

АРХИТЕКТУРА УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫМИ СИСТЕМАМИ В НОВЫХ УСЛОВИЯХ

Романчева Н.И.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), Москва, Россия
n.Romancheva@mstuca.aero

Аннотация. Рассматривается задача выбора архитектуры управления мультиагентными системами в условиях скачкообразного изменения множества целей и действий агентов на основе микросервисов. Показано, что использование микросервисной архитектуры управления в интеллектуальных транспортных системах как произвольного подмножества независимых подсистем, обладающих различной функциональностью, позволит сократить финансовые и временные затраты на обслуживание перевозок на комбинированных маршрутах.

Ключевые слова: транспортные системы, агенты, комбинированные маршруты, перевозки.

Введение

Вопросам развития транспортного комплекса, как базовой отрасли экономики, уделяется внимание на государственном уровне. При этом отмечается, что уровень внедрения современных систем управления транспортом, не в полной мере соответствует современной ситуации. В соответствии с дорожной картой [1], проводятся мероприятия по созданию, развитию и обеспечению функционирования национальной сети интеллектуальных транспортных систем государств - членов Евразийского экономического союза. Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) можно рассматривать как произвольное подмножество независимых систем, входящих в состав мультиагентной системы. Мультиагентную систему в современных условиях можно рассматривать как множество слабосвязанных систем с перестраиваемыми структурами, наличием многозадачных агентов и отсутствием единого центра управления. Многозадачные агенты, с одной стороны, обеспечивают надежность функционирования системы, с другой стороны, уменьшают продуктивность работы, так как увеличивается время на переориентацию задачи. Вопросы выбора архитектуры управления сложными системами отражены в [2-4]. Современная обстановка требует решений, способных поддерживать «эластичность» архитектуры транспортной системы: при изменении условий, например, как было во время пандемии - прекращение авиаперевозок, или изменении - отмены логистических маршрутов в связи с санкциями. Следовательно, возникает необходимость пересмотра подходов к выбору новой архитектуры управления такими системами.

1. Интеллектуальные транспортные системы

Сегодня Интернет можно рассматривать как средство коммуникации и поддержки развития транспортных сетей нового поколения, функционирующих в условиях событийности и ситуативности, т.е. когда требуется учитывать непредвиденные события и менять планы «in memo». К таким событиям можно отнести: изменение вида транспорта, выполняющего ту или иную операцию; изменение заказа по объему и времени доставки; изменение в организации или технологии доставки заказа и др. Использование мультиагентных технологий в транспортных системах позволяет автоматизировать процессы нахождения консенсуса при создании конфликтных ситуаций [5]. Нарастающая сложность реализуемой транспортной системы требует внедрения технологий, основанных на искусственном интеллекте. Интеллектуальные транспортные системы рассматриваются в [6] как общая концепция, которая объединяет достижения телематики в различных видах транспортной деятельности.

Традиционно критерием выбора архитектуры системы является минимизация совокупной стоимости системы. Задачу выбора архитектуры управления мультиагентными системами сформулируем как выбор минимального количества произвольного подмножества независимых подсистем, обладающих различной функциональностью, и обеспечивающих критически важные параметры на всех стадиях жизненного цикла системы. Критически важные параметры являются множеством, включающим как базовые (задаваемые) параметры, так и динамические параметры, изменяемые в зависимости от ситуации.

При выборе архитектуры мультиагентной системы (на примере транспортной системы) должны учитываться:

- тип транспорта;

- специфика, решаемой видом транспорта задачи (задание по расписанию, доставка заказа (людей и грузов) в труднодоступные районы, спасательные мероприятия и т.д.)
- тип маршрута (стыковочный, транзитный, городской, областной, межрегиональный, внутренний, международный);
- рельеф маршрута (городской, наличие горных образований, крупных рек и озёр и т.д.);
- метеоусловия;
- возможность эффективного использования средств навигации;
- тип агента;
- цели агента (задаваемые извне, порождаемые действиями агента);
- набор действий агентов;
- набор необходимых условий для их совершения;
- набор возможных последствий действий агентов.
- МАС обычно состоит из следующих основных компонент [7]: множество организационных единиц в котором выделяются: подмножество агентов $A=\{A1, \dots, Ai, \dots, As\}$, манипулирующих подмножеством объектов $O=\{O1, \dots, Oi, \dots, Os\}$; множество задач $MЗ=\{MЗ1, \dots, MЗi, \dots, MЗs\}$; среда, т. е. некоторое пространство по видам транспорта, в котором существуют агенты и объекты; множество отношений между агентами $МО=\{MO1, \dots, MOi, \dots, MOs\}$; множество действий агентов (например, операций над объектами) (рис.1).

