



# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

И. А. Кириков, С. В. Листопад, Согласование целей агентов сплоченных гибридных интеллектуальных многоагентных систем, *Информ. и её примен.*, 2021, том 15, выпуск 2, 66–71

DOI: 10.14357/19922264210210

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.89

19 февраля 2025 г., 12:29:29



# СОГЛАСОВАНИЕ ЦЕЛЕЙ АГЕНТОВ СПЛОЧЕННЫХ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ\*

И. А. Кириков<sup>1</sup>, С. В. Листопад<sup>2</sup>

**Аннотация:** При разработке интеллектуальной системы как сообщества разнородных интеллектуальных агентов важна организация их взаимодействия. Для снижения трудоемкости этой процедуры предлагаются методами сплоченных гибридных интеллектуальных многоагентных систем (СГИМАС) моделировать механизмы возникновения сплоченности в коллективах специалистов, решающих проблемы «за круглым столом». Агенты таких систем должны быть способны самостоятельно согласовывать цели, модели предметной области и вырабатывать протокол для решения поставленной проблемы. В статье предлагается модель согласования целей агентов СГИМАС.

**Ключевые слова:** сплоченность; гибридная интеллектуальная многоагентная система; коллектив специалистов

**DOI:** 10.14357/19922264210210

## 1 Введение

Решение проблем малыми коллективами специалистов снижает влияние человеческого фактора на вероятность ошибок, обеспечивая возможность комплексного, всестороннего рассмотрения проблемы, учета целей различных заинтересованных сторон. При этом для обеспечения эффективного коллективного решения проблем недостаточно собрать специалистов и обозначить проблему: полярность точек зрения, разнородность знаний, отсутствие принятых норм взаимодействия обуславливают напряженность и конфликтные ситуации. Для эффективной совместной деятельности малая группа в процессе своего развития должна пройти сложный путь от конгломерата незнакомых друг с другом специалистов без общей цели до сплоченного коллектива единомышленников, осуществляющих совместную деятельность и добивающихся результата на основе гармонизации целей, интересов и ценностей [1].

При моделировании гибридными интеллектуальными многоагентными системами (ГиИМАС) совместной работы специалистов по решению тех или иных проблем возникают аналогичные сложности. Агенты системы, собранные из разных репозиторий и построенные разными разработчиками, могут быть несовместимы по языкам передачи сообщений, целям, моделям предметной области или протоколам решения проблем. Для преодо-

ления данных трудностей в [2] предложена модель СГИМАС. В их основу положена концепция функциональных гибридных интеллектуальных систем А. В. Колесникова [3], обеспечивающая учет проблемной неоднородности, многоагентный подход к построению интеллектуальных систем [4–7], позволяющий имитировать взаимодействие специалистов в коллективе, а также стратометрическая концепция (СК) сплоченности А. В. Петровского [8], описывающая условия формирования сплоченного коллектива агентов, понимающих друг друга, разделяющих общие цели и нормы. Цель настоящей работы — разработка модели согласования целей агентов СГИМАС.

## 2 Модель сплоченной гибридной интеллектуальной многоагентной системы

Предложенная в [2] СГИМАС моделирует сплоченность коллектива специалистов на двух из трех уровней СК А. В. Петровского [8] (из-за отсутствия эмоциональной составляющей у агентов уровень эмоциональных межличностных отношений СК не рассматривается):

- (1) ценностно-ориентационное единство (ЦОЕ), т. е. близость основных ценностей и убежде-

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект 20-07-00104а).

<sup>1</sup> Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, baltbipiran@mail.ru

<sup>2</sup> Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, ser-list-post@yandex.ru

ний, возникающая в результате совместной деятельности;

- (2) ядро — единство, обусловленное сходством целей членов коллектива.

