

***Инструментальные
средства
информационных
технологий***

Предложен метод выявления коалиций в мультиагентных системах на основе системы нечетких правил, который позволяет определить величину вознаграждения и продолжительность нахождения в коалиции для каждого потенциального агента. Разработанный метод формирует коалиции в условиях неполноты информации и дает возможность адаптировать нечеткие правила, на основании которых принимается решение относительно включения агента.

УДК 681.3.06

С.В. ЕРШОВ

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КОАЛИЦИЙ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ПРАВИЛ

Введение. В настоящее время при разработке интеллектуальных мультиагентных систем большой интерес вызывает исследование способов организации эффективных отношений в виде коалиции на основе контракта о найме, а именно, отношений между агентами-исполнителями и агентами-принципалами (лидерами коалиции). Значительное множество работ было посвящено исследованию коллективного поведения и коалиций агентов в процессе совместного решения задач в рамках Belief-Desire-Intention (BDI)-архитектур [1, 2], однако способы формирования коалиций, основанные на правилах, фактически не рассматривались. В частности, проблема формирования коалиции может возникнуть на основе неполной информа-

ции, поскольку новый лидер коалиции может не иметь достоверной информации об успешности решения задач отдельными агентами и о наличии необходимых ресурсов у других агентов (например, когда агенты выполняют функции лидера по очереди).

Цель настоящей работы – построение и обоснование метода формирования коалиций в мультиагентных системах на основе систем нечетких правил. Данная цель тематически вписывается в дальнейшее развитие исследований в направлении становления модели-ориентированных архитектур программных систем в нечетком представлении [3–5].

Определим задачу как $t_i = \langle w_i, R'_i \rangle$, где w_i – награда полученная агентом или коалицией, если задача t_i выполнена агентом/коалицией; R'_i – набор необходимых ресурсов, которыми должны обладать агенты для решения задачи t_i . Агент формально определяется как $a_i = \langle g_i, R'_i, s_i \rangle$, где g_i представляет собой набор отдельных целей агента a_i ; R'_i – ресурсы, которыми обладает агент a_i ; $s_i = \langle v_a, v_p, t \rangle$ – статус агента, включающий такие характеристики как доступность агента (занят ли он решением задачи), должность агента (независимый агент, член коалиции, лидер коалиции) и время завершения контракта (соглашения между членом коалиции и лидером о выполнении задачи). $s_i = \langle 0, 0, 0 \rangle$ означает, что агент не входит в коалицию и не занят решением задачи; с таким агентом можно заключить контракт на выполнение необходимой коалиции задачи.

Коалиция – это набор агентов, определенный как $AT_i = \langle MS_i, TR_i \rangle$, где MS_i – множество агентов, являющихся членами коалиции, включая лидера, TR_i – суммарный объем ресурсов всех агентов коалиции. Подразумевается, что агент может находиться только в одной коалиции: $\forall i \neq j: MS_i \cap MS_j = \emptyset$. Множество участников $CS_{ij} (CS_{ij} \subseteq MS_i)$ в коалиции AT_i – множество агентов, участвующих в решении задачи t_i .

В общей ситуации, агенты, которые всегда содействуют выполнению заданий и могут принести больше пользы коалиции – самые ценные, их нужно сохранить в коалиции надолго. С другой стороны, коалиция агентов не должна включать агенты, приносящие ей мало пользы. В данном методе используются два фактора – коэффициент использования и коэффициент содействия, чтобы оценить значимость отдельных потенциальных членов коалиции для решения отдельной задачи.

Коэффициент использования $A \in [0, 1]$ – это частота, с которой член коалиции a_k успешно участвовал в последних M задачах коалиции AT_i , задаваемая соотношением

$$A = \sum_{j=1}^M \frac{1}{M} (k | a_k \in CS_{ij}). \quad (1)$$

Значение параметра M определяется лидером коалиции или задается пользователем.

