

УДК 004.82

ПЛАНИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЙ КОАЛИЦИЕЙ АГЕНТОВ: КОММУНИКАЦИОННЫЙ АСПЕКТ

Г. А. Киселёв (*kiselev@isa.ru*)

Федеральный Исследовательский Центр “Информатика и управление” Российской Академии Наук, Москва

А. И. Панов (*pan@isa.ru*)

Федеральный Исследовательский Центр “Информатика и управление” Российской Академии Наук, Москва

Аннотация. В статье приводится аналитический обзор работ по многоагентному планированию, включающий исследования, связанные с построением координационных сообщений агентов, и исследования, основанные на когнитивном подходе к планированию действий гетерогенными агентами. В заключении приведен метод составления сообщений агентами на основе психологически правдоподобной модели представления знаний.¹

Ключевые слова: многоагентное планирование, многоагентные системы, компьютерное когнитивное моделирование, коммуникации агентов, знаковая картина мира

Введение

В статье приведен аналитический обзор работ по теме многоагентного планирования с использованием сообщений для координации действий между агентами и предложен алгоритм многоагентного гетерогенного планирования MultiMAP. Существуют различные протоколы организации взаимодействия агентов, такие как аукционы, договорные сети, протоколы с использованием агентов-посредников и другие [ГІРА; Тарасов, 2002]. Ключевыми критериями для установления взаимодействия агентов являются ситуации наличия совместных целей агентов, нехватки ресурсов для самостоятельного достижения цели, неспособность агента решить поставленную задачу самостоятельно или принятые агентом обязательства по оказанию услуг другому агенту. При наличии совместных целей у агентов возникают ситуации, в которых становится выгодно вступать в

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-37-60055 мол_a_дк и 17-07-00281 а).

кооперацию и действовать совместно, дополняя действия друг друга. Если у агента ощущается нехватка одного вида ресурсов, но присутствует избыток другого вида, агенты способны обмениваться ресурсами для удовлетворения собственных потребностей. Далее в обзоре будут рассмотрены работы, посвященные многоагентному планированию с использованием различных способов коммуникации между агентами, даны основные характеристики численного и когнитивного подходов. В заключение предлагается метод, позволяющий преодолеть основные недостатки рассмотренных в обзоре алгоритмов.

1. Планирование в многоагентной системе

Следуя [Granatyr, 2015] выделим 3 основных типа многоагентных систем: системы, основанные на когнитивном подходе, на численном и на гибридном. Когнитивный подход связан с моделированием убеждений и внутреннего состояниями агентов. Вводится понятие доверия, которое является степенью готовности агента взаимодействовать с другим агентом. В когнитивном подходе к многоагентному планированию доверие используется в качестве шкалы оценки вероятности установления взаимодействия с другим когнитивным агентом. В качестве примера такого подхода можно привести архитектуру BDI [Sabater, 2005]. Первая когнитивная модель была предложена [Castelfranchi, 2001], где внутреннее состояние агента состояло из когнитивных элементов, таких как цель, способность, компетентность и зависимость. Другим примером является модель, предложенная [Neville, 2004], которая основана на социальной теории доверия, репутации, рекомендации и обучения через непосредственный опыт, интегрированный в механизм рассуждения агента. Модель [Carter, 2003] учитывает сочетание чувства собственного достоинства, репутации и фамильярности среди агентов, в то время как [Zhang, 2007] утверждают, что близость напрямую влияет на доверие. Когнитивный подход позволяет создавать многоагентные системы, в которых взаимоотношения между агентами выстраиваются с использованием психологических подходов, удовлетворяющих антропоморфной модели поведения. В рамках задач многоагентного планирования этот подход позволяет в одном формализме описывать действия интеллектуальных искусственных агентов и действия человека.

Численный подход не использует когнитивные представления и основывается на реактивной архитектуре. Этот подход основан на численном агрегировании прошлых взаимодействий и представляет набор субъективных вероятностей того, что агенты будут правильно выполнять поставленную задачу. В рамках численного подхода упрощается процесс расширения системы новыми агентами и унифицируются правила

построения взаимоотношений между агентами, но теряется возможность использования интеллектуальных агентов в качестве помощников при реализации многоагентного процесса планирования, участниками которого могут выступать люди.

