подсистем происходит асинхронно, правила их взаимодействия описываются сложными логическими выражениями;
- неопределенность поведения отдельных подсистем может носить как вероятностный, так и нечеткий характер.

В последние годы для решения задач моделирования, управления и развития ИТС применяются модели интеллектуальных агентов и формально-математические методы агентно-ориентированных систем (АОС).

Основная часть

1. Методы решения задач интеллектуализации в распределенных системах

В современных инфокоммуникационных системах широкое распространение получают программные интеллектуальные агенты (ИА), способные управлять сложными объектами в изменяющихся условиях без прямого участия человека. Такие программные агенты могут объединяться в сообщества для совместного решения возникающих проблем и адаптации к новым условиям внешней среды.

В начале XXI века был предложен ряд моделей нейро-нечетких ИА, представленных в работах В. Г. Редько, Г. Н. Рапопорта, А. Г. Герца [4]–[5], R. S. T. Lee, A.-J. Fougères, E. Ostrosi, F. Herrera и др. [8]–[11]. Рассмотренные в этих исследованиях

модели ИА показали приемлемые теоретические и экспериментальные результаты в условиях относительно небольших дискретных сред и систем с использованием известных методов обучения нейронных сетей (обучение с подкреплением, обратное распространение ошибки, теория хаоса). В то же время реальное использование подобных моделей становится затруднительным в условиях сложных распределенных информационных сред и систем, в которых известные методы обучения трудноприменимы вследствие экспоненциального роста пространства состояний. Для преодоления этих ограничений требуется разработка иерархических нейро-нечетких моделей агентов, способных к самообучению в условиях динамической гетерогенной информационной среды.

Увеличение сложности мультиагентного взаимодействия и управления, вызываемое ростом объемов ИТС, изменением топологии связей, запаздываниями при определении состояния ИА и ИТС, предполагает исследование возможностей взаимодействия, организации и самоорганизации ИА в саморазвивающемся сообществе, управляющие функционированием и развитием ИТС с обеспечением требуемых показателей качества обработки информации на основе моделей нечетких и нейронных ИА.

В последние десятилетия сформировался ряд научных направлений, ориентированных на исследование, описание и формализацию процессов саморазвития и самоорганизации в искусственных технических системах.

Исследования В. Г. Редько в области адаптивного поведения [5] направлены на моделирование формальных законов жизни и систем управления, с опорой на компьютерные и математические модели, использующие эволюционные концепции. Схемы управления адаптивным поведением тестируются на модельных программных агентах или реальных роботах, что придает данному направлению определенную достоверность и надежность.

В. Г. Редько постулирует феноменологический подход к исследованию адаптивного поведения, считая, что модели поведения можно отделить от их физической (микроскопической) реализации. В большинстве моделей предполагается, что существуют формальные правила адаптивного поведения, и эти правила не обязательно связаны с конкретными микроскопическими нейронными или молекулярными структурами, которые есть у живых организмов.

На рубеже 80–90-х гг. XX века появилось новое направление исследований в области искусственного интеллекта, нацеленное на изучение и моделирование процессов самоорганизации в биологических и технических системах, получившее название «Искусственная жизнь» (Artificial Life) (ИЖ).

Возникновение и функционирование генетических регуляторных систем исследуется в работах S. A. Kauffman, в которых предложена *NK*-автоматная модель [9]. В экспериментах с этой моделью исследуются последовательности смены состояний автомата, состоящего из N логических элементов. В среднем элемент имеет K входов, соединенных с выходами других элементов.

В России исследования в данном направлении проводятся под руководством В. Г. Редько, близкими по тематике являются работы таких исследователей, как В. М. Курейчик, В. В. Курейчик, Л. А. Гладков, Н. П. Вашкевич. Сторонники этого направления стремятся построить формальные модели организации жизни и иссле-

довать различные (возможно более общие) формы жизни, отличные от известных в биологии.

Модели ИЖ сосредотачиваются на эволюции и формировании поведения достаточно простых искусственных организмов, не затрагивая формирования ментальных моделей. В моделях «сильной» (strong artificial life) искусственной жизни динамика биологических систем воспроизводится в небιологической среде: аппаратной, программной либо аппаратно-программной.

Таким образом, сложились условия для исследования теоретических моделей и методов, разработки алгоритмов и программных средств построения саморазвивающихся интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем, основанных на принципах мультиагентного подхода, эволюции в искусственных системах, нейро-нечетких моделях интеллектуальных агентов.

2. Модель базового интеллектуального агента ИТС

В динамической гетерогенной информационной среде, над которой создается ИТС, функционируют многочисленные узлы порождения, обработки и передачи информации, как обладающие собственным автономным поведением, так и играющие пассивную роль в поведении других компонентов, которые в общем случае, в рамках агентно-ориентированной парадигмы, можно считать агентами с интеллектуальными способностями различного уровня.

Исследуя функционирование таких агентов в информационном аспекте, можно считать, что воспринимаемые агентом сигналы, состояния, события внешней по отношению к агенту среды следует рассматривать как сообщения в некотором формальном языке (входной язык агента), а оказываемые на внешнюю по отношению к агенту среду воздействия – сообщениями в другом формальном языке (выходной язык агента), которые при осуществлении реального физического воздействия на окружающий мир преобразуются в физические сигналы (электрические, механические и т.д.) соответствующими программно-аппаратными средствами. Действия же по изменению принадлежащих агенту структур данных и знаний следует считать сообщениями во внутреннем языке агента.

Принимаемые ИА сообщения могут носить как определенный, так и неопределенный (нечеткий) характер. На уровне аппаратных, технических средств входные сигналы могут быть достаточно точно известны (измерены техническими средствами, вычислены с определенной погрешностью) и, соответственно, будут характеризоваться обычными (точными) множествами. На более высоких уровнях интеллектуальной иерархии ИТС возникают сообщения и сигналы, об их значении можно говорить только с некоторой степенью уверенности/определенности, их целесообразно охарактеризовать нечеткими переменными, принимающими значения на соответствующих нечетких множествах (рис. 1). В данных обозначениях агент A_i принимает входные сообщения $M_{A_i}^{In}$ в обычном входном языке $L_{A_i}^{In}$ и в нечетком входном языке $\tilde{L}_{A_i}^{In}$, порождает сообщения во внутреннем языке $L_{A_i}^{Int}$, который может быть как точным, так и нечетким, и выдает во внешнюю среду соответствующие сообщения точного вида в языке $L_{A_i}^{Out}$ и нечеткие в языке $\tilde{L}_{A_i}^{Out}$.

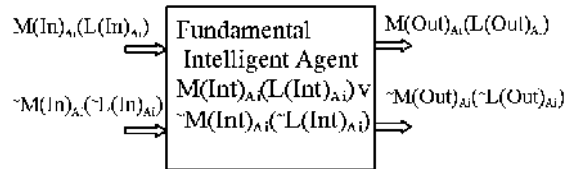


Рис. 1. Схема базового интеллектуального агента ИТС

По аналогии с традиционными интеллектуальными агентами построим формальную модель базового ИА, сочетающего возможности точной и нечеткой обработки информации и организации поведения.

Базовым ИА (fundamental intelligent agent – FIA) называется кортеж $FIA = \langle NB, A^o, Q, BM \rangle$, где NB – идентификатор базового агента в системе, удовлетворяющий соглашению об именах, A^o – множество атрибутов FIA, Q – множество базовых агентов, вложенных в данный в смысле структурного вложения, 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 .

Для формализации модели поведения агента установим: $\{R, \tilde{R}\}$ – 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 множестве $\{S\}$:

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

Так как в модели поведения необходимо учитывать соотношение атрибутов и содержание принимаемых агентом сообщений, то необходимо введение предикатов,

образующих множество допустимых предикатов в логике первого порядка $\{Pr\} = (Pr1, Pr2, \dots, Pr\varphi)$.

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 $hA^o = \{hA, h\tilde{A}\}$.

Аксиома исчисления конфигурируется следующим образом:

$Ax = (\emptyset @ S_0 @ hA^o(0) @ \emptyset @ \emptyset)$, где $\emptyset$ означает пустое состояние переменной, $hA^o(0) = \{hA(0), h\tilde{A}(0)\}$ состоит из двух списков

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

$$h\tilde{A}(0) = \langle N\tilde{A}_1, X_1, \mu_1(x_1), x_1(0) \rangle; \langle N\tilde{A}_2, X_2, \mu_2(x_2), x_2(0) \rangle; \dots \langle N\tilde{A}_m, X_m, \mu_m(x_m), x_m(0) \rangle;$$

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.

Правила вывода для исчисления K_{BM} создаются как схемы, так как в конкретной модели поведения возможно различное количество правил вывода, имеющих вид, удовлетворяющий данным схемам:

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

Здесь $R_i = (R_l, \tilde{R}_k)$, $T_j = (T_p, \tilde{T}_q)$, $F_j = F_j(F_e, \tilde{F}_r(W_r))$, где W_r – степень истинности нечеткой формулы, при которой нечеткая логическая функция становится активной и используется при выполнении правила.

Схемы 1 и 2 задают правила, выводящие из состояния S_0 в состояния типа a и b соответственно. Для обозначения невозможности обработки входной последовательности R_i используется служебный символ ∇ . В этих схемах порождаются выходящие сообщения T_i и формула F_i , при этом возможно, что $T_i = \emptyset$ и $F_i = \emptyset$, что позволяет избежать лишних схем вывода.

Схемы 3 и 4 определяют переходы из состояний типа a в состояния типа a , с анализом истинности F_i или без такого анализа. Допускается также, что в F_i может быть задана формула $\neg F_i$, т. е. проверяется истинность отрицания некоторой формулы. Обработанная формула F_i исключается из дальнейшего процесса вывода. При циклическом поведении базового агента необходимая формула может снова порождаться схемами 3.

Схема 5 задает переход из состояния типа a в состояние типа b без анализа F_i , а схема 6 – с анализом F_i . Схемы 7, 8 определяют переходы из состояний типа b в состояния типа a , а схемы 9 и 10 из состояний типа b в состояния типа b . В этих схемах правил закладывается возможность возврата в состояние S_0 и остановка при переходе в такое состояние S_j , из которого нет возможности дальнейшего вывода.

В схемах правил вывода 1–10 в общем виде задаются функциональные преобразования $hA(S_i) = \{hA(S_i), h\tilde{A}(S_i)\}$, которые можно определить как преобразования над значениями атрибутов $VA_1(t), VA_2(t), \dots, VA_n(t)$ и $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$.

Классификация множеств возможных видов FIA представлена на рис. 2.

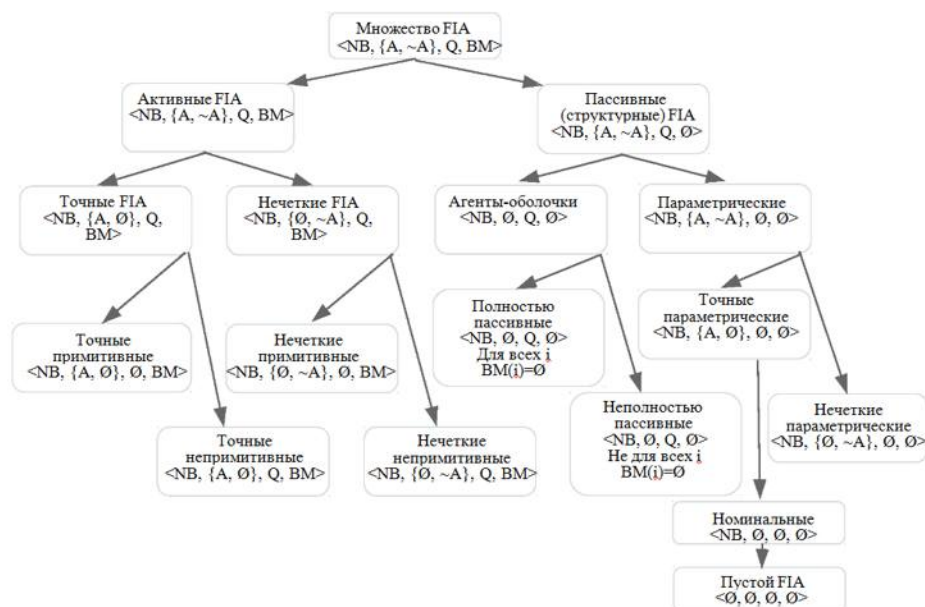


Рис. 2. Классификация базовых интеллектуальных агентов

3. Направление дальнейших исследований

Предлагаемая научная идея развития исследований агентно-ориентированных ИТС заключается в том, чтобы определить и формализовать процессы эволюции и саморазвития нейро-нечетких интеллектуальных агентов (ННИА) и формирующихся из них сообществ ННИА в распределенных ИТС посредством продукционных механизмов, задающих правила возможных преобразований продукционных моделей поведения ННИА и их сообществ на разных уровнях системной иерархии.

Предлагается определять структуру и поведение ННИА и их сообществ с помощью двух взаимосвязанных систем продукций (исчислений, трактуемых в духе канонических исчислений Э. Поста и квазиканонических исчислений Н. А. Шанина). Структурное исчисление определяет множества воспринимаемых и обрабатываемых ННИА конструктивных объектов (точных и нечетких), параметры и ограничения нейронной структуры для ННИА, возможные правила эволюции структуры ННИА и условия запуска и применимости правил эволюции.