Формально СГИМАС [2] описывается следующим выражением:

$$\text{chimas} = \langle \text{AG}, \text{env}, \text{INT}, \text{ORG}, \{\text{glng}, \text{ontng}, \text{protng}\} \rangle, \quad (1)$$

где  $\text{AG}$  — множество агентов системы, описываемых выражением (2), включающее подмножество  $\text{AG}^{\text{sp}} \subseteq \text{AG}$  агентов-специалистов, моделирующих знания и рассуждения специалистов — членов коллектива, агента  $\text{ag}^{\text{dm}} \in \text{AG}$ , принимающего решения (АПР), агента-фасилитатора (АФ)  $\text{ag}^{\text{fc}} \in \text{AG}$ , отвечающего за организацию эффективного взаимодействия агентов системы и формирование сплоченности, а также служебных агентов, обеспечивающих взаимодействие агентов между собой;  $\text{env}$  — концептуальная модель внешней среды СГИМАС;  $\text{INT}$  — множество элементов для структурирования взаимодействий агентов (3);  $\text{ORG}$  — множество архитектур СГИМАС;  $\{\text{glng}, \text{ontng}, \text{protng}\}$  — множество моделей макроуровневых процессов, содержащее модель  $\text{glng}$  согласования целей агентов, обеспечивающую сплоченность на уровне ядра СК, описываемую выражением (5), модель  $\text{ontng}$  согласования онтологий (моделей предметной области) агентов, соответствующая обмену знаниями, опытом и убеждениями между членами коллектива и формированию сплоченности на уровне ЦОЕ, и модель  $\text{protng}$  построения агентами протокола сплоченного решения проблем, имитирующая выработку и интериоризацию членами коллектива норм взаимодействия на уровне ЦОЕ.

Агент  $\text{ag} \in \text{AG}$  из формулы (1) описывается выражением:

$$\text{ag} = \langle \text{id}^{\text{ag}}, \text{gl}^{\text{ag}}, \text{LANG}^{\text{ag}}, \text{ont}^{\text{ag}}, \text{ACT}^{\text{ag}}, \text{prot}^{\text{ag}} \rangle, \quad (2)$$

где  $\text{id}^{\text{ag}}$  — идентификатор (имя) агента;  $\text{gl}^{\text{ag}}$  — цель агента в виде нечеткого множества с функцией принадлежности  $\mu_{\text{id}}(\text{pr}_{\text{id}1}^{\text{cs}}, \dots, \text{pr}_{\text{id}N_{\text{prid}}}^{\text{cs}})$ , заданной на подмножестве концептов-свойств  $\text{PR}_{\text{id}}^{\text{cs}} = \{\text{pr}_{\text{id}1}^{\text{cs}}, \dots, \text{pr}_{\text{id}N_{\text{prid}}}^{\text{cs}}\}$  множества концептов  $\text{PR}_{\text{id}}^{\text{cs}} \subseteq \text{PR}_{\text{id}} \subseteq C_{\text{id}}$  онтологии агента  $\text{ont}^{\text{ag}}$ ;  $\text{LANG}^{\text{ag}} \subseteq \text{LANG}$  — множество языков передачи сообщений, которыми «владеет» агент;  $\text{ont}^{\text{ag}}$  — модель предметной области (онтология) агента, описываемая выражением (4);  $\text{ACT}^{\text{ag}}$  — множество действий, реализуемых агентом;  $\text{prot}^{\text{ag}}$  — модель протокола решения проблемы, разрабатываемая агентом в процессе взаимодействия с другими агентами [4].

Множество элементов для структурирования взаимодействий агентов из формулы (1) описывается выражением:

$$\text{INT} = \{ \text{prot}^{\text{bsc}}, \text{PRC}, \text{LANG}, \text{ont}^{\text{bsc}}, \text{chn} \}, \quad (3)$$

где  $\text{prot}^{\text{bsc}}$  — базовый протокол, обеспечивающий взаимодействие агентов по формированию протокола сплоченного взаимодействия для решения поставленных перед СГИМАС проблем;  $\text{PRC}$  — множество элементов для конструирования протокола решения проблем агентами-специалистами и АПР;  $\text{LANG}$  — множество языков передачи сообщений агентов;  $\text{ont}^{\text{bsc}}$  — базовая онтология, обеспечивающая интерпретацию агентами семантики сообщений по согласованию собственных целей и моделей предметной области, формированию протокола сплоченного взаимодействия, описываемая выражением (4);  $\text{chn}$  — степень сплоченности агентов [2], описывающая степень сходства целей и онтологий, а также согласованности протокола решения проблем.

Модели онтологий агентов  $\text{ont}^{\text{ag}}$  и базовой онтологий  $\text{ont}^{\text{bsc}}$  из выражений (2) и (3) соответственно описываются следующим образом:

$$\text{ont} = \langle L, C, R, \text{AT}, \text{FC}, \text{FR}, \text{FA}, H^c, H^r, \text{INST} \rangle, \quad (4)$$

где  $L = L^c \cup L^r \cup L^{\text{at}} \cup L^{\text{va}}$  — лексикон, множество лексем, состоящее из подмножеств лексем, обозначающих понятия  $L^c$ , отношения  $L^r$ , атрибуты  $L^{\text{at}}$  и их значения  $L^{\text{va}}$ ;  $C$  — множество концептов (понятий);  $R : C \times C$  — множество отношений между концептами, первая компонента кортежа отношения называется доменом  $\text{dm}(r) = \text{Pr}_1(r)$ , а вторая — диапазоном значений отношения  $\text{rn}(r) = \text{Pr}_2(r)$ ;  $\text{AT} : C \times L^{\text{va}}$  — множество атрибутов концептов;  $\text{FC} : 2^{L^c} \rightarrow 2^C$  — функция связи лексикона с концептами;  $\text{FR} : 2^{L^r} \rightarrow 2^R$  — функция связи лексикона с отношениями;  $\text{FA} : L^{\text{at}} \rightarrow \text{AT}$  — функция связи лексикона с атрибутами;  $H^c = C \times C$  — таксономическая иерархия концептов;  $H^r = R \times R$  — иерархия отношений;  $\text{INST}$  — множество экземпляров, концептов единичного объема [9]. Функции  $\text{FC}$  и  $\text{FR}$  предполагают, что в общем случае одна лексема может соответствовать нескольким концептам или отношениям и, наоборот, один концепт или отношение может описываться несколькими лексемами.

### 3 Модель согласования целей агентов

Модель согласования целей агентов описывается выражением:

$$\text{gln}g = \langle \text{glest}, \text{gln}g, \text{GLNM} \rangle, \quad (5)$$

где  $\text{glest}$  — модель оценки сходства целей;  $\text{gln}g$  — модель оценки необходимости согласования целей;  $\text{GLNM} = \{\text{gln}eg, \text{gl}arg, \text{gldmo}\}$  — множество методов согласования, например путем споров  $\text{gl}arg$ , переговоров  $\text{gln}eg$  или на основе распоряжений АПР  $\text{gldmo}$ .

Модель оценки сходства целей пары агентов  $ag_i$  и  $ag_j$ , которая подробно рассмотрена в [10], может быть представлена следующим выражением:

$$\begin{aligned} \text{glest} = & r_1^{\text{act act}}(\text{act}_{\text{cm}}^{\text{ag}}, \text{act}_{\text{cu}}^{\text{ag}}) \circ r_1^{\text{act act}}(\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}, \text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act act}}(\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}, \text{act}_{\text{gsmc}}^{\text{ag}}) \circ r_1^{\text{act pr}}(\text{act}_{\text{cm}}^{\text{ag}}, \text{PR}_i^{\text{cs}}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act c}}(\text{act}_{\text{cm}}^{\text{ag}}, C_j) \circ r_2^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cm}}^{\text{ag}}, \text{MP}_{ij}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cu}}^{\text{ag}}, \text{MP}_{ij}) \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cu}}^{\text{ag}}, \text{ont}_j^{\text{ag}}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cu}}^{\text{ag}}, \text{ont}_j^{\text{ag}}) \circ r_2^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cu}}^{\text{ag}}, \text{MP}_{ij}^{\prime\prime}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}, \text{MP}_{ij}^{\prime\prime}) \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}, \mu_i) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}, \mu_j) \circ r_2^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}, \mu_i^{\prime}) \circ \\ & \circ r_2^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}, \mu_j^{\prime}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{gsmc}}^{\text{ag}}, \mu_i^{\prime}) \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{gsmc}}^{\text{ag}}, \mu_j^{\prime}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{gsmc}}^{\text{ag}}, \text{MP}_{ij}^{\prime\prime}) \circ r_2^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{gsmc}}^{\text{ag}}, \text{gls}_{ij}^{\text{ag}}), \end{aligned}$$

