

Управление планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем

Л. К. Птицына¹, Н. Эль Сабаяр Шевченко¹, Н. А. Птицын¹, М. П. Белов²

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

ptitsina_lk@inbox.ru, nzs.vus@gmail.com, nikita_pti@inbox.ru, milesa58@mail.ru

Аннотация. Показана актуальность развития технологического сопровождения жизненного цикла интеллектуальных мультиагентных систем. Рассмотрены причины высокой значимости планирования действий интеллектуальных мультиагентных систем. Представлены основания объективной необходимости управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем. Предложено создание подсистемы для управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем. Раскрыты особенности формирования и обновления информационного обеспечения предлагаемой подсистемы. Ранжированы критерии отбора планировщиков для интеллектуальных мультиагентных систем. Описаны модели и методы генерации математического обеспечения для подсистемы управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем.

Ключевые слова: мультиагентная система; планирование действий; управление планированием; математическое обеспечение; генерация

I. АКТУАЛЬНОСТЬ И ЗНАЧИМОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЕМ ДЕЙСТВИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Стремлением предприятий, организаций и корпораций обеспечить устойчивую конкурентоспособность выпускаемой продукции и оказываемых услуг на внутренних и внешних рынках обуславливается интенсивное расширение масштабов внедрения и развития цифровых технологий со средствами и системами искусственного интеллекта.

Одна из определяющих позиций в прорывных цифровых технологиях отводится инфотелекоммуникационным технологиям. Указанные технологии характеризуются огромным потенциалом для повышения производительности труда, создания новых артефактов, выведения в массовое пользование новых услуг и успешного выхода на новые рынки сбыта производимой продукции. При этом обеспечивается крупномасштабность реализуемых задач импортозамещения и импортоопережения.

Благодаря современным достижениям в области искусственного интеллекта и развитию инфотелекоммуникационных технологий расширяется сфера применения интеллектуальных мультиагентных систем. Подобные артефакты становятся востребованными объектами в информационных инфраструктурах, безлюдном производстве, промышленной безопасности, информационной безопасности, сервис-ориентированных системах, электронных платёжных системах, беспилотных

транспортных системах и иных сферах, имеющих высокую социальную значимость.

В интеллектуальных мультиагентных системах реализуется сквозная связанность различных сочетаний интеллектуальных технологий. Характер сочетаний предопределяется назначением интеллектуальных мультиагентных систем и особенностями их целеполагания [1–7].

Для преодоления априорной неопределенности в знаниях о ситуациях в окружающей среде применяются сочетания нейросетевых и агентных технологий [1, 4, 5].

Для обеспечения гарантий качества достижения мультиагентными системами поставленных целей сочетания нейросетевых и агентных технологий дополняются высокопроизводительными технологиями с вычислительным интеллектом [3, 6, 8, 9, 2].

На вычислительный интеллект возлагаются задачи планирования действий агентов, оценивания и контроля качества планирования, выбора планировщиков действий, взаимодействия агентов в составе мультиагентной системы, оценивания и контроля достижимости поставленных целей. В вычислительном интеллекте оценивание и контроль качества планирования, оценивание и контроль достижимости поставленных целей осуществляется с помощью модельно-аналитического интеллекта.

Первоосновой для достижения интеллектуальными мультиагентными системами поставленных целей является планирование их действий [10]. В связи с этим наблюдается непрерывное развитие принципов, моделей, методов и средств определения, оценивания и контроля качества планирования действий агентов и мультиагентных систем в целом [2–6, 8, 9].

Современный уровень достижений в области исследований планировщиков действий интеллектуальных информационных агентов позволяет поставить и решить задачу управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем.

II. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЕМ ДЕЙСТВИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Важностью и значимостью планирования действий интеллектуальных мультиагентных систем, а также многообразием различий в средах их функционирования и целеполаганиях предопределяется объективная необходимость организации подсистемы управления планированием.

В соответствии с накопленным опытом проведения исследований процессов планирования интеллектуальных информационных агентов и мультиагентных систем предлагается провести декомпозицию задачи управления планированием их действий.

При декомпозиции выделяются два взаимосвязанных в итерациях уровня управления.

На первом уровне управления проводится:

- анализ планирования действий агентов, входящих в состав интеллектуальной мультиагентной системы;
- выбор планировщика действий с определением его функционального, параметрического и качественного профиля для каждого агента применительно к различным ситуациям, наблюдаемым в окружающей их среде.

При решении задачи выбора планировщика действий для каждого агента предусматривается два варианта. Первый вариант ориентируется на рациональный выбор, а второй – на оптимальный выбор в контексте целеполагания.

На втором уровне управления выполняется:

- анализ различных допустимых вариантов интеграции планировщиков всех агентов, включенных в состав интеллектуальной мультиагентной системы;
- выбор варианта объединения и взаимодействия агентов с определением его функционального, параметрического и качественного профиля для каждой гипотетически возможной ситуации, происходящей во внешней среде.

При решении задачи выбора варианта объединения и взаимодействия агентов различаются также два варианта. При первом варианте проводится рациональный выбор, а при втором – оптимальный.

На втором уровне при выборе фигурирует представление целеполагания для мультиагентной системы.

Итеративная связь двух уровней решений задачи планирования активизируется до тех пор, пока прогнозируемая подсистемой управления достижимость цели, поставленная перед интеллектуальной мультиагентной системой, не согласуется с требуемой.

Вид планировщика, функциональный, параметрический и качественный профили для каждого агента применительно к различным ситуациям, наблюдаемым в окружающей их среде, передаются с первого уровня на второй уровень решения задачи управления действиями мультиагентной системы.

В связывании двух уровней в итерациях предусматривается обратная связь. Активизация обратной связи осуществляется в случае несоблюдения требований к достижимости цели.

В обратной связи фиксируются такие сочетания функциональных и параметрических профилей планировщиков действий агентов, которые не приводят к требуемой достижимости цели.

При управлении планированием действий интеллектуальных мультиагентных различаются два типа обратной связи.

В первом типе обратной связи осуществляется пересмотр параметрического профиля планировщиков агентов, входящих в интеллектуальную мультиагентную систему. Первый тип обратной связи в итерациях опережает во времени второй тип.

Во втором типе обратной связи инициируется введение изменений в функциональный профиль планировщиков образующих агентов.

Переход к реализации второго типа обратной связи осуществляется только в том случае, когда всевозможные допустимые изменения параметрического профиля агентов не приводят к требуемой достижимости цели. После регистрации подобного события в подсистеме управления осуществляется переход к использованию вариаций в функциональных профилях планировщиков агентов.

III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЕМ ДЕЙСТВИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ

Математическое обеспечение подсистем управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем образуется посредством объединения двух составляющих.

Первая составляющая рассматриваемого математического обеспечения обеспечивает анализ планирования действий агентов и выбор наилучшего или оптимального алгоритма планирования для каждого агента.

Анализ и выбор алгоритмов планирования действий агентов может выполняться двумя путями.

Первый путь анализа планирования действий агентов основывается на структурном описании задействованных алгоритмов [10].

Структурное описание задействованных алгоритмов планирования проводится в контексте обобщенного описания.

В обобщенном описании выделяются процедуры конструктора решений и выбора подцели, консервации, оптимизации. В структурном описании алгоритма каждого планирования указываются используемые и неиспользуемые процедуры обобщенного планирования.

В первом пути требуются результаты анализа процессов применения реализованных планировщиков применительно к той предметной деятельности, в которой уже применяются созданные интеллектуальные мультиагентные системы. При таком анализе учитываются как универсальные, так и специализированные показатели качества планирования.

Априорная неопределенность знания о влиянии факторов, не вошедших в структурное описание, на качество планирования преодолевается поэтапно.

На первом этапе осуществляется проверка гипотез о значимости влияния факторов на показатели качества функционирования реализованных планировщиков [10].

На втором этапе априорная неопределенность знания о влиянии факторов, не вошедших в структурное описание, на качество планирования преодолевается посредством применения регрессионных и нейросетевых формализаций [5].

Выбор планировщиков для каждого агента может осуществляться одним из двух вариантов:

- по результатам ранжирования показателей качества их планирования;
- по результатам решения задачи оптимизации.

При решении задачи оптимизации различаются две категории задач планирования: распределенное планирование и оперативное планирование. Для этого при определении критериев оптимизации используются комбинации универсальных и специализированных показателей качества планирования. В комбинациях могут применяться значимости соответствующих показателей качества планирования действий интеллектуальных агентов, представленные в [10].

В каждой из указанных категорий задач планирования учитываются как универсальные показатели качества планирования, так и специализированные.

Таким образом, первый путь формирования математического обеспечения первого уровня управления приемлем для действующих интеллектуальных мультиагентных систем.

Второй путь анализа и выбора алгоритмов планирования действий агентов на первом уровне управления основывается на использовании модельно-аналитического интеллекта, определяющего и оценивающего показатели качества планирования.