Также стоит отметить гибридные подходы, которые используют обе парадигмы, такие как [Matt, 2010] [Parsons, 2011]. Эти модели являются когнитивными, потому что они основаны на убеждениях и численными, потому что они используют численные агрегации. Подходы такого типа позволяют использовать возможности как численного, так и когнитивного подходов, позволяя реализовывать взаимодействия между искусственным агентом и человеком, расширяя базовые способы взаимодействия за счёт представления знаний, включающее представления о других агентах. Также, в гибридных подходах к многоагентному планированию существует возможность увеличения числа участников коллаборации за счёт агентов окружающей среды, минимизируя затраты на установление взаимодействия с ними из-за построения унифицированного механизма взаимодействий, например, на основе речевых актов естественного языка.

Рассмотрим представленные подходы к многоагентному планированию подробнее и отметим сильные и слабые стороны различных алгоритмов.

2. Численный подход

В статье [Jones, 2006] рассматривается подход, основанный на отсутствии возможности агентов самостоятельно достигнуть поставленных целей. Агенты, представленные роботами Segway и Pioneer, взаимодействуют при решении задачи поиска ресурсов, дополняя способности друг друга, выполняя задачи визуального нахождения требуемого объекта и построения карты местности, в которой происходит их действие. В статье была реализована многоуровневая архитектура, позволяющая абстрагироваться от реализации механизмов рассылки сообщений другим искусственным интеллектуальным агентам и позволяющая использовать единый унифицированный механизм переговоров для любого из участников гетерогенной группы.

Агенты в коллективах не всегда способны и желают раскрывать свои личные данные и возможности другим агентам, участвуя в аукционах, либо любых других публичных актах создания коалиции. Для реализации такого подхода в рамках процесса многоагентного планирования может использоваться модель, предложенная в статье [Jakubův, 2015]. В работе описывается подход к планированию с использованием многоагентной версии языка PDDL. Факты задачи разбиваются каждым агентом на три подгруппы: публичные, внутренние и релевантные. Для каждого агента создается локальная проблема планирования, которая состоит из общей

проблемы планирования составленной из фактов, релевантных для агента. Множество решений задачи планирования представляется в виде недетерминированного конечного автомата. В статье описывается построение полных и частичных конечных планировочных автоматов. В процессе планирования для каждого конечного планировочного автомата (PSM) строится его публичная проекция, которая представляет публичную проекцию решений, составленную из публичных фактов. Следующим шагом, после построения PSM для каждой локальной проблемы агентов является процесс поиска их пересечений. После нахождения пересечения всех PSM, любое решение, входящее в это множество будет являться публичным решением исходной задачи планирования. Агенты посылают друг друга сообщения, в которых указывают публичную проекцию своего PSM. Каждый из агентов осуществляет процесс планирования в рамках соображений о приоритизации действий, который заключается в предпочтении внутренних действий агента публичным и в предпочтении личных публичных действий публичным действиям других агентов.

В статье [Guo, 2016] описан процесс многоагентного планирования, включающий разделение агентов по гомогенным группам. Окружающая агентов среда разделяется на области, у каждого агента существуют представления о времени перехода в каждую из областей и о действиях, которые он может в ней совершить. Для коммуникации агентов используется двухслойная сеть коммуникаций и создаются группы коммуникаций, которые позволяют выбирать агента-координатора внутри группы агентов и предоставляют его координаты всем агентам других групп. На первом слое агент коммуницирует только со своей группой и может отправить сообщение любому из агентов своей группы, на втором слое агент может отправить сообщение любому из ближайших агентов. Все действия агентов разделяются на три группы: действия личные для агента, коллаборативные и вспомогательные. Агент может инициировать личные и коллаборативные действия. Процесс планирования осуществляется с использованием недетерминированных конечных автоматов. В начальный момент времени агент самостоятельно пробует достичь всех целевых состояний, если у него это не получается, то он извещает всех остальных агентов о требуемой помощи. Были разработаны различные типы сообщений, включающие сообщения о запросе помощи, ответы на сообщения такого типа и запросы помощи к группам других агентов. В группах гомогенных агентов существует возможность обмена частями полученных планов с другим агентом, для чего были описаны правила обмена, включающие последовательность выполнения действий агентами. Описанный в статье протокол построения многоагентных коммуникаций позволяет искусственным интеллектуальным агентам разделять обязанности при совершении действий в процессе многоагентного

планирования, а также упрощает процесс поиска новых агентов, унифицируя алгоритм увеличения численности группы гомогенных агентов за счёт уведомления о поступлении нового агента только ближайших агентов и агента-координатора группы. Использование численного подхода к многоагентному планированию позволяет увеличивать коллектив агентов-спутников гетерогенными агентами, унифицируя механизмы распределения ролей между спутниками и адаптацию полученных сообщений. Один агент может иметь одну или обе роли и переключаться между ними во время выполнения действий в зависимости от ситуации, с которой он сталкивается. Агенты, имеющие ограниченную роль, управляют ограничениями, которые должны быть удовлетворены, в то время как агенты, имеющие служебную роль используются для помощи агентам с ограниченной ролью.