где  $r_1^{\text{act act}}$  — отношение «следование» типа «действие–действие» [3];  $\text{act}_{\text{cm}}^{\text{ag}}$  — действие по установлению соответствия  $\text{MP}_{ij}$  (сходство пары концептов определяется как среднее геометрическое мер лексикографического и таксономического сходства [11]) между концептами-свойствами  $\text{PR}_i^{\text{cs}}$ , на которых определена нечеткая цель агента  $ag_i$ , и концептами  $C_j$  онтологии агента  $ag_j$ , поскольку в онтологиях агентов идентификаторы концептов-свойств, на которых определены цели, и их число могут различаться;  $\text{act}_{\text{cu}}^{\text{ag}}$  — действие по выявлению, объединению и сокращению функционально зависимых концептов в соответствии  $\text{MP}_{ij}$ , в результате чего строится модифицированное соответствие  $\text{MP}_{ij}^{\prime\prime}$  независимых концептов обеих онтологий, на которых определены нечеткие цели агентов  $ag_i$  и  $ag_j$ ;  $\text{act}_{\text{cvr}}^{\text{ag}}$  — действие по замене переменных в функциях принадлежности  $\mu_i$  и  $\mu_j$  нечетких целей агентов, в результате чего формируются модифицированные функции принадлежности  $\mu_i^{\prime}$  и  $\mu_j^{\prime}$ ;  $\text{act}_{\text{gsmc}}^{\text{ag}}$  — действие по расчету значения меры сходства  $\text{gls}_{ij}^{\text{ag}}$  нечетких целей [10] с учетом степени сходства концептов-свойств, на которых они определены;  $r_1^{\text{act pr}}$  — отношение «иметь аргументом» типа «действие–свойство»;  $r_1^{\text{act c}}$  — отношение «иметь аргументом» типа «действие–концепт»;  $r_2^{\text{act res}}$  — отношение «иметь результатом» типа «действие–ресурс»;  $r_1^{\text{act res}}$  — отношение «иметь аргументом» типа «действие–ресурс»;  $\circ$  — операция склеивания концептов [3].

Необходимость согласования целей агентов оценивается АФ в соответствии со своей нечеткой базой знаний, представленной в [12]. Она позволяет АФ организовать работу агентов системы в соответствии с моделью ромба группового принятия решений С. Кейнера [13], содержащей три последовательные фазы: дивергентное коллективное мышление, в ходе которого вырабатываются альтернативные решения проблемы, стадию бурления, на которой необходимо повышать «взаимопонимание» между агентами, сближать их цели, модели предметной области и вырабатывать согласованный протокол решения поставленной проблемы, и стадию конвергентного мышления, когда предложенные альтернативы классифицируются, ранжируются и дорабатываются для принятия интегрированного, устраивающего всех агентов решения. Модель оценки необходимости согласования целей агентов описывается выражением:

$$\begin{aligned} \text{gln}g = & r_1^{\text{act act}}(\text{act}_{\text{dmsa}}^{\text{ag}}, \text{act}_{\text{gnm}}^{\text{ag}}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{dmsa}}^{\text{ag}}, \text{MSG}^{\text{sol}}) \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{dmsa}}^{\text{ag}}, \text{GL}^{\text{ag}}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act st}}(\text{act}_{\text{dmsa}}^{\text{ag}}, \text{pss}^{\text{it}}) \circ r_2^{\text{act st}}(\text{act}_{\text{dmsa}}^{\text{ag}}, \text{pss}^{\text{it}+1}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act st}}(\text{act}_{\text{gnm}}^{\text{ag}}, \text{pss}^{\text{it}+1}) \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{gnm}}^{\text{ag}}, \text{GLNM}) \circ \\ & \circ r_1^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{gnm}}^{\text{ag}}, \text{glnm}^{\text{it}}) \circ r_2^{\text{act res}}(\text{act}_{\text{gnm}}^{\text{ag}}, \text{glnm}^{\text{it}+1}), \end{aligned}$$

где  $\text{act}_{\text{dmsa}}^{\text{ag}}$  — действие по вычислению нечеткой переменной «состояние процесса коллективного решения проблемы»  $\text{pss}^{\text{it}+1}$  на основе множества  $\text{MSG}^{\text{sol}} \subseteq \text{MSG} \subseteq \text{INST}$  сообщений — решений проблемы или ее частей, степени близости целей агентов  $\text{GL}^{\text{ag}}$  и значения переменной на предыдущей итерации  $\text{pss}^{\text{it}}$ ;  $\text{act}_{\text{gnm}}^{\text{ag}}$  — действие по выбору метода  $\text{glnm}^{\text{it}+1}$  согласования целей на новой итерации процесса решения проблемы из множества  $\text{GLNM}$  на основании метода на текущей итерации  $\text{glnm}^{\text{it}}$  и вычисленного значения нечеткой переменной «состояние процесса коллективного решения проблемы»  $\text{pss}^{\text{it}+1}$ ;  $r_1^{\text{act st}}$  — отношение «иметь аргументом» типа «действие–состояние»;  $r_2^{\text{act st}}$  — отношение «иметь результатом» типа «действие–состояние».