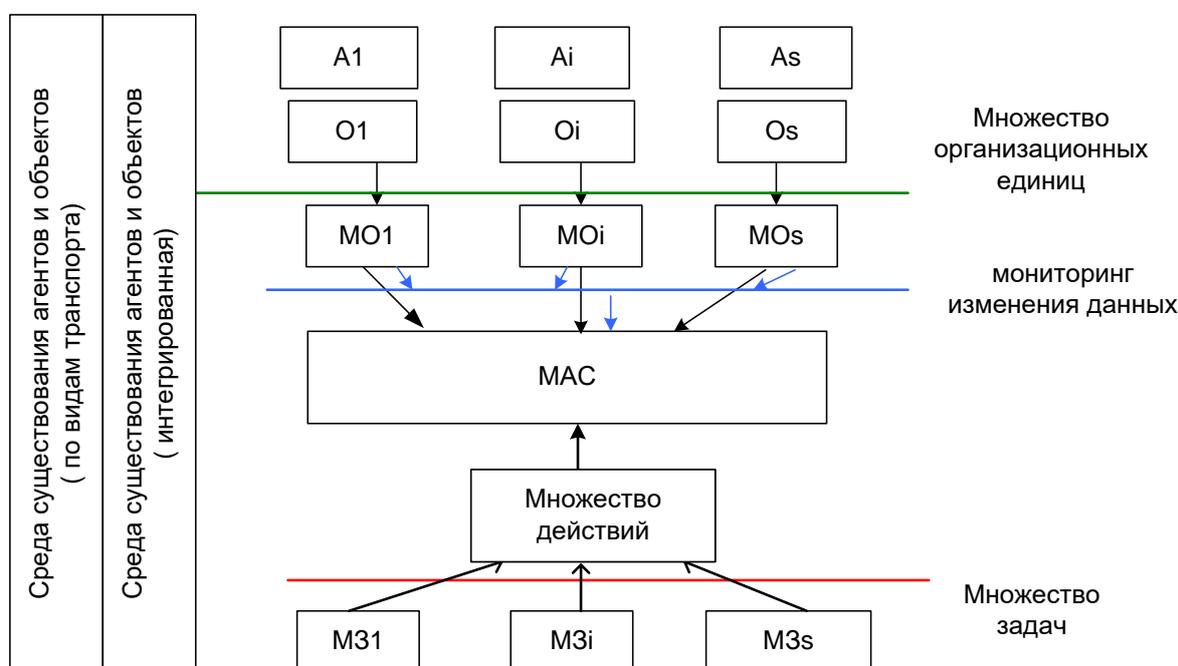


Рис. 1. Компоненты МАС

В классической архитектуре элементы и объекты транспортной системы специфицированы, т.е. ориентированы на определенный вид транспорта. При создании мультиагентной транспортной системы множество организационных единиц (среда существования агентов и объектов), множество задач и множество действий могут быть пересекающимися множествами. Следовательно, возможность перестроения маршрута агента при изменении данных о состоянии среды существования агентов и объектов, позволит оперативно обеспечить критически важные параметры функционирования МАС.

Рассмотрим алгоритм выбора агентом перевозчика маршрута выполнения задания в i -ой системе транспорта. В качестве целевой функции следует использовать минимизацию времени, а не вероятность минимизации риска невыполнения задания, так как последнее может привести к неэффективности использования агента перевозчика:

$$t \rightarrow \min \quad (1)$$

при ограничениях: $P \leq \gamma$ и $C \leq \lambda$,

где t – время выполнения задания, P – вероятность невыполнения задания, в том числе агентом перевозки i -ого транспорта, γ – допустимая вероятность невыполнения задания по требованиям

соответствующей Международной организации (по видам транспорта), С-уровень материальных затрат (расход топлива), λ – максимально допустимый уровень материальных затрат.

В зависимости от типа транспорта и конкретной ситуации на маршруте каждый из рассмотренных выше факторов могут иметь различный вес. Введём обозначения:

- число различных факторов, влияющих на выполнение задания в полном объеме – N ;
- вероятность появления неблагоприятного фактора: $\alpha_1, \dots, \alpha_N$;
- степень угрозы возникшего неблагоприятного фактора: m_1, \dots, m_N .

Тогда показатель приоритетности i -го неблагоприятного фактора в данной точке маршрута:

$$p_i = \alpha_i m_i. \quad (2)$$

Введём понятие, которое определим как индекс неблагоприятной обстановки в данной точке маршрута:

$$L = \sum_{i=1}^N p_i. \quad (3)$$

Как следствие, можно сделать вывод, что этот индекс также должен не превосходить значение γ . В противном случае, агенту перевозчика следует изменить траекторию маршрута, чтобы обойти неблагоприятный фактор, в том числе за счет выбора агента перевозчика другого вида транспорта. Для этого необходимо использовать сервисную архитектуру, имеющую распределенное управление. В этом случае необходимо, используя метод динамического программирования, проверить условие (1) для каждой из возможных следующих маршрутов движения и отбросить те варианты, которые ведут к невыполнению данного условия.

В случае, если две или более из возможных следующих точек маршрута удовлетворяет (1), то можно использовать способ, предложенный в [8].

Введём обозначения:

- ε – вероятность ошибочного изменения маршрута (смены агента перевозчика) при получении неверной информации;
- δ – вероятность ошибочного не изменения маршрута (смены агента перевозчика) при получении неверной информации;
- λ - вес ошибки ε ;
- η - вес ошибки δ .

Введём понятие индекса потерь, который находится по формуле:

$$P = P^{\text{перех.}} + P^{\text{неперех.}} = \lambda \varepsilon + \eta \delta \quad (4)$$

где $P^{\text{перех.}}$ - индекс потерь при изменении маршрута (смены агента перевозчика) в предложенную точку доставки,

$P^{\text{неперех.}}$ - индекс потерь при не изменении маршрута (смены агента перевозчика) в предложенную доставку. В случае:

$$P^{\text{перех.}} < P^{\text{неперех.}} \quad (5)$$

изменение маршрута (смены агента перевозчика) в предложенную точку доставки будет лучше, чем игнорировать этот переход. Очевидно, что современные условия, при внедрении сервисного подхода и упреждающего управления МАС должна реагировать, главным образом, не на возникшую проблемную ситуацию, а на предпосылки, предшествующие ее появлению.

Агентные технологии характеризуются воспроизведением состояния, поведения и взаимодействия агентов в заданной среде, определяемой видом транспорта. Изменяя характеристики и стратегии отдельных активных элементов, можно наблюдать динамику состояния мультