

УДК 004.82:510.6

**НЕЧЕТКИЕ МЕТОДЫ СОГЛАСОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
В МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ**

**Н. Ю. Мутовкина<sup>1</sup>, В. Н. Кузнецов<sup>1</sup>, А. Ю. Ключин<sup>2</sup>, Б. В. Палюх<sup>2</sup>**

*Кафедры: «Бухгалтерский учет, анализ и аудит» (1);  
«Информационные системы» (2), ФГБОУ ВПО «Тверской государственный  
технический университет»; klalex@inbox.ru*

**Ключевые слова и фразы:** взаимодействие агентов; компромисс; конфликт; многоагентная система; нечеткая логика; психологический тип агента; согласованное управление; функция принадлежности.

**Аннотация:** Рассмотрены методы согласованного управления в многоагентных системах (МАС) на основе нечеткой логики. При этом в качестве базисных аспектов исследования выступили утверждения: каждый из агентов МАС обладает собственной моделью поведения, зависящей от его психологического типа; в МАС различают уклоняющийся, принуждающий и компромиссный (сотрудничающий) типы агентов; модель поведения любого агента можно описать с помощью соответствующей функции принадлежности с учетом типа агента; в зависимости от того, какой тип является в МАС преобладающим, ее функционирование осуществляется в условиях конфликта или компромисса. Главная задача исследования – разработка универсальных методов, позволяющих сбалансировать и уравновесить взаимоотношения агентов в процессе их информационного взаимодействия.

---

**Введение**

Управление в многоагентных системах (МАС) является одним из важнейших вопросов современной теории управления. Этой проблеме посвящены труды многих российских и зарубежных ученых. Как следует из обзора наиболее весомых работ, в которых подняты вопросы управления деятельностью агентов в МАС, эти системы воспринимают как совокупность взаимосвязанных программных и/или аппаратных агентов, способных взаимодействовать друг с другом и с окружающей средой, обладающих определенными интеллектуальными способностями и возможностью индивидуальных и совместных действий [1 – 4]. Наряду с этим определением, воспринимают МАС как коллектив агентов, в качестве которых могут выступать не только аппаратно-программные сущности, но и реальные люди, например, сотрудники какого-либо хозяйствующего субъекта [5 – 7]. На данном этапе развития теории и практики управления актуальным является определение: МАС – система, состоящая из некоторого числа интеллектуальных агентов, взаимодействующих в определенной предметной области (областях) в процессе решения общих задач, способных непосредственно или опосредо-

ванно получать информацию из внешней среды, обрабатывать ее и применять как в интересах системы, так и в собственных интересах. Интеллектуальным агентом называется элемент МАС, имеющий собственные цели и убеждения, способный искажать информацию в соответствии со своими интересами и работать с разной эффективностью.

Нечеткость в МАС возникает при решении многих вопросов, в том числе:

- 1) при определении необходимого числа агентов для решения поставленной задачи;
- 2) распределении между агентами функций и ограничений области действий в рамках сформулированной задачи;
- 3) регулировании поведения агентов с учетом существования у них собственных интересов, предпочтений, а, следовательно, – наличия собственных целей;
- 4) оценке результатов работы МАС, то есть степени полноты, качества, обоснованности и эффективности решения поставленной задачи и т.п.

Поскольку классический подход, основанный на четкой логике, в силу высокой субъективности перечисленных вопросов, практически неприменим, для их решения возможно использование нечеткой логики и «мягких» вычислений. В дальнейшем основное внимание уделено решению третьего вопроса.

### **Формализация многоагентных систем и базовые условия их функционирования**

В любой МАС, особенно если в качестве агентов действуют реальные люди, принятие решений может осуществляться либо в состоянии конфликта, либо в состоянии компромисса. *Конфликт* – наиболее острый способ разрешения противоречий в интересах, целях, взглядах, возникающий в процессе какого-либо взаимодействия (социального, профессионального, информационного и т.п.), заключающийся в противодействии агентов и обычно сопровождающийся негативными эмоциями, значительно снижающими эффективность функционирования МАС в целом. Основными причинами разногласий в процессе информационного взаимодействия агентов являются различия:

- в выборе средств и способа решения поставленной задачи;
- определении приоритетности задач и целей;
- выборе источника (источников) информации;
- выборе сторонников.

Сторонниками являются те агенты, скооперировавшись с которыми данный агент, согласно его субъективным представлениям, быстрее решит поставленную задачу.

*Компромисс* – разрешение противоречий, конфликтной ситуации путем взаимных уступок. Наивысшим проявлением компромисса выступает сотрудничество. Хорошо зарекомендовавшим себя способом ухода от конфликтов и, если они все-таки возникли, способом их «сглаживания», достижения в МАС состояния компромисса (сотрудничества) является применение методов согласованного управления [6, 7]. Это управление, при котором выполнение плана выгодно всем агентам, то есть является равновесием их «игры» [8, с. 567]. Принцип согласованного управления МАС базируется на оптимизации ее архитектуры (архитектурный подход) и правил управления (взаимодействия агентов). Оптимальным методом согласованного управления представляется конвергенционный метод, основанный на сближении, компромиссе и стабилизации взаимоотношений в МАС.

Исходя из сказанного выше, любую МАС можно формализовать в виде:

$$S = \langle A, D, R, Z, \Theta \rangle, \quad (1)$$

где  $A$  – множество агентов, в котором каждому из них может быть присвоен порядковый номер  $i = \overline{1, n}$ ;  $D$  – множество областей деятельности агентов;  $R$  – система отношений между агентами, определяемая такими категориями, как доверие, благожелательность, правдивость, рациональность и т.п.;  $Z$  – набор индивидуальных и совместных действий, в том числе возможные коммуникативные действия;  $\Theta$  – возможности эволюции и развития МАС.

Каждый агент может быть формализован следующим образом

$$A_i = \langle r_i, D_i, Z_i, V_i, \Theta_i \rangle, \quad (2)$$

где  $r_i$  – поведенческий тип агента, задаваемый рациональной  $\omega_i$  и эмоциональной  $\psi_i$  компонентами сущности агента [9];  $D_i$  – множество областей деятельности  $i$ -го агента,  $D_i \subset D$ ;  $Z_i$  – множество возможных действий агента, совершаемых в индивидуальном порядке или совместно с другими агентами,  $Z_i(r_i, D_i) \subset Z$ ;  $V_i$  – множество воздействий на  $i$ -го агента (критические замечания, пожелания, команды и т.п.), то есть «возмущения» окружающей среды;  $\Theta_i$  – возможности эволюции и развития  $i$ -го агента, если  $\Theta_i(r_i, D_i, V_i) \subset \Theta$ , то агент остается частью системы; если  $\Theta_i(r_i, D_i, V_i) \subseteq \Theta$ , – агент становится главным элементом системы; если  $\Theta_i(r_i, D_i, V_i) \notin \Theta$ , – агент выбывает из системы.

Рациональная компонента  $\omega_i$  заключается в осознании агентом важности поставленной задачи, готовности ее решать и может быть упрощенно рассчитана по формуле

$$\omega_i = b_q b_d b_n b_3, \quad 0 < \omega_i < 1, \quad (3)$$

где  $b_q$  – коэффициент четкости постановки задачи,  $0 < b_q < 1$ ;  $b_d$  – коэффициент достоверности исходной или переданной в процессе решения задачи информации,  $0 < b_d < 1$ ;  $b_n$  – коэффициент надежности исходной или переданной в процессе решения задачи информации,  $0 < b_n < 1$ ;  $b_3$  – коэффициент, характеризующий наличие или отсутствие у агента других задач,  $0 \leq b_3 \leq 1$ .

С позиции четкой логики считается, если агенту поручено решение лишь одной задачи, то  $b_3 = 1$ , поскольку чем меньше задач выполняет агент за период  $T$ , тем более он нацелен на решение данной задачи. Однако, учитывая индивидуальные особенности агентов, это утверждение также не имеет 100%-й уверенности. Имея одинаковый эмоциональный фон, один агент может прекрасно справляться с решением пяти задач за период  $T$ , в то время как другой агент может на том же качественном уровне выполнить лишь одну задачу.

В работе [9] рассмотрен подход к определению эмоциональной составляющей поведения агента  $\psi_i$ , основанный на информационной теории формирования эмоций по П. В. Симонову: «...только недостаток информации о том, как удовлетворить потребность, порождает эмоции» [10], то есть основным фактором, заставляющим агента действовать, является субъективный недостаток информации о проблеме. Это утверждение вполне оправдано, когда речь идет об агентах, как о программно-аппаратных сущностях. Однако если в качестве интеллектуальных агентов выступают люди, то эмоциональная компонента  $\psi_i$  формируется под влиянием следующих факторов:

1) начального уровня осведомленности агента о содержании поставленной задачи,  $0 \leq q_0 \leq 1$ ;

2) степени доступности информационного ресурса,  $0 \leq k_i^{д.р} \leq 1$ ;

3) степени успешности агента в решении задачи, то есть числа, показывающего, какова динамика продвижения агента к поставленной цели – положительная или отрицательная,  $-1 \leq k_i^{\text{Д.Ц}} \leq 1$ ;

4) числа агентов, готовых сотрудничать,  $k_i^{\text{СОТР}}$ , % от  $n$ ,  $0 \leq k_i^{\text{СОТР}} \leq 1$ .

Кроме борьбы за общий информационный ресурс, что особенно характерно при выборе одного и того же источника информации, агенты взаимодействуют в МАС, обмениваясь данными о своем поведенческом типе, что выражается в сообщениях о желаниях, намерениях, планах действий. Эти сообщения могут быть истинными, ложными или дуальными (частично – истинными, частично – ложными). Эмоциональное состояние агента описывается его приближением к цели, или, наоборот, отдалением от нее, а также интенсивностью использования имеющихся средств для ее достижения. Если средства оправдывают цель (ситуация соответствия цели и усилий, затраченных на ее достижение), то это способствует формированию положительного эмоционального фона агента; если же ситуация противоположная – отрицательного эмоционального фона, что негативно сказывается на состоянии МАС в целом. Положительные эмоции улучшают конструктивное поведение агента, способствуют его переходу к компромиссному типу поведения. Отрицательные эмоции, наоборот, выводят агента из компромиссного типа, обеспечивают повышение психологической энтропии агента.

В зависимости от числа сообщений того или иного типа в процессе решения поставленной задачи можно распознать «правдивого» агента, агента-«обманщика» и агента-«дипломата».

На формирование  $\omega_i$  и  $\psi_i$  решающее влияние оказывает окружение агента, в особенности те действия, которые предпринимают в отношении него другие агенты, поэтому справедливы следующие выражения:

$$\begin{aligned} r_i &= \omega_i \cup \psi_i; & r_i(D_i, V_i) \subset R &\rightarrow Z_i; \\ \varphi_i : r_i \times V_i &\rightarrow r'_i; & \delta_i : r'_i \times V_i &\rightarrow Z'_i; \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\varphi_i$  – функция изменения поведенческого типа агента;  $\delta_i$  – функция действий агента, поскольку установлено, что с изменением типа агента меняется его восприятие окружающей действительности, что ведет к деятельностной деформации агента. Значения  $r_i$  и элементы множеств  $V_i$ ,  $Z_i$  связаны в абстрактном времени  $T = 0, 1, \dots, t, t+1, \dots$  следующими отношениями:

$$\begin{cases} r_i(t+1) = \varphi_i(r_i(t), v_i(t)), \\ z_i(t) = \delta_i(r_i(t), v_i(t)), \\ z_i(t+1) = \delta_i(r_i(t+1), v_i(t+1)), \end{cases} \quad (5)$$

где  $r_i(t+1) = r'_i$ ,  $z_i(t+1) \in Z'_i$ ;  $v_i$  – какое-либо конкретное воздействие на  $i$ -го агента из множества  $V_i$ .

В качестве управляющих воздействий из множества  $V_i$  в зависимости от значения  $r_i$  и состава  $D_i$ ,  $Z_i$ , для получения желаемого упорядоченного множества  $Z'_i$  могут быть приняты:

- 1) пересмотр значений коэффициентов  $b_{\text{ч}}$ ,  $b_{\text{д}}$ ,  $b_{\text{н}}$  и  $b_3$ , формирующих  $\omega_i$ ;
- 2) изменение уровня осведомленности  $q_0$  агента,  $0 < q_0 < 1$ ;
- 3) обеспечение агента средствами, необходимыми для решения поставленной задачи, а также предоставление ему возможности выбора информационного ресурса или его (их) доступности наравне с другими агентами  $k_i^{\text{Д.Р}} \rightarrow 1$ ;

4) применение к агенту штрафных санкций  $h_i$  за невыполнение им взятых обязательств и нарушения работы МАС вплоть до удаления из системы и премиальных поощрений  $p_i$  за добросовестное исполнение агентом своих функций и повышение эффективности работы системы.

Набор управляющих воздействий, а, следовательно, и целевые функции (ЦФ) агентов, зависят от целей МАС. Например, если целью МАС является достижение требуемого состояния за меньшее число шагов (моментов времени), то ЦФ агента может быть представлена в виде:

$$f_i(T_i, r_i, h_i, p_i) = \frac{1}{1 + |0,5 - r_i|} + \frac{1}{1 + T_i} + \frac{1}{1 + h_i} + \frac{1}{1 - p_i} \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$\begin{cases} 0 < r_i < 1, \\ T_i = 0, 1, \dots, t, t + 1, \dots, \\ 0 \leq h_i \leq 1, \\ 0 \leq p_i < 1. \end{cases}$$

На основании вышеизложенного установлено, что в МАС существуют три базовые модели поведения агентов: принуждение, уклонение и сотрудничество. Если в процессе решения задачи агент захватывает ресурсы других агентов, стремится к безоговорочному лидерству, то это модель принуждения; если при решении задачи агент полагается лишь на себя и ни с кем не взаимодействует, то это модель уклонения; если же агент готов в процессе решения задачи делиться ресурсами с другими агентами и получать от них взаимную помощь, то такой агент действует в соответствии с моделью компромисса (сотрудничества). В силу интеллектуальности агентов их поведенческая модель в процессе решения задачи может являться комбинацией базовых моделей. В зависимости от того, какая из них преобладает в поведенческой модели агента, определяется его тип: уклоняющийся  $r_i = 0,2$ , компромиссный или сотрудничающий  $r_i = 0,5$  и принуждающий или агрессивный  $r_i = 0,9$ .

#### Нечеткий подход к изменению поведенческого типа агента

Цель МАС будет достигнута за кратчайшее время и с наилучшим качеством в случае, когда для всех агентов справедливо равенство  $r_i = 0,5$ . Задача согласованного управления здесь сводится к приведению поведенческого типа агента к компромиссному с помощью определенного влияния на изменение значений  $\omega_i$  и  $\psi_i$ . Для этого применяются нечеткие методы согласованного управления как совокупность правил принятия решений агентами в виде зависимостей, ставящих в соответствие каждому типу агента конкретное значение управляющего воздействия (4)–(5). Нечеткость, в данном случае, проявляется в определении значений  $b_{\text{ч}}$ ,  $b_{\text{д}}$ ,  $b_{\text{н}}$ ,  $b_3$ ,  $q_0$ ,  $k_i^{\text{д.п}}$ ,  $k_i^{\text{д.ц}}$ ,  $k_i^{\text{согр}}$ . Например, один агент оценивает четкость постановки абстрактной задачи  $\mathfrak{Z}$  как  $b_{\text{ч}} = 0,9$  или 90 %, в то время как для другого агента она составляет лишь 50 %,  $b_{\text{ч}} = 0,5$ . Коэффициент достоверности исходной или переданной в процессе решения задачи информации  $b_{\text{д}}$  выражает степень доверия агента к имеющемуся в его распоряжении источнику информации. Если одним и тем же источником одновременно пользуются несколько агентов, то один агент может доверять этому источнику на 40 %, другой – на 60 % и т.п. Поэтому, руководствуясь теорией нечеткой логики, можно записать:

$$B_{\text{ч}} = \left\{ \left\langle b_{\text{ч}_i}, \mu_{B_{\text{ч}}}(b_{\text{ч}_i}) \right\rangle \mid b_{\text{ч}_i} \in U \right\}; \quad B_{\text{д}} = \left\{ \left\langle b_{\text{д}_i}, \mu_{B_{\text{д}}}(b_{\text{д}_i}) \right\rangle \mid b_{\text{д}_i} \in U \right\};$$

$$\dots$$

$$K^{\text{сопр}} = \left\{ \left\langle k_i^{\text{сопр}}, \mu_{K^{\text{сопр}}}(k_i^{\text{сопр}}) \right\rangle \mid k_i^{\text{сопр}} \in U \right\}, \quad (7)$$

где  $\mu_{B_{\text{ч}}}, \mu_{B_{\text{д}}}, \dots, \mu_{K^{\text{сопр}}}$  – функции принадлежности, то есть  $\mu_{B_{\text{ч}}}, \mu_{B_{\text{д}}}, \dots, \mu_{K^{\text{сопр}}}: U \rightarrow (0; 1)$  – характеристические функции множеств  $B_{\text{ч}}, B_{\text{д}}, \dots, K^{\text{сопр}} \subseteq U$ , значения которых указывают, являются ли  $b_{\text{ч}_i}, b_{\text{д}_i}, \dots, k_i^{\text{сопр}} \in U$  элементами соответствующих множеств  $B_{\text{ч}}, B_{\text{д}}, \dots, K^{\text{сопр}}$ ;  $U$  – так называемое универсальное множество, из элементов которого образованы все остальные множества, рассматриваемые в данном классе задач. Значения  $\mu_{B_{\text{ч}}}(b_{\text{ч}_i}), \mu_{B_{\text{д}}}(b_{\text{д}_i}), \dots, \mu_{K^{\text{сопр}}}(k_i^{\text{сопр}})$  называются степенями принадлежности элементов  $b_{\text{ч}_i}, b_{\text{д}_i}, \dots, k_i^{\text{сопр}}$  к нечетким множествам  $B_{\text{ч}}, B_{\text{д}}, \dots, K^{\text{сопр}}$  соответственно [11]. Может также применяться словесное описание значений  $b_{\text{ч}}, b_{\text{д}}, b_{\text{н}}, b_{\text{з}}, q_0, k^{\text{д.п}}, k^{\text{д.ц}}, k^{\text{сопр}}$ . В этом случае используется понятие лингвистической переменной, которая абстрактно может быть представлена как набор

$$\langle \beta, \Lambda, Y, S, M \rangle, \quad (8)$$

где  $\beta$  – имя лингвистической переменной;  $\Lambda$  – множество ее значений (базовое терм-множество), которые представляют собой имена нечетких переменных, областью определения которых является множество  $Y$ ;  $S$  – синтаксическая процедура, позволяющая оперировать элементами терм-множества, в частности, генерировать новые термы (значения). Множество  $\Lambda \cup S(\Lambda)$ , где  $S(\Lambda)$  – множество сгенерированных термов, называется расширенным терм-множеством лингвистической переменной;  $M$  – семантическая процедура, позволяющая преобразовать новое значение лингвистической переменной, образованной процедурой  $S$ , в нечеткую переменную, то есть сформировать соответствующее нечеткое множество.

Предположим, что в зависимости от условий функционирования МАС, ее назначения, целей, сложности решаемых задач и времени, отведенного на их решение, в соответствии с (8) экспертно формализованы лингвистические переменные  $b_{\text{ч}}, b_{\text{д}}, b_{\text{н}}, b_{\text{з}}, q_0, k^{\text{д.п}}, k^{\text{д.ц}}, k^{\text{сопр}}$  так, как показано в таблице.

Сформированные лингвистические переменные позволяют построить нечеткую базу знаний относительно значений  $\omega_i$  и  $\psi_i$ , основанную на нечеткой импликации [12]. Абстрактно нечеткий вывод можно представить в виде:

$$A \rightarrow B = \overline{A \cup B},$$

$$\mu_{A \rightarrow B}(x) = \max\{1 - \mu_A(x), \mu_B(x)\}. \quad (9)$$

Основой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме ЕСЛИ  $\rightarrow$  ТО и функции принадлежности для соответствующих лингвистических термов. При этом должны соблюдаться условия:

- существует хотя бы одно правило для каждого лингвистического термина входной переменной;
- для любого термина входной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот терм используется в качестве предпосылки.

**Формализация лингвистических переменных**

$\beta$	$\Lambda$	$Y$	$S$	$M$
1	2	3	4	5
$b_{\text{ч}}$	{«четкая постановка задачи», «нечеткая постановка задачи»}	(0;1)	{«не очень четкая постановка задачи», «нечеткая или не очень четкая постановка задачи», «не очень четкая или четкая постановка задачи»}	$B_{\text{ч}1}$ – «четкая...»; $B_{\text{ч}2} = \overline{B_{\text{ч}1}}$ – «нечеткая...»; $\overline{\text{CON}(B_{\text{ч}1})} = B_{\text{ч}1}^2$ – «не очень четкая...»; $B_{\text{ч}2} \cup B_{\text{ч}1}^2$ – «нечеткая или не очень четкая...»; $\overline{B_{\text{ч}1}^2} \cup B_{\text{ч}1}$ – «не очень четкая или четкая...»
$b_{\text{д}}$	{«достоверная информация», «недостоверная информация»}		{«не совсем достоверная информация», «недостоверная или не совсем достоверная информация», «не совсем достоверная или достоверная информация»}	$B_{\text{д}1}$ – «достоверная...»; $B_{\text{д}2} = \overline{B_{\text{д}1}}$ – «недостоверная...»; $\overline{\text{CON}(B_{\text{д}1})} = B_{\text{д}1}^2$ – «не совсем достоверная...»; $B_{\text{д}2} \cup B_{\text{д}1}^2$ – «недостоверная или не совсем достоверная...»; $\overline{B_{\text{д}1}^2} \cup B_{\text{д}1}$ – «не совсем достоверная или достоверная...»
$b_{\text{н}}$	{«надежная информация», «ненадежная информация»}		{«не очень надежная информация», «ненадежная или не очень надежная информация», «не очень надежная или надежная информация»}	$B_{\text{н}1}$ – «надежная...»; $B_{\text{н}2} = \overline{B_{\text{н}1}}$ – «ненадежная...»; $\overline{\text{CON}(B_{\text{н}1})} = B_{\text{н}1}^2$ – «не очень надежная...»; $B_{\text{н}2} \cup B_{\text{н}1}^2$ – «ненадежная или не очень надежная...»; $\overline{B_{\text{н}1}^2} \cup B_{\text{н}1}$ – «не очень надежная или надежная...»
$b_3$	{«мало задач», «достаточно задач», «много задач»}		[0;1]	{«очень мало задач», «слишком много задач»}



1	2	3	4	5
$q_0$	{«хорошо осведомлен», «средняя осведомленность», «плохо осведомлен»}	[0;1]	{«очень хорошо осведомлен», «очень плохо осведомлен»}	$Q_{0_1}$ – «хорошо...»; $Q_{0_2}$ – «средне...»; $Q_{0_3}$ – «плохо...»; $CON(Q_{0_1}) = Q_{0_1}^2$ – «очень хорошо...»; $CON(Q_{0_3}) = Q_{0_3}^2$ – «очень плохо...»
$k^{д.р}$	{«доступен», «недоступен»}		{«почти доступен», «совсем недоступен»}	$K_1^{д.р}$ – «доступен»; $K_2^{д.р} = \overline{K_1^{д.р}}$ – «недоступен»; $DIL(K_1^{д.р}) = (K_1^{д.р})^{0,5}$ – «почти доступен»; $CON(K_2^{д.р}) = (K_2^{д.р})^2$ – «совсем недоступен»
$k^{д.ц}$	{«успешен», «неуспешен»}		{«почти успешен», «совсем неуспешен»}	$K_1^{д.ц}$ – «успешен»; $K_2^{д.ц} = \overline{K_1^{д.ц}}$ – «неуспешен»; $DIL(K_1^{д.ц}) = (K_1^{д.ц})^{0,5}$ – «почти успешен»; $CON(K_2^{д.ц}) = (K_2^{д.ц})^2$ – «совсем неуспешен»
$k^{согр}$	{«мало сторонников», «достаточно сторонников», «много сторонников»}		–	$K_1^{согр}$ – «мало...»; $K_2^{согр}$ – «достаточно...»; $K_3^{согр}$ – «много...»

Иначе имеет место неполная база нечетких правил.

Для реализации логического вывода необходимо:

- 1) сформулировать на естественном языке в виде предложений «Если..., то..., иначе...» закономерности предметной области;
- 2) выделить из этих предложений лингвистические переменные, их значения (построить их функции принадлежности), высказывания различных видов, формализовать нечеткие правила;
- 3) проверить полученную базу знаний на полноту;
- 4) провести фазификацию, то есть подготовить задачу для решения методами нечеткой логики;
- 5) провести аккумуляцию;
- 6) выполнить дефазификацию. Это действие предполагает применение какого-либо математического метода, например, вычисления «центра тяжести» нечеткого множества, то есть срединного численного значения полученного нечеткого множества.



Определив с помощью логического вывода значения  $\omega_i$  и  $\psi_i$ , по первой формуле из (4) находим  $r_i$ . Далее, применяя  $\varphi_i$  – функцию изменения поведенческого типа агента, состоящую из управляющих воздействий, подобранных индивидуально и не затрагивающих других агентов, получаем новый тип агента –  $r'_i$ . Наряду с манипулированием значениями коэффициентов  $b_q$ ,  $b_d$ ,  $b_n$ ,  $b_3$ ,  $q_0$ ,  $k^{д.р}$ ,  $k^{д.ц}$ ,  $k^{сопр}$ , важную роль играет правильно выстроенная по отношению к каждому агенту система поощрений и наказаний.

Идеальным приемом согласованного управления является внедрение формулы управления в антропоморфную сущность агента с тем, чтобы ее действие было неявным: «Мне никто не дает команд, но мое поведение управляется моей собственной концепцией Я, содержащей принципы, согласно которым я должен вести себя именно так, а не иначе» [12].

Наличие нечетких механизмов управления на каждой итерации функционирования МАС позволяет получить лучший результат и решать задачи согласования и оптимизации при взаимодействии агентов.

### Заключение

Как уже неоднократно показала практика, нечеткая логика и «мягкие» вычисления являются весьма эффективными средствами согласованного управления в МАС. Управление на основе нечеткой логики позволяет сформировать базу нечетких правил для осуществления оптимальных управляющих воздействий на агентов в целях разрешения конфликтов и противоречий, возникающих в МАС.

Правила нечеткой логики позволяют обеспечить:

- 1) применение существующего опыта управления;
- 2) использование гибких правил взаимодействия агентов в МАС;
- 3) улучшение качества управления посредством саморегулирования управляющей системы и упреждающего изменения выходного воздействия (значения функции упреждения). Это позволяет свести к минимуму возможность выхода МАС из состояния равновесия.

Для согласованного принятия решения необходимо доверие, иначе нельзя достичь в МАС синергии успеха. Доверие может быть измерено быстротой согласования групповых совместных решений. На скорость принятия согласованного группового решения может влиять наличие лидера, общей проблемы и цели. Агенты-лидеры в спонтанном сетевом общении формируются в процессе взаимодействия. Принятие групповых решений характеризуется итерационной последовательностью действий участников. Чтобы процесс формирования и согласования решений оказался сходящимся, то есть с каждой итерацией настойчиво продвигающимся ближе к цели, нужны специальные механизмы. Такими механизмами могут быть механизмы «честной игры», что позволяет достичь равновесного состояния МАС, то есть состояния, одностороннее отклонение от которого не выгодно ни одному из агентов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-01-01005-а «Разработка моделей и методов согласованного управления в многоагентных системах».*

### Список литературы

1. Крижановский, А. А. Вопросы реализации проблемно ориентированных агентов интеграции знаний / А. А. Крижановский // Труды СПИИРАН / под ред. Р. М. Юсупова. – Вып. 1, т. 3. – СПб., 2002. – С. 31 – 40.
2. Вдовицын, В. Т. Разработка многоагентной системы для организации поиска данных в распределенной информационной системе [Электронный ресурс] /

В. Т. Вдовицын, А. Д. Сорокин, Н. Б. Луговая, И. В. Чудакова // TORIS (Toponymic Research Information System) : тематический веб-сайт по топонимии Европейского Севера России. Режим доступа : <http://toris.krc.karelia.ru/papers/source/abrau2003/index.phtml>. – Загл. с экрана.

3. Истомин, В. В. Прогнозирование поведения групп автономных интеллектуальных агентов на основе теории многоагентных систем [Электронный ресурс] / В. В. Истомин // Инженер. вестн. Дона : электрон. науч. журн. – Режим доступа к журн. : <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/535#top>. – Загл. с экрана.

4. Макаров, В. Л. Искусственные общества / В. Л. Макаров // Экономика и математические методы. – 2012. – Т. 48, № 3. – С. 3 – 20.

5. Бреер, В. В. Модели управления толпой / В. В. Бреер, Д. А. Новиков // Проблемы управления. – 2012. – № 2. – С. 38 – 44.

6. Виноградов, Г. П. Моделирование поведения агента с учетом субъективных представлений о ситуации выбора / Г. П. Виноградов, В. Н. Кузнецов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2011. – № 3. – С. 58 – 72.

7. Чхартишвили, А. Г. О модели согласованного информационного управления / А. Г. Чхартишвили // Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах (УТЭОСС-2012) : материалы конф., г. Санкт-Петербург, 9 – 11 окт. 2012 г. / ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» ; Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – СПб., 2012. – С. 1134 – 1137.

8. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – М. : Изд-во Моск. психол.-соц. ин-та, 2005. – 584 с.

9. Мутовкина, Н. Ю. Поведенческие модели интеллектуальных агентов в процессе информационного взаимодействия / Н. Ю. Мутовкина, В. Н. Кузнецов, А. Ю. Ключин // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – № 1.1(51). – С. 178 – 183.

10. Симонов, П. В. Мотивированный мозг. Высшая нервная деятельность и естественнонаучные основы общей психологии / П. В. Симонов. – М. : Наука, 1987. – 272 с.

11. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений : сб. пер. / под ред. И. Ф. Шахнова. – М. : Мир, 1976. – С. 172 – 215.

12. Мутовкина, Н. Ю. Семантическое определение типа агента в многоагентной системе. Проблема межагентного взаимодействия / Н. Ю. Мутовкина, А. Ю. Ключин, В. Н. Кузнецов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2013) : материалы III Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 21 – 23 февр. 2013 г. / под ред. В. В. Голенкова [и др.]. – Минск, 2013. – С. 309 – 316.

---

## Fuzzy Methods of Coordinated Management in Multi-Agent Systems

N. Yu. Mutovkina<sup>1</sup>, V. N. Kuznetsov<sup>1</sup>, A. Yu. Klyushin<sup>2</sup>, B. V. Paliukh<sup>2</sup>

*Departments: “Accounting, Analysis and Audit” (1); “Information Systems” (2),  
Tver State Technical University, Tver; klalex@inbox.ru*

**Key words and phrases:** compromise; conflict; coordinated management; function facilities; fuzzy logic; interaction of agents; multi-agent system; psychological type of an agent.

**Abstract:** The article considers the methods of coordinated management in multi-agent systems (MAS) on the basis of fuzzy logic. Thus, the basic aspects of the research are the following statements: each agent of the MAS has its own model of behavior, depending on its psychological type; MAS distinguishes evading, forcing and

compromising (cooperating) types of agents; the behavior of any agent can be described using the corresponding function facilities with regard to the type of agent; depending on which type is dominant in MAS, its operation is implemented in conditions of conflict or compromising. The main objective of the study is to develop generic methods to balance the agents in the process of information interaction. Application of these methods enables to achieve MAS target in less time and with better quality, without serious infringement of the agents' interests.

---

## **Undeutliche Methoden der vereinbarten Steuerung in den Vielagentensysteme**

**Zusammenfassung:** Im Artikel werden die Methoden der vereinbarten Steuerung in den Vielagentensystemen (VAS) aufgrund der undeutlichen Logik betrachtet. Dabei treten als Basisaspekte der Forschung die folgenden Behauptungen auf: jeder aus der Agenten von VAS verfügt über das eigene Modell des Verhaltens, das von seinem psychologischen Typ abhängt; im VAS unterscheidet man die Entziehend-, Zingend- und Kompromisstypen der Agenten; das Modell des Verhaltens eines beliebigen Agenten kann man mit Hilfe der entsprechenden Funktion der Zugehörigkeit unter Berücksichtigung des Typs des Agenten beschreiben; je danach, welcher Typ im VAS vorwiegend ist, verwirklicht sich sein Funktionieren unter den Bedingungen des Konfliktes oder des Kompromisses. Eine Hauptaufgabe der Forschung ist die Entwicklung der universellen Methoden, die Wechselbeziehungen der Agenten im Laufe ihrer informativen Wechselwirkung abzugleichen auszuwiegen erlauben. Die Anwendung dieser Methoden trägt zur Errungenschaft des Ziels vom VAS für die kleinere Zeit und mit der besten Qualität ohne ernste Einklemmung der Interessen der Agenten bei.

---

## **Méthodes floues du management coordonné dans les systèmes multiagents**

**Résumé:** Dans l'article sont envisagées les méthodes du management coordonné dans les systèmes multiagents (SMA) à la base de la logique floue. En qualité des aspects de base de l'étude se trouvent les affirmations suivantes: chacun des agents SMA possède son propre modèle du comportement dépendant du type psychologique; dans les SMA on distingue les types des agents déviant, forçant et transactionnel; le modèle du comportement peut être décrit à l'aide de la fonction correspondante compte tenu du type de l'agent; le fonctionnement de SMA se réalise dans les conditions du conflit ou du compromis. Le but essentiel de l'étude est d'élaborer les méthodes universelles permettant d'équilibrer les interrelations des agents au processus de leur interaction informatique. L'application de ces méthodes contribue à la réalisation du but de SMA pendant le temps le plus court et avec la meilleure qualité sans restriction des intérêts des agents.

---

**Авторы:** *Мутовкина Наталия Юрьевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Бухгалтерский учет, анализ и аудит»; *Кузнецов Владимир Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Бухгалтерский учет, анализ и аудит»; *Клюшин Александр Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы»; *Палюх Борис Васильевич* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы», ФГБОУ ВПО «Тверской государственной технический университет», г. Тверь.

**Рецензент:** *Калабин Александр Леонидович* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники», ФГБОУ ВПО «Тверской государственной технический университет», г. Тверь.