Численный подход к многоагентному планированию позволяет выстраивать чёткую взаимосвязь между агентами, грамотно распределять роли между агентами, минимизируя ресурсы, потребляемые агентами в процессе выполнения плана, но не позволяет создавать условия для установления взаимодействия между искусственным агентом и человеком, что в свою очередь можно осуществить с помощью когнитивного подхода к планированию.

3. Когнитивный подход

В рамках многоагентного когнитивного планирования агенты формируют коалиции для совершения требуемых действий, основываясь на своих убеждениях и предпочтениях. Убеждения агента могут формироваться на основе взаимодействий с другим агентом, социальных норм, принятых в обществе, в котором находится агент, либо на основе психологического состояния самого агента. Как утверждалось ранее доверие является немаловажным фактором для построения многоагентных взаимоотношений. В рамках многоагентного планирования понятие доверия используется в качестве оценочного критерия отбора агентов для построения совместного плана работ. В статье [Granatyr, 2015] утверждается, что непосредственное взаимодействие важно для установки взаимного доверия, но не необходимо. Желая купить что-то у агента «В», агент «А» исследует прецеденты действия агента «В», составляя характеристику его благонадежности. Помимо выбора, основанного на прецедентах у агента может быть список предубеждений, следуя которому он совершает выбор об установлении взаимодействий с другим агентом, либо об их отсутствии. Многоагентная система может иметь список правил, являющихся социальными нормами, схожими для всех агентов. Примером многоагентной системы с правилами поведения агентов

является модель, описанная в статье [Carter, 2002], в которой надежность системы оценивается с помощью четырех основных правил: интерактивность, предоставление контента, обратная связь и долговечность.

В статье [Roy, 2005] более детально представлены механизмы рассуждений когнитивных агентов и описываются внутренние представления окружающей среды агентом, как о наборе объектов со свойствами, которые участвуют в событиях, вызванных агентами. Были сформулированы свойства, которыми должен обладать язык агентов:

1. Унификация репрезентативных примитивов: объекты, свойства, события и ситуации должны быть построены из одного и того же набора базовых примитивов. Это требование необходимо для перевода убеждений агента о конкретных объектах и ситуациях в ожидания результатов действий, связанных с этими объектами.

2. Кросс-модальная переносимость: информация, полученная от восприятия и языка, должна быть интерпретирована в общую репрезентативную форму для проектирования агентов, способных дискутировать о том, что они наблюдают и делают.

3. Интегрированное пространство действий: двигательные акты (например, склонение к разрешению визуальной неопределенности) и речевые акты (например, формулировка вопроса для разрешения визуальной двусмысленности - «это чашка или банка?») должны выражаться в едином интегрированном пространстве действий, чтобы агент мог совместно планировать свои действия с речевыми и двигательными актами для достижения целей.

В статье используются указатели на объекты, которые были названы знаками. Знаки могут состоять из других знаков. Знаки интерпретируются информационными структурами, которые модифицируются перцептивной информацией и называются схемами. Взаимодействие между схемами и окружающей средой опосредуются восприятием и двигательным действием. Описываются два вида схем:

1. С проекции сенсоров выстраивается аналоговый знак объекта.

2. Схема — трансформатор. С помощью схемы такого типа формируется суждение об объекте исходя из его признаков.

В статье было сформулировано понятие категориальных убеждений. Категориальные убеждения рассматриваются как убеждения относительно ответов на вербальные вопросы, которые можно задавать об аналоговых наблюдениях. Каждый раз, когда агент выполняет примитив действия, результат является категориальным знаком о мире, на который агент воздействовал. Также используются индексные знаки — знаки, отвечающие за пространственное расположение агента и объектов. Схемы учитывают цели в отношении объектов и предоставляют прогнозы

результатов последовательностей действий, которые получают желаемый результат. Язык состоит из речевых актов, представленных в статье каноническими целевыми знаками. Как и все знаки, целевые знаки являются физическими шаблонами, которые обозначают что-то для кого-то. Ссылка от целевого знака к означенному устанавливается соглашениями, согласованными сообществом агентов целевого знака. Речевые акты состоят из лексических единиц, составленных с помощью грамматик. В статье используются описания и директивы, являющиеся утверждениями о состоянии мира и запросами на действия. Речевые акты могут быть как описательными, так и директивными. Описания и директивы составляются из расчёта влияния на ощущение окружающей среды другими агентами и используют способности агента предсказывать действия других агентов. Директивные речевые акты интерпретируются в схемы целей, которые агент может выбрать для достижения в процессе планирования действий. Описательные речевые акты интерпретируются в экзистенциальные убеждения, представленные через схемы, которые совместимы посредством восприятия и действия. В работе был описан подход к представлению знаний об окружающем мире интеллектуальным агентом, но не было выделено личностной составляющей агента в обществе других агентов. Преднамеренные знаки, используемые в качестве речевых актов, не отражают пожеланий агента касательно внутренних состояний других агентов коммуникации, но отражают описание среды и желаемые действия агентов. Подход описанный в статье является когнитивным и может быть использован для реализации процесса многоагентного планирования с использованием не только искусственных агентов, но и человека.

В статье [Schrodt, 2017] рассматривается интеллектуальная когнитивная архитектура, которая позволяет извлекать символические концептуальные структуры из непрерывного сенсомоторного опыта. В результате формируются развивающиеся правила и семантические символы для описания сенсомоторных действий. Правила последовательных действий приобретаются из опыта действия. Описываемая архитектура имеет название SEMLINCS. Был рассмотрен пример на основе известной игры MARIO, где в процессе анализа действий агента архитектура выдвигала предположения по поводу последствий действий, основываясь на полученном ранее опыте. Общение с пользователем игры формируется на основе контекстно-свободной грамматики с использованием схем действий, что позволяет формулировать содержательные советы относительно прогнозируемых результатов действий. Пользователь может формировать не только запросы на реализацию определённого действия, но и формулировать сложную цель, состоящую из последовательности действий. В систему были интегрированы средства распознавания речи

CMU Sphinx-4 [SPHINX-4], основанные на скрытых марковских моделях. Во время распознавания речи каждое распознанное предложение соответствует определенному пути через график, порожденный определенной контекстно-свободной входной грамматикой. Подход, описанный в статье позволяет производить обучение агента за счёт вербальных взаимодействий и даёт возможность абстрагироваться от составления точной последовательности действий в качестве плана, высказывая только пожелания более высокого уровня абстракции. В статье не описана возможность многоагентных коммуникаций с целью распределения ролей агентов в коллективе.

4. Гибридный подход

Как было сказано в п. 1 ни когнитивный ни численный подходы к планированию сами по себе не способны решать многоагентную гетерогенную задачу планирования с использованием в качестве агентов как интеллектуальный роботизированных платформ, так и людей, и одновременно быть открытыми для увеличения участников коллаборации за счёт агентов окружающей среды. Численные методы, позволяющие увеличивать коллаборацию для использования новых искусственных агентов не могут обеспечить полноценную взаимосвязь с человеком, а когнитивным методам не хватает возможностей для создания единого представления знаний среди всех агентов, которое позволило бы с большой скоростью включать новых агентов в процесс планирования. Для таких целей используются гибридные подходы, основанные на психологически правдоподобных способах представления знаний.

Основываясь на психологическом подходе к представлению знаний, которое может быть использовано при осуществлении процесса планирования деятельности, описанном в статьях [Осипов, 2014; Осипов, 2015; Панов, 2015; Панов, 2016] была создана когнитивная архитектура, позволяющая не только выстраивать базис планирования, но и сохранять прецеденты деятельности, облегчая и ускоряя процесс действия в текущих ограничениях для интеллектуальных агентов. В работах описывается знаковый подход к представлению знаний, в котором для всех объектов и агентов окружающей среды, а также для всех действий, отношений на множестве объектов, абстрактных ролей объектов в действиях в картине мира субъекта деятельности имеются психологически правдоподобные четырёхкомпонентные структуры, названные знаками. Знак имеет имя, значение, образ и личностный смысл. Все компоненты знака кроме имени представляются фрагментами семантических сети, состоящих из каузальных матриц, включающих в себя ссылки на другие знаки. Все знаки включены в единую семиотическую сеть, которая

является моделью картины мира интеллектуального агента. В статье [Kiselev, 2017] был предложен многоагентный подход к планированию MultiMap, использующий знаки «Я» и «Другой» для осуществления процесса распределения действий между агентами.

5. Коммуникативные действия агентов

В рамках многоагентного подхода к решению задачи планирования в знаковой картине мира предлагается использовать действия по отправке сообщений, позволяющие гетерогенным агентам совместно строить план и связываться друг с другом с помощью сообщений, составленных на некотором подмножестве естественного языка. Для реализации коммуникационных действий между агентами в алгоритме используются речевые акты, основанные на лексемах, интерпретирующих элементы каузальной сети значений интеллектуального агента в словоформы естественного языка. Сообщения агентов составляются с помощью общей для всех агентов каузальной сети значений и могут быть использованы для реализации общения между искусственным агентом и человеком. Требования к искусственным агентам заключаются в наличии средств для реализации кодирования требуемой последовательности действий в естественный язык из личной знаковой картины мира, распознавания и означивания полученных ответов. Каждым из агентов используется знак «Согласовать» для обозначения процесса сложного действия по установлению соединения и совершению коммуникационного акта с другими агентами. Действие «Согласовать» описывает набор поведений агента, каждое из которых применяется в зависимости от требований текущей ситуации. В коммуникационное поведение агента входят действия по объявлению намерений агента через широкоэвещательный канал связи, либо непосредственная отправка сообщения другому агенту лично. Далее представлен алгоритм MultiMAP, в котором описан знаковый подход к многоагентному планированию с использованием сообщений.

Алгоритм 1. Алгоритм MultiMAP

1. manager = Manager_init(task_name, domain_name)
2. agents = manager.start_agents
3. for agent in agents:
4. task = agent.ground(manager.task)
5. agent.plan = agent.map_search(task)
6. plans.append(agent.plan)
7. def map_search(task):
8. plans = map_iteration(plans)
9. longest_cooperations = find_longest(plans)

```

10.     min_agents = find_min(longest_cooperations)
11.     with_me = with_me(min_agents)
12.     return with_me
13. for agent in agents:
14.     message = ""
15.     for action, sit in agent.plan:
16.         message += Tmessage(action, sit)
17.     agent.mes = message
18. for agent in agents:
19. if len(set(plans)) > 1:
20.     agent.auction_cooperate(agent.mes)
21. else:
22.     agent.send_message(agent.mes)

```

В алгоритме MultiMAP на шагах 1-2 происходит процесс запуска агентов планирования и на вход алгоритма подается описание задачи на языке ML-PDDL [Alfonso, 2005]. На шагах 3-12 происходит процесс означивания и поиска всех возможных планов агентами, процесс подробно описан в статье [Kiselev, 2017]. Отличия составляют шаги 9-11, на шаге 9 среди всех найденных планов выбираются планы, в которых максимально количество последовательных действий агента, на шаге 10 из полученных планов выбираются планы с наименьшим количеством участвующих агентов и на шаге 11 из оставшихся планов выбирается план с участием планирующего агента. На шагах 13-17 каждый из агентов трансформирует полученный план с помощью лексем естественного языка в сообщении. Алгоритм составления сообщения на естественном языке заключается в сопоставлении знаков, входящих в каузальные матрицы знаков ситуаций на сети значений, включенных в план и шаблонизированных лингвистических предикатов. На шагах 19-22 осуществляется согласование полученных планов. Если планы агентов не совпадают, то осуществляется аукцион по итогам которого выбирается план, за который проголосовало большинство агентов, если же планы агентов совпадают, то все агенты уведомляются об окончании процесса планирования.

Единый способ представления знаний, построенный, основываясь на психологических подходах к деятельности человека, предоставляет возможность использовать подход к многоагентному планированию для коллективов агентов, включающих как искусственные агенты, так и человека. В отличие от других гибридных подходов к многоагентному планированию, в подходе, который описывается в статье, используется единая сеть значений, что позволяет значительно ускорять распознавание команд искусственным агентом и реализацию последующей совместной деятельности.

Заключение

В статье были описаны численные, когнитивные и гибридные подходы к многоагентному планированию, рассмотрены их недостатки и достоинства. Основываясь на психологически подобной модели представления знаний была сформулирована модель нового гибридного подхода к многоагентному планированию, с использованием коммуникационных действий между агентами на подмножестве естественного языка.