Модельно-аналитический интеллект для каждого планировщика генерируется посредством реализации методик, представленных в [3, 6, 8, 9].

В представляемых методиках генерации предусматривается:

- выбор типа статистического профиля качества планирования действий каждого агента;
- построение объектно-ориентированных моделей планирования действий каждого агента;
- формирование расширенных объектно-ориентированных моделей планирования действий каждого агента;
- преобразование расширенных объектно-ориентированных моделей планирования действий каждого агента к эквивалентной в статистическом контексте форме;
- вывод аналитических соотношений для модельно-аналитического интеллекта планирования действий каждого агента.

Аналитические соотношения для модельно-аналитического интеллекта планирования действий каждого агента выводятся на основе применения комбинации следующих методов:

- метода анализа конечных цепей Маркова;
- модифицированного метода свертки;

- метода сквозного объединения диаграмм состояний и диаграмм деятельности, предложенного в [7].

Ключевые особенности реализации модифицированного метода свертки при анализе расширенных объектно-ориентированных моделей в классе диаграмм деятельности раскрываются в [11].

При анализе алгоритмов планирования действий образующих агентов приходится анализировать статистические свойства циклически связанных операций. На рис. 1 приводится типичная циклическая связка выполняемых операций планирования.

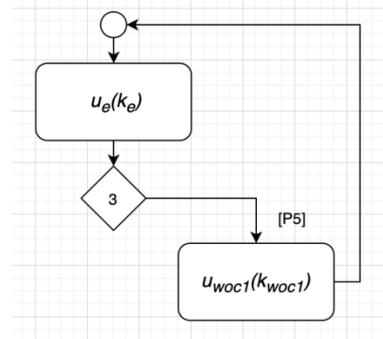


Рис. 1. Циклическая связь операций планирования

Для анализа статистических свойств циклически связанных операций планирования действий каждого интеллектуального агента применяется метод сквозного объединения диаграмм состояний и диаграмм деятельности, раскрытый в [7]. Метод используется в контексте сквозного объединения расширенных диаграмм состояний и расширенных диаграмм деятельности. Расширения проводятся на модельном уровне. При расширении диаграммы состояний дополняются описаниями вероятностями переходов. При расширении диаграмм деятельности отображаются статистические свойства выполняемых операций и их связей.

Посредством перехода от статистического профиля описания операции в теле цикла к \mathbf{P}_e матричному описанию образуется следующая формализация:

$$\mathbf{P}_e = \begin{bmatrix} 0 & u_e(k_e) & u_e(k_e-1) & u_e(k_e-2) & u_e(k_e-3) & \dots & u_e(1) \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Приведенная матрица описывается размерностью $(K_e + 1) \times (K_e + 1)$.

В результате перехода от статистического профиля операции в обратной связи к \mathbf{P}_{woc1} матричному описанию формируется приводимое представление:

$$\mathbf{P}_{woc1} = \begin{bmatrix} 0 & u_{woc1}(k_{woc1}) & u_{woc1}(k_{woc1}-1) & \dots & u_{woc1}(1) \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Матрица \mathbf{P}_{woc1} характеризуется размерностью $(K_{woc1} + 1) \times (K_{woc1} + 1)$.

Объединенное \mathbf{P} матричное описание циклически связанных операций строится согласно кольцевому приему их интеграции с учетом вероятности альтернативы.

Объединенная квадратная матрица \mathbf{P} будет иметь размерность $(K_e + K_{woc1} + 2) \times (K_e + K_{woc1} + 2)$.

Плотность распределения вероятностей $k_{N,am}$ циклически связанных операций при планировании $f_{e,woc1}(k_{e,woc1})$ определяется по формуле

$$f_{e,woc1}(k_{e,woc1}) = P_{1,(K_e+K_{woc1}+2)}^{(k_{e,woc1})} - P_{1,(K_e+K_{woc1}+2)}^{(k_{e,woc1}-1)}$$

$$k_{e,woc1} = 1, 2, \dots, K_{e,woc1},$$

где $P_{1,(K_e+K_{woc1}+2)}^{(k_{e,woc1})}$ – $(1, (K_e + K_{woc1} + 2))$ -ый элемент $k_{e,woc1}$ степени матрицы \mathbf{P} .

Любая комбинация из указанных методов обеспечивает генерацию модельно-аналитического интеллекта агентов из состава интеллектуальной мультиагентной системы.