Коэффициент содействия $B \in [0, 1]$ – это степень, в которой член коалиции a_k содействовал коалиции AT_i в решении последних M задач, задаваемая следующим выражением (c_{jk} – количество агентов, участвовавших в решении j -й задачи):

$$B = \frac{\sum_{j=1}^M w_j / c_{jk}(k | a_k \in CS_{ij})}{\sum_{j=1}^M w_j}. \quad (2)$$

Например, предположим, что три последние задачи, выполненные коалицией AT_i , включающей агенты a_p, a_r, a_q, a_s – это $t_1 = \langle 40, R'_1 \rangle$, $t_2 = \langle 50, R'_2 \rangle$ и $t_3 = \langle 60, R'_3 \rangle$. Члены коалиции участвуют в трех задачах – $\{a_p, a_q\}$, $\{a_p, a_r\}$ и $\{a_p, a_s\}$. В соответствии с (1) и (2) получаем следующие значения коэффициентов использования и содействия для каждого из агентов:

$$a_p: A_p = 1, B_p = \frac{(40/2 + 50/2 + 60/2)}{(40 + 50 + 60)} = 0,5;$$

$$a_q: A_q = 0,67, B_q = \frac{(40/2 + 60/2)}{(40 + 50 + 60)} = 0,33;$$

$$a_r: A_r = 0,33, B_r = \frac{50/2}{(40 + 50 + 60)} = 0,17;$$

$$a_s: A_s = 0, B_s = 0.$$

Очевидно, что a_p – наиболее важный член коалиции AT_i , чаще всего участвовавший в решении задач и принесший наибольшую пользу коалиции. С другой стороны, a_s не принимал участия в решении задач и не принес никакой пользы.

Чтобы заключить обоснованные контракты с членами коалиции, агент-лидер должен оценить, насколько легко найти аналогичные агенты (обладающие аналогичными ресурсами и опытом) во всей мультиагентной системе, для чего определяется параметр доступности ресурсов.

Степень доступности ресурсов агента Γ – величина обратная количеству доступных агентов, не входящих в коалицию и не решающих задачу и обладающих как минимум тем же количеством ресурсов, что и агент a_k . Она определяется следующим выражением:

$$\Gamma = \sum_{\substack{Rk \subseteq Ri \\ si=(0,0,0)}} \frac{1}{N},$$

где N – количество доступных агентов, обладающих необходимыми ресурсами во всей мультиагентной системе.

Например, пусть 10 из 20 имеющихся в системе агентов, обладают теми же или большими ресурсами, что и a_k . Тогда значение доступности ресурсов для члена коалиции a_k составляет $\Gamma = 0,5$.

Согласно значений коэффициента использования, коэффициента содействия и степени доступности ресурсов агента, лидеры используют систему нечетких правил для определения длительности и вознаграждения за сотрудничество с членами своей коалиции.

В данном методе коэффициент использования, коэффициент содействия и степени доступности ресурсов агента являются входными параметрами. Выходные параметры – срок контракта и сумма вознаграждения.

Срок действия контракта Δ_k – это параметр, который обозначает желательную продолжительность нахождения агента a_k в коалиции. Это выходной параметр, который необходимо определить с помощью нечетких правил. Диапазон срока действия контракта – $[0, MAX_{\Delta}]$, где значение MAX_{Δ} – константа, определенная в мультиагентной системе и обозначающая максимальный период времени, в течение которого агент может находиться в коалиции.

Параметр N_k обозначает максимальное вознаграждение агенту – издержки которые коалиция понесет с тем, чтобы содержать агента a_k в коалиции. Рабочий диапазон вознаграждения – $[0, MAX_N]$, где значение параметра MAX_N , обозначающее максимальное значение величины издержек, устанавливает лидер.

Для коэффициента использования выбраны следующие четыре лингвистических термина, которые выражены соответствующими нечеткими множествами: Никогда (Н), Редко (Р), Время от времени (В) и Часто (Ч). Другой входной параметр – коэффициент содействия также имеет четыре лингвистических термина, а именно: Отсутствует (О), Незначительная (Н), Средняя (С) и Большая (Б). Трапециевидные нечеткие функции принадлежности принимаются здесь, чтобы определить нечеткую степень принадлежности этих четырех нечетких множеств. Функции принадлежности для этих четырех нечетких множеств определены в выражениях и показаны на рисунке, а.