При этом правила эволюции могут применяться как к отдельным сегментам посылок продукционных правил (антецедентам) и различным комбинациям сегментов, так и к антецедентам и консеквентам в совокупности, создавая широкие возможности вариации структуры ННИА. Поведенческое исчисление определяет правила преобразований над конструктивными объектами, воспринимаемыми ННИА, и, соответственно, возможные правила эволюции модели поведения ННИА и условия запуска и применимости правил эволюции.

Для строгой формализации продукционных правил предлагается использовать элементы алгебраической теории продукций, развитые в работах В. Л. Стефанюка и А. В. Жожикашвили, и математический аппарат теории категорий [15]. При этом антецеденты 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.

Предполагается исследование возможностей теоретико-категорного представления поведения ННИА с нечеткими и комбинированными правилами продукций, а также построение функторов, преобразующих объекты одной категории в объекты другой категории, с целью моделирования эволюционных изменений.

На основе заявленного подхода разрабатывается концептуальная модель обобщенной нейро-нечеткой архитектуры (ОННА), обеспечивающей непрерывное накопление знаний по результатам взаимодействия агентов с распределенной информационной средой и расширение пространства знаний без использования предопределенных алгоритмов.

Модель ОННА создается на основе интеграции трех базовых уровней представления интеллекта и разумного поведения:

1) структурно-поведенческого уровня, использующего концептуальные модели предметной области, представленные в традиционных формах представления знаний (логические исчисления, продукционные системы, семантические сети, фреймы, сценарии);

2) нейро-нечеткого уровня, использующего нейро-нечеткие модели представления модельного пространства мира, реализующего методы динамического извлечения и накопления знаний на базе информации, предоставляемой структурно-поведенческим уровнем;

3) метаинтеллектуального уровня, использующего модели формирования нейро-нечетких моделей, предполагающие метамоделирование динамически порождаемых нейро-нечетких моделей второго уровня, их оценку и принятие решения о воплощении их в действующие нейро-нечеткие модели второго уровня ОННА.

Заключение

Концептуальные положения и полученные на их основе результаты, изложенные авторами в данной работе, показывают возможность агентно-ориентированного подхода к задачам управления и принятия решений в распределенных ИТС и определяют направления совершенствования моделей интеллектуальных агентов при создании эволюционирующих и саморазвивающихся информационно-телекоммуникационных систем.

Литература

1. Верзун Н. А., Колбанев М. О., Омелян А. В. Перспективные технологии инфокоммуникационного взаимодействия. СПб.: СПбГЭУ, 2017. 76 с.
2. Касаткин В. В., Яковлев С. А. Искусственный интеллект и имитационные эксперименты с моделями информационных систем // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий: Материалы круглых столов: тезисы докладов. Севастополь, 2017. С. 12–15.
3. Колбанев М. О., Татарникова Т. М. Информационный объем базовых информационных процессов // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4 (71). С. 42–47.
4. Рапопорт Г. Н., Герц А. Г. Биологический и искусственный разум. Сознание, мышление и эмоции. М.: URSS, 2017. 184 с.

5. Редько В. Г. Моделирование когнитивной эволюции: На пути к теории эволюционного происхождения мышления. М.: URSS, 2017. 256 с.
6. Советов Б. Я., Цехановский В. В. Информационные технологии. М.: Юрайт, 2016. 261 с.
7. Creaner, Martin J. NGOSS Distilled: The Essential Guide to Next Generation / Creaner Martin J., Reilly John P. The Lean Corporation (August 2005). 250 p.
8. Herrera Francisco. Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects. *Evolutionary Intelligence*. 2008. №1(1). Pp. 27–46.
9. Kauffman S. A. The Origin of Order: Self-Organization and Selection in Evolution. New York ; Oxford : Oxford University Press, 1993. 710 p.
10. Lee Raymond S. T. Fuzzy-Neuro Approach to Agent Applications: From the AI Perspective to Modern Ontology. Springer Science & Business Media, 2006. 376 p.
11. Ostrosi E., Fougères A.-J., Ferney M. Fuzzy Agents for Product Configuration in Collaborative and Distributed Design Process, *Applied Soft Computing*. 2012. №12(8). P. 2091–2105.
12. Siddesh G. K. Routing in Ad Hoc Wireless Networks using Soft Computing techniques and performance evaluation using Hypernet simulator // *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*. Vol. 1. Issue 3. July 2011. Pp. 91–97.
13. Terrell J. Passive automatic detection of network server performance anomalies in large networks. A dissertation submitted to the faculty of the University of North Carolina, Chapel Hill, 2009. URL: <http://www.cs.unc.edu/cms/publications/dissertations/terrell.pdf>.
14. Vishnevskii V. M., Dudin A. N. Queueing systems with correlated arrival flows and their applications to modeling telecommunication networks, *Avtomat. i Telemekh.* 2017. № 8, 3–59; *Autom. Remote Control*, 78:8. 2017. Pp. 1361–1403.
15. Zhzhikashvili 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.