Методы согласования целей из множества  $\text{GLNM}$  описывают механизмы изменения целей агентов в процессе их «общения» в форме обмена сообщениями путем споров, переговоров или на основе распоряжений АПР. Споры и переговоры необходимы для повышения сплоченности, когда знания агентов друг о друге или о решаемой проблеме неполны [14]. Корректировка на основе распоряжений АПР имеет серьезный недостаток: АПР вмешивается в систему целеполагания

агентов, моделирующих знания реальных специалистов по решаемой проблеме, что может привести к нерелевантности предлагаемых СГИМАС решений точкам зрения на проблему моделируемых специалистов. В связи с этим данный метод может быть задействован, только если АПР может получить от агентов достоверные сведения об их целях, при этом споры и переговоры не привели к желаемому результату, т. е. после проведения споров и переговоров АФ оценивает «состояние процесса коллективного решения проблемы»  $pss^{it+1}$  как требующее согласования целей агентов. Необходимое условие для выполнения любого из методов согласования целей агентов — согласование онтологий агентов в пределах верхних котопий концептов (множества концептов, содержащего все выше лежащие концепты по таксономической иерархии концептов  $H^c$  по отношению к заданному концепту и сам концепт [11]), на которых определены нечеткие цели.

В ходе споров  $glarg$  агенты обмениваются сообщениями-аргументами, которые направлены на изменение целевой функции агента-адресата. На основе анализа рассмотренных в [14] типов аргументов, применяемых в переговорах специалистов, для согласования целей агентами СГИМАС предлагается использовать следующие механизмы аргументации:

- примеры и контрпримеры, демонстрирующие противоречие между целями агента-адресата и результатами реализации предыдущих его предложений;
- обращение к «сложившейся практике», демонстрирующее, что агенты, ранее выполнявшие в СГИМАС роль, занимаемую агентом-адресатом, придерживались предлагаемой цели, что способствовало высокому качеству коллективных решений;
- апелляция к коллективным целям, чтобы убедить агента-адресата, что корректировка его цели позволит принять решение, соответствующее поставленным перед системой целям.

Получив аргументированное предложение по корректировке своей цели, агент-адресат оценивает изложенные аргументы с использованием функции «анализ аргументов» и в случае согласия с ними корректирует свою цель в соответствии с полученным предложением.

Переговоры агентов по поводу согласования целей  $glneg$  заключаются в формировании сообщений-запросов на корректировку целей и угроз по корректировке собственной цели в сторону, невыгодную адресату сообщения, если предложение будет отвергнуто, или уступок, выгодных для адресата,

если предложение будет принято. Для этого может использоваться метод монотонных минимальных уступок [15]: агенты поочередно отправляют сообщения-предложения, начиная с самых выгодных для себя, и в процессе переговоров монотонно отступают от своих первоначальных требований. В результате множество возможных соглашений относительно целей агентов оказывается состоящим из всех индивидуально рациональных соглашений, эффективных по Парето [4].

В случае необходимости корректировки целей на основе распоряжений АПР агенты-специалисты отправляют ему сообщения о своих целях на текущий момент. Агент, принимающий решения, анализирует множество целей агентов, сопоставляя со своей, и формирует распоряжения для каждого из агентов по корректировке его функции принадлежности нечеткой цели. Получив такое распоряжение, агенты-специалисты корректируют свои цели без дальнейших обсуждений.

Таким образом, предложенная модель и методы согласования целей агентов СГИМАС позволят снизить интенсивность конфликтов, обусловленных различиями в целях агентов, созданных разными группами разработчиков и моделирующих различных специалистов по решаемой проблеме. Благодаря наличию модели оценки необходимости согласования целей АФ может инициировать релевантные ситуации механизмы согласования целей и приостанавливать их использование для предотвращения таких нежелательных эффектов от чрезмерной сплоченности, как конформизм.

## 4 Заключение

Рассмотрены особенности распределенной разработки систем гибридного и синергетического искусственного интеллекта на примере ГиИМАС. С целью снижения трудозатрат на интеграцию автономных частей интеллектуальной системы предложено моделирование механизмов сплочения коллектива, возникающих в длительно существующих группах специалистов, решающих практические проблемы «за круглым столом». Для этих целей предложено разработать новый класс интеллектуальных систем — сплоченные гибридные интеллектуальные системы. Рассмотрена модель системы такого класса и разработана модель согласования целей ее агентов. Механизм согласования целей в ходе решения проблемы позволит агенту вырабатывать решения с учетом не только собственных целей, заложенных разработчиками при моделировании знаний и поведения соответствующего специалиста, но и, хотя бы частично, учитывать цели

агентов, моделирующих других специалистов. Это позволит снизить вероятность досрочного завершения коллективного решения проблемы и принятия никого не устраивающего решения из-за несовместимости целей и точек зрения на проблему.

## Литература

1. *Почебут Л. Г., Чикер В. А.* Организационная социальная психология. — СПб.: Речь, 2002. 298 с.
2. *Listopad S.* Modeling team cohesion using hybrid intelligent multi-agent systems // 2nd Conference (International) on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2020. P. 416–421.
3. *Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В.* Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. — М.: ИПИ РАН, 2014. 189 с.
4. *Тарасов В. Б.* Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте // Новости искусственного интеллекта, 1998. № 2. С. 5–63.
5. *Городецкий В. И., Грушинский М. С., Хабалов А. В.* Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта, 1998. № 2. С. 64–116.
6. *Хорошевский В. Ф.* Поведение интеллектуальных агентов: модели и методы реализации // 4-й Международный семинар по прикладной семиотике, семиотическому и интеллектуальному управлению: Сб. научных трудов. — Переславль-Залесский: РАИИ, 1999. С. 5–20.
7. *Wooldridge M.* An introduction to multiagent systems. — New York, NY, USA: Wiley, 2009. 484 p.
8. *Петровский А. В.* Опыт построения социально-психологической концепции групповой активности // Вопросы психологии, 1973. № 5. С. 3–17.
9. *Крюков К. В., Панкова Л. А., Пронина В. А., Суховеров В. С., Шупилина Л. Б.* Меры семантической близости в онтологии // Проблемы управления, 2010. № 5. С. 2–14.
10. *Listopad S.* Estimating of the similarity of agents' goals in cohesive hybrid intelligent multi-agent system // CEUR Workshop Proceedings, 2020. Vol. 2782. P. 180–185.
11. *Maedche A., Zacharias V.* Clustering ontology-based metadata in the semantic web // Principles of data mining and knowledge discovery / Eds. T. Elomaa, H. Mannila, H. Toivonen. — Lecture notes in artificial intelligence. — Springer, 2002. Vol. 2431. P. 348–360.
12. *Листопад С. В., Румовская С. Б.* Нечеткое управление гетерогенным мышлением агентов гибридной интеллектуальной многоагентной системы // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 4. С. 38–49.
13. *Kaner S., Lind L., Toldi C., Fisk S., Beger D.* The facilitator's guide to participatory decision-making. — San Francisco, CA, USA: Jossey-Bass, 2011. 368 p.
14. *Kraus S., Sycara K., Evenchik A.* Reaching agreements through argumentation: A logical model and implementation // Artif. Intell., 1998. Vol. 104. P. 1–60.
15. *Rosenshein J., Zlotkin G.* Rules of encounter: Designing conventions for automated negotiation among computers. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1994. 253 p.

Поступила в редакцию 05.04.2021

---

---

## COORDINATION OF AGENTS' GOALS IN COHESIVE HYBRID INTELLIGENT MULTIAGENT SYSTEMS

I. A. Kirikov and S. V. Listopad

Kaliningrad Branch of the Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation

**Abstract:** When developing an intelligent system as a community of heterogeneous intelligent agents, it is important to organize their interaction. To reduce the complexity of this procedure, it is proposed to simulate with methods of cohesive hybrid intelligent multiagent systems the mechanisms of cohesion emergence in teams of specialists solving problems "at a round table." Agents of such systems should be able to independently coordinate their goals and domain models and develop a protocol to solve the posed problem. The article proposes a model for coordinating the goals of agents of cohesive hybrid intelligent multiagent systems.