$$\mu_{\text{Никогда/Отсутствует}}(x) = \begin{cases} 1-5x, & x \in [0, 0,2], \\ 0, & x \notin [0, 0,2] \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_{\text{Редко/Незначительная}}(x) = \begin{cases} 10x-1, & x \in [0.1, 0,2], \\ 1, & x \in (0.2, 0,3), \\ 4-10x, & x \in [0.3, 0,4], \\ 0, & x \notin [0,1, 0,4] \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{Время от времени/Средняя}}(x) = \begin{cases} 10x-3, & x \in [0.3, 0,4], \\ 1, & x \in (0.4, 0,6), \\ 7-10x, & x \in [0.6, 0,7], \\ 0, & x \notin [0,3, 0,7] \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{Часто/Большая}}(x) = \begin{cases} 10x - 6, & x \in [0.6, 0.7], \\ 1, & x \in (0.7, 1], \\ 0, & x \notin [0.6, 1] \end{cases} \quad (6)$$

Для Γ задано три лингвистических термина, а именно Незначительная (Н), Средняя (С) и Большая (Б). Функции принадлежности для Γ показаны на рисунке, б.

Для выходного параметра Δ выбраны следующие четыре лингвистических термина: Большой (Б), Средний (С), Небольшой (Н) и Отсутствует (О). Для N – в качестве термов выбраны Значительная (З), Средняя (С), Незначительная (Н) и Отсутствует (О). Нечеткие функции принадлежности этих нечетких множеств определены выражениями и показаны на рисунке, в.

$$\mu_{\text{Отсутствует/Отсутствует}}(x) = \begin{cases} 1 - 5x, & x \in [0, 0.2], \\ 0, & x \notin [0, 0.2] \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{\text{Небольшой/Незначительная}}(x) = \begin{cases} 10x - 1, & x \in [0.1, 0.2], \\ 1, & x \in (0.2, 0.3), \\ 4 - 10x, & x \in [0.3, 0.4], \\ 0, & x \notin [0.1, 0.4] \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{Средний/Средняя}}(x) = \begin{cases} 10x - 3, & x \in [0.3, 0.4], \\ 1, & x \in (0.4, 0.6), \\ 7 - 10x, & x \in [0.6, 0.7], \\ 0, & x \notin [0.3, 0.7] \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{Большой/Значительная}}(x) = \begin{cases} 10x - 6, & x \in [0.6, 0.7], \\ 1, & x \in (0.7, 1], \\ 0, & x \notin [0.6, 1] \end{cases} \quad (10)$$

Система нечетких правил может быть представлена в виде таблицы, в которой представлены все возможные комбинации каждого из входных лингвистических параметров и соответствующие им выходные параметры (см. таблицу).

Каждый элемент системы правил определяется операцией AND двух лингвистических входных параметров для получения выходной комбинации, в следующем виде: IF ($F(A) = \alpha$ AND $F(B) = \beta$ AND $F(\Gamma) = \gamma$) THEN ($F(\Delta) = \delta$) AND $F(N) = \eta$), где $\alpha \in \{\text{Никогда, Редко, Время от времени, Часто}\}$, $\beta \in \{\text{Отсутствует, Незначительная, Средняя, Большая}\}$, $\gamma \in \{\text{Незначительная, Средняя, Большая}\}$, $\delta \in \{\text{Большой, Средний, Небольшой, Отсутствует}\}$, и $\eta \in \{\text{Значительная, Средняя, Незначительная, Отсутствует}\}$. При этом оператор AND используется для объединения значений принадлежности, т. е. наименьшая степень принадлежности операндов определяет степень принадлежности пересечения нечетких множеств [6, 7]. Результирующее значение принадлежности $\mu_{\delta/\eta}(V)$ может быть рассчитано следующим образом: $\mu_{\delta/\eta} = \min(\mu_{\alpha}(A), \mu_{\beta}(X), \mu_{\gamma}(\Gamma))$.