References

1. Verzun N. A., Kolbanev M. O., Omel'yan A. V. *Perspektivnye tekhnologii infokommunikatsionnogo vzaimodeystviya* [Perspective technologies of info-communication interaction]. St. Petersburg: LETI, 2017. 76 p.
2. Kasatkin V. V., Yakovlev S. A. *Iskusstvennyj intellekt i imitatsionnye eksperimenty s modelyami informatsionnykh sistem* [Artificial Intelligence and Simulation Experiments with Information Systems Models]. *Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennykh informatsionnykh tekhnologiy Materialy kruglykh stolov: tezisy dokladov* [Perspective directions of development of domestic information technologies. Materials of round tables: abstracts of reports]. Sevastopol, 2017. Pp. 12–15.
3. Kolbanyov M. O., Tatarnikova T. M. Informatsionnyj ob'em bazovykh informatsionnykh processov [Information volume of basic information processes]. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Management Information Systems], 2014, no. 4 (71), pp. 42–47.
4. Rapoport G. N., Gerc A. G. *Biologicheskij i iskusstvennyj razum. Soznanie, myshlenie i ehmocii* [Biological and artificial intelligence. Consciousness, thinking and emotions.]. Moscow: URSS, 2017. 184 p.
5. Red'ko V. G. *Modelirovanie kognitivnoj ehvolyucii: Na puti k teorii ehvolyucionnogo proiskhozhdeniya myshleniya* [Modeling Cognitive Evolution: Towards a Theory of the Evolutionary Origin of Thinking]. Moscow: URSS, 2017. 256 p.
6. Sovetov B. Ya., Cechanovskij V. V. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technology]. Moscow: Urait, 2016. 261 p.

7. Creaner, Martin J. *NGOSS Distilled: The Essential Guide to Next Generation*; Creaner Martin J., Reilly John P. The Lean Corporation (August 2005). 250 p.
8. Herrera Francisco. Genetic fuzzy systems: taxonomy, current research trends and prospects. *Evolutionary Intelligence*, 2008, no. 1(1), pp. 27–46,
9. Kauffman S. A. *The Origin of Order: Self-Organization and Selection in Evolution*. New York ; Oxford : Oxford University Press, 1993. 710 p.
10. Lee Raymond S. T. *Fuzzy-Neuro Approach to Agent Applications: From the AI Perspective to Modern Ontology*. Springer Science & Business Media, 2006. 376 p.
11. Ostrosi E., Fougères A.-J., Ferney M. *Fuzzy Agents for Product Configuration in Collaborative and Distributed Design Process*, *Applied Soft Computing*, 2012, no. 12(8), pp. 2091–2105.
12. Siddesh G. K. Routing in Ad Hoc Wireless Networks using Soft Computing techniques and performance evaluation using Hypernet simulator. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*, Vol. 1, Issue 3, July 2011, pp. 91–97.
13. Terrell J. *Passive automatic detection of network server performance anomalies in large networks*. A dissertation submitted to the faculty of the University of North Carolina, Chapel Hill, 2009. Available at: <http://www.cs.unc.edu/cms/publications/dissertations/terrell.pdf>.
14. Vishnevskii V. M., Dudin A. N. Queueing systems with correlated arrival flows and their applications to modeling telecommunication networks, *Avtomat. i Telemekh.*, 2017, no. 8, 3–59; *Autom. Remote Control*, 2017, no. 78:8, pp. 1361–1403.
15. Zhzhikashvili 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.

Для цитирования: Швецов А. Н., Дианов С. В., Суконщиков А. А. Агентно-ориентированный подход к построению интеллектуальных информационно-телекоммуникационных систем // Вестник Череповецкого государственного университета. 2018. №6 (87). С. 55–65. DOI: 10.23859/1994-0637-2018-6-87-6

For citation: Shvetsov A. N., Dianov S. V., Sukonshchikov A. A. Agent-oriented approach to the construction of intellectual information-telecommunication systems. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2018, no. 6 (87), pp. 55–65. DOI: 10.23859/1994-0637-2018-6-87-6