**Keywords:** cohesion; hybrid intelligent multiagent system; team of specialists

**DOI:** 10.14357/19922264210210

## Acknowledgments

The reported study was funded by RFBR, project number 20-07-00104a.

## References

- Pochebut, L. G., and V. A. Chiker. 2002. *Organizatsionnaya sotsial'naya psikhologiya* [Organizational social psychology]. St. Petersburg: Rech. 298 p.
- Listopad, S. 2020. Modeling team cohesion using hybrid intelligent multi-agent systems. *2nd Conference (International) on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. 416–421.
- Kolesnikov, A. V., I. A. Kirikov, and S. V. Listopad. 2014. *Gibridnye intellektual'nye sistemy s samoorganizatsiyey: koordinatsiya, soglasovannost', spor* [Hybrid intelligent systems with self-organization: Coordination, consistency, dispute]. Moscow: IPI RAN. 189 p.
- Tarasov, V. B. 1998. Agenty, mnogoagentnye sistemy, virtual'nye soobshchestva: strategicheskoe napravlenie v informatike i iskusstvennom intellekte [The agents, multi-agent system, virtual communities: Strategic direction in computer science and artificial intelligence]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of Artificial Intelligence] 2:5–63.
- Gorodetskiy, V. I., M. S. Grushinskiy, and A. V. Khabalov. 1998. Mnogoagentnye sistemy (obzor) [Multi-agent systems (review)]. *Novosti iskusstvennogo intellekta* [News of artificial intelligence] 2:64–116.
- Khoroshevskiy, V. F. 1999. Povedenie intellektual'nykh agentov: modeli i metody realizatsii [The behavior of intelligent agents: Models and methods of implementation]. *4th Workshop (International) on Applied Semiotics, Semiotics and Intelligent Management Proceedings*. Pereslavl'-Zalesskiy: RAAI. 5–20.
- Wooldridge, M. 2009. *An introduction to multiagent systems*. New York, NY: Wiley. 484 p.
- Petrovskiy, A. V. 1973. Opyt postroeniya sotsial'no-psikhologicheskoy kontseptsii gruppovoy aktivnosti [The experience of building a socio-psychological concept of group activity]. *Voprosy psikhologii* [Psychology Issues] 5:3–17.
- Kryukov, K. V., L. A. Pankova, V. A. Pronina, V. S. Sukhoverov, and L. B. Shipilina. 2010. Mery semanticheskoy blizosti v ontologii [Measures of semantic proximity in ontology]. *Problemy upravleniya* [Control Sciences] 5:2–14.
- Listopad, S. 2020. Estimating the similarity of agents' goals in cohesive hybrid intelligent multi-agent system. *CEUR Workshop Proceedings*. 2782:180–185.
- Maedche, A., and V. Zacharias. 2002. Clustering ontology-based metadata in the semantic web. *Principles of data mining and knowledge discovery*. Eds. T. Elomaa, H. Mannila, and H. Toivonen. Lecture notes in artificial intelligence ser. Springer. 2431:348–360.
- Listopad, S. V., and S. B. Rumovskaya. 2020. Nechetkoe upravlenie geterogennym myshleniem agentov gibridnoy intellektual'noy mnogoagentnoy sistemy [Fuzzy control of heterogeneous thinking of the hybrid intelligent multi-agent system's agents]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(4):38–49.
- Kaner, S., L. Lind, C. Toldi, S. Fisk, and D. Beger. 2011. *The facilitator's guide to participatory decision-making*. San Francisco, CA: Jossey-Bass. 368 p.
- Kraus, S., K. Sycara, and A. Evenchik. 1998. Reaching agreements through argumentation: A logical model and implementation. *Artif. Intell.* 104:1–60.
- Rosenshein, J., and G. Zlotkin. 1994. *Rules of encounter: Designing conventions for automated negotiation among computers*. Cambridge, MA: MIT Press. 253 p.

Received April 5, 2021

## Contributors

**Kirikov Igor A.** (b. 1955) — Candidate of Science (PhD) in technology, director, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; baltbipiran@mail.ru

**Listopad Sergey V.** (b. 1984) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; ser-list-post@yandex.ru