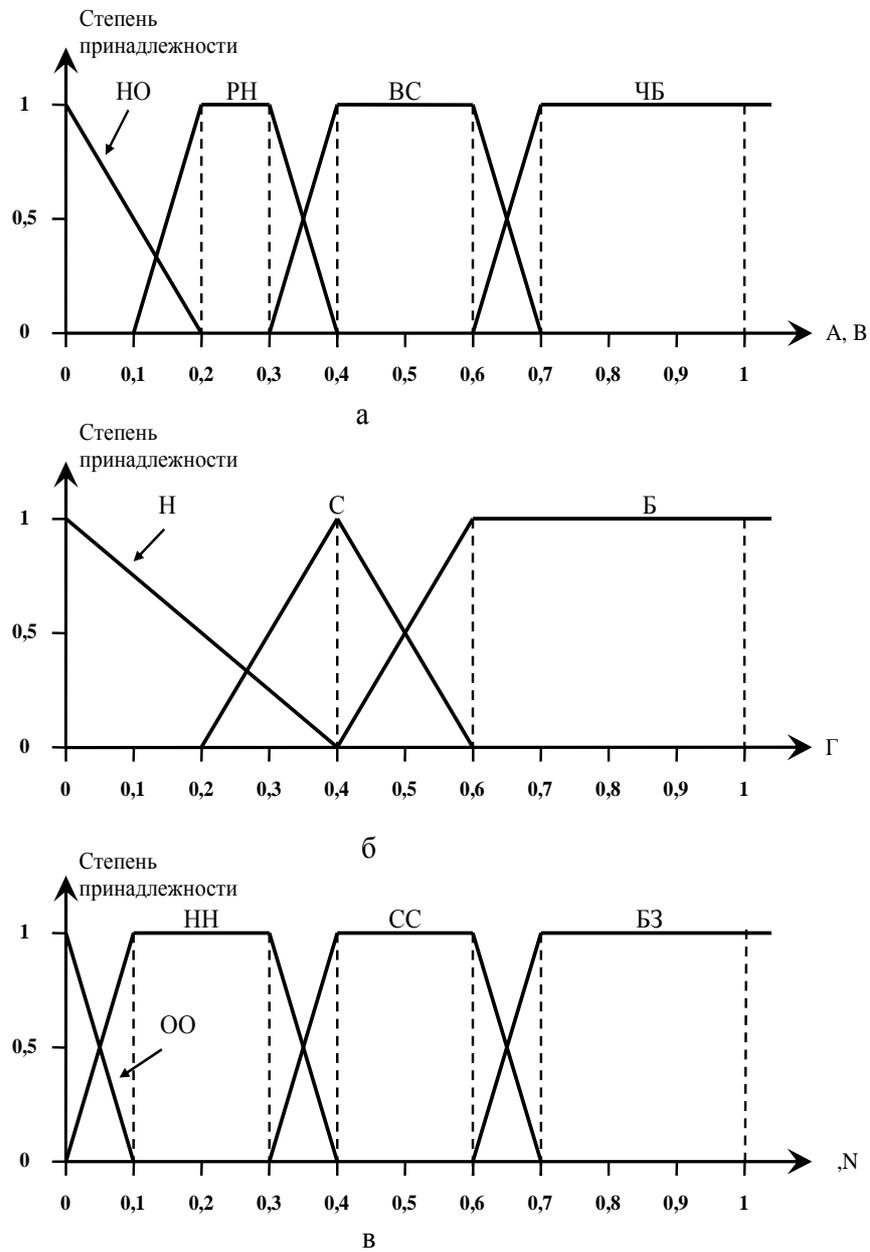


РИСУНОК. Нечеткие множества лингвистических термов: а – коэффициенты использования и содействия; б – степени доступности ресурсов; в – сроки действия контракта и величины вознаграждения

Результирующие значения системы правил могут быть определены путем отслеживания значения принадлежности для каждого правила через выходные функции принадлежности. Наконец, для дефuzziфикации результирующего значения используется метод центра тяжести [6, 7]. Выходное значение рассчитывается следующим образом:

$$DF = \frac{\sum_{i=1}^k (v_i \cdot \mu(v_i))}{\sum_{i=1}^k \mu(v_i)},$$

где $\mu(v_i)$ – степень принадлежности значения v_i , а k – количество использованных нечетких правил.