Список литературы

- [Alfonso, 2005] Alfonso E Gerevini and Derek Long. Plan Constraints and Preferences in PDDL3. Technical Report, pages 1–12, 2005.
- [Carter, 2003] J. Carter and A. A. Ghorbani. 2003. Value centric trust in multiagent systems. In Proceedings of IEEE/WIC International Conference on Web Intelligence (WI 2003).
- [Carter, 2002] J. Carter, E. Bitting, and A. A. Ghorbani. 2002. Reputation formalization for an information sharing multi-agent system. In Computational Intelligence 18, 2, 515–534.
- [Castelfranchi, 2001] C. Castelfranchi and R. Falcone. 2001. Social trust: A cognitive approach. In Trust and Deception in Virtual Societies, pp. 55–90. Kluwer Academic Publishers.
- [FIPA] The Foundation for Intelligent Physical Agents. (2002). *FIPA Communicative Act Library Specification*. *FIPA TC Communication*. Retrieved from <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/>
- [Guo, 2016] Guo, M., & Dimarogonas, D. V. (2016). Task and Motion Coordination for Heterogeneous Multiagent Systems With Loosely Coupled Local Tasks, 1–12. <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2628389>
- [Hadad, 2013] Hadad M. [и др.]. Group planning with time constraints / M. Hadad, S. Kraus, I. Ben-Arroyo Hartman, A. Rosenfeld, 2013, 243–291 с.
- [Jakubův, 2015] Jakubův, J., Tožička, J., & Komenda, A. (2015). Multiagent Planning by Plan Set Intersection and Plan Verification. *Proceedings of 7th ICAART*, 173–182. <https://doi.org/10.5220/0005222101730182>
- [Jones, 2006] Jones E.G. [и др.]. Dynamically formed heterogeneous robot teams performing tightly-coordinated tasks 2006. 570–575 с.
- [Kiselev, 2017] Kiselev G.A., Panov A.I. Synthesis of the Behavior Plan for Group of Robots with Sign Based World Model.
- [Matt, 2010] P. A. Matt, M. Morge, and F. Toni. 2010. Combining statistics and arguments to compute trust. In Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems, pp. 209–216, Toronto, Canada.
- [Neville, 2004] B. Neville and J. Pitt. 2004. A computational framework for social agents in agent mediated e-commerce. In Proceedings of the Seventh International Workshop on Trust in Agent Societies, R. Falcone, S. Barber, L. Korba, and M. Singh, Eds., New York, July 2004, 83–91.

- [Parsons, 2011] S. Parsons, Y. Tang, E. Sklar, P. McBurney, and Cai. K. 2011. Argumentation-based reasoning in agents with varying degrees of trust. In Proceedings of the 10th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems. 879–886.
- [Roy, 2005] Roy D. Semiotic schemas: A framework for grounding language in action and perception // *Artificial Intelligence*. 2005. № 1–2 (167). С. 170–205.
- [Sabater, 2005] Sabater, J., & Sierra, C. (2005). Review on computational trust and reputation models. *Artificial Intelligence Review*, 24(1), 33–60. <https://doi.org/10.1007/s10462-004-0041-5>
- [Schrodt, 2017] Schrodt F. [и др.]. Mario Becomes Cognitive // *Topics in Cognitive Science*. 2017. С. 1–31.
- [SPHINX-4] Lamere, P., Kwok, P., Gouvea, E., Raj, B., Singh, R., Walker, W., ... Wolf, P. (2003). The CMU SPHINX-4 speech recognition system. *IEEE Intl. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2003), Hong Kong, 1*, 2–5.
- [Zhang, 2007] J. Zhang, A. A.Ghorbani, and R. Cohen. 2007. A familiarity-based trustmodel for effective selection of sellers in multiagent e-commerce systems. *International Journal of Information Security* 6, 5, 333–344.
- [Осипов, 2014] Осипов Г.С., Панов А.И., Чудова Н.В. Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2014. № 4. С. 49–62.
- [Осипов, 2015] Осипов Г.С., Панов А.И., Чудова Н.В. Управление поведением как функция сознания. II. Синтез плана поведения // *Известия Российской академии наук. Теория и системы управления*. 2015. № 6. С. 47–61.
- [Панов, 2015] Панов А.И. Представление знаний автономных агентов, планирующих согласованные перемещения // *Робототехника и техническая кибернетика*. 2015. № 4(9). С. 34–40.
- [Панов, 2016] Панов А.И., Яковлев К.С. Взаимодействие стратегического и тактического планирования поведения коалиций агентов в динамической среде // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2016. № 4. С. 68–78.
- [Тарасов, 2002] Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.