Вторая составляющая рассматриваемого математического обеспечения обеспечивает анализ схем взаимодействия агентов при планировании действий интеллектуальной мультиагентной системы. Для генерации математического обеспечения второго уровня управления планированием:

- строится объектно-ориентированная модель схемы взаимодействия агентов;
- выполняется переход к её расширению;
- осуществляется анализ расширенной модели схемы взаимодействия агентов с применением модифицированного метода свертки.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные исследования характеризуются следующей научной новизной:

- управление планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем расширяет технологическое сопровождение жизненного цикла систем искусственного интеллекта;
- предложены концептуальные основы управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем;
- предложенные концептуальные основы управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем инварианты по отношению к предметной области их применения;
- впервые определены два уровня управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем;
- для каждого уровня управления представлена сквозная система формализаций для

формирования соответствующего математического обеспечения;

- при управлении планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем учитывается динамический характер изменений в их окружающей среде.

Практическая значимость описанных исследований заключается в следующем:

- применение предложенных концептуальных основ управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем по отношению к конкретной предметной области их применения приведет к созданию новых артефактов, повышающих достижимость поставленных целей;
- использование представленной сквозной системы формализаций для формирования математического обеспечения ускорит создание программного обеспечения подсистем управления планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем для любой предметной области их применения;
- управление планированием действий интеллектуальных мультиагентных систем расширяет возможности управления качеством деятельности, в которой они применяются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Птицына Л.К., Агапов Е.В. Расширение знаний об интеллектуализации процесса запуска пользовательского задания в распределённой вычислительной системе // Новые информационные технологии в образовании и науке: материалы XII междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 2019. С. 624–629.
- [2] Птицына Л.К., Дымченко А.В. Моделирование мультиагентных систем принятия решений по обнаружению угроз информационной безопасности // Региональная информатика и информационная безопасность: сборник трудов. Выпуск 7. СПб.: СПОИСУ. 2019. С. 115–118.
- [3] Птицына Л.К., Коткина М.С. Исследование моделей планировщиков действий интеллектуальных информационных агентов // Региональная информатика и информационная безопасность: сборник трудов. Выпуск 7. СПб.: СПОИСУ. 2019. С. 123–126.
- [4] Агапов Е.В., Птицына Л.К. Модельно-аналитический интеллект сервиса высокопроизводительных вычислительных систем // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в X т. / Под ред. С.В. Бачевского, сост. А.Г. Владыко, Е.А. Аникевич. СПб. СПбГУТ, 2019. Т. 2. С. 25–28.
- [5] Птицына Л.К., Эль Сабаяр Шевченко Н.Н., Белов М.П., Птицын А.В. Нейросетевой подход к преодолению априорной неопределённости при оптимальном планировании действий интеллектуальных информационных агентов для мягких архитектур сервис-ориентированных систем // II Международная конференция по нейронным сетям и нейротехнологиям (NeuroNT'2021): сб. докладов. СПб. 2021. С. 36–39.
- [6] Ptiitsyna L.K., Zharanova A.O., Ptiitsyn N.A., Belov M.P. Extended Object-Oriented Modeling of Intelligent Information Agent Planners. // Proceedings of 2022 XXV International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). IEEE, 2022. С. 60–63.
- [7] Птицына Л.К., Эль Сабаяр Шевченко Н., Птицын А.В. Моделирование коммуникационно-вычислительных процессов систем телекоммуникаций при сквозном объединении диаграмм состояний и диаграмм деятельности // Телекоммуникации. № 4. 2022. С. 32–40.

- [8] Птицына Л.К., Эль Сабаяр Шевченко Н., Птицын Н.А., Белов М.П. Система представления знаний о планировщиках интеллектуальных информационных агентов // Сборник статей международной конференции «Проектирование и обеспечение качества информационных процессов и систем». Санкт-Петербург. 22 марта, 2023 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 29-39.
- [9] Птицына Л.К., Эль Сабаяр Н., Птицын Н.А., Белов М.П. Развитие методов моделирования планировщиков действий интеллектуальных информационных агентов // XXVI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2023). Сборник докладов. Санкт-Петербург. 24–26 мая 2023 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 58-61.
- [10] Птицына Л.К., Добрецов С.В. Интеллектуальные технологии и представление знаний. Планирование действий интеллектуальных агентов в информационных сетях: учеб. пособие. СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 172с.
- [11] Птицына Л.К., Эль Сабаяр Шевченко Н., Белов М.П., Птицын А.В. Математическое обеспечение мягких архитектур сервис-ориентированных систем в условиях неопределённости // XXIV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2021). Сборник докладов. Санкт-Петербург. 26–28 мая 2021 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». С. 121-124.