ТАБЛИЦА. Система нечетких правил для выбора агентов в коалицию, представленная с использованием лингвистических термов

Степень доступности ресурсов агента		<i>H</i>	<i>C</i>	<i>B</i>
Коэффициент использования	Коэффициент содействия	Получаемые значения: Δ, N		
<i>H</i>	<i>O</i>	$\Delta = O, N = O$	$\Delta = O, N = O$	$\Delta = O, N = O$
<i>H</i>	<i>H</i>	$\Delta = C, N = H$	$\Delta = O, N = O$	$\Delta = O, N = O$
<i>H</i>	<i>C</i>	---	---	---
<i>H</i>	<i>B</i>	---	---	---
<i>P</i>	<i>O</i>	$\Delta = C, N = H$	$\Delta = O, N = O$	$\Delta = O, N = O$
<i>P</i>	<i>H</i>	$\Delta = B, N = H$	$\Delta = H, N = H$	$\Delta = O, N = O$
<i>P</i>	<i>C</i>	$\Delta = B, N = H$	$\Delta = C, N = C$	$\Delta = H, N = C$
<i>P</i>	<i>B</i>	$\Delta = B, N = C$	$\Delta = H, N = C$	$\Delta = O, N = C$
<i>B</i>	<i>O</i>	---	---	---
<i>B</i>	<i>H</i>	$\Delta = B, N = C$	$\Delta = C, N = H$	$\Delta = H, N = H$
<i>B</i>	<i>C</i>	$\Delta = B, N = C$	$\Delta = C, N = C$	$\Delta = C, N = H$
<i>B</i>	<i>B</i>	$\Delta = B, N = 3$	$\Delta = B, N = C$	$\Delta = C, N = C$
<i>Ч</i>	<i>O</i>	---	---	---
<i>Ч</i>	<i>H</i>	$\Delta = B, N = C$	$\Delta = C, N = C$	$\Delta = B, N = H$
<i>Ч</i>	<i>C</i>	$\Delta = B, N = 3$	$\Delta = B, N = C$	$\Delta = B, N = H$
<i>Ч</i>	<i>B</i>	$\Delta = B, N = 3$	$\Delta = B, N = 3$	$\Delta = B, N = C$

Выводы. Таким образом, разработан метод выявления коалиций в мультиагентных системах на основе системы нечетких правил, который позволяет определить величину вознаграждения и желательную продолжительность нахождения в коалиции для каждого потенциального агента. Такой метод формирует коалиции в условиях неполноты информации и дает возможность адаптировать систему нечетких правил, на основе которых принимается решение относительно включения данного агента. Кроме того, он обеспечивает расширение модели нечетких интеллектуальных агентов средствами формирования коллективного поведения в рамках единого концептуального подхода.

С.В. Ершов

МЕТОД ФОРМУВАННЯ КОАЛІЦІЙ В МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМАХ
НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ ПРАВИЛ

Розглядається метод виявлення коаліцій у мультиагентних системах на основі системи нечітких правил, який дозволяє визначити величину винагороди і тривалість перебування в коаліції для кожного потенційного агента. Розроблений метод формує коаліції в умовах неповноти інформації і дає можливість адаптувати нечіткі правила, на підставі яких приймається рішення щодо включення агента.

S.V. Yershov

METHOD OF COALITION FORMING IN MULTI-AGENT SYSTEMS BASED ON FUZZY
RULES

Method to identify coalitions in multi-agent systems based on a system of fuzzy rules, which allows to determine the awards and duration of staying in the coalition for each potential agent is investigated. The method developed forms a coalition under incomplete information and allows to adapt the fuzzy rules, based on which a decision on the inclusion of the agent is taken.

1. *Wooldridge M.J.* An Introduction to Multi-agent Systems. – Cambridge: MIT Press, 2002. – 366 p.
2. *Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В.* Многоагентные системы (обзор) // *Новости искусственного интеллекта.* – 1998. – № 2. – С. 8–38.
3. *Парасюк И.Н., Ершов С.В.* Нечеткие модели мультиагентных систем в распределенной среде // *Проблемы програмування.* – 2010. – № 2–3. – С. 330–339.
4. *Парасюк И.Н., Ершов С.В.* Моделе-ориентированная архитектура нечетких мультиагентных систем // *Компьютерная математика.* – 2010. – № 2. – С. 139–149.
5. *Ершов С.В.* Принципы построения нечетких мультиагентных систем в распределенной среде // *Там же.* – 2009. – № 2. – С. 54–61.
6. *Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
7. *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ, 2005. – 736 с.

Получено 05.04.2011

Об авторе:

Ершов Сергей Владимирович,

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник
Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины.
sershv@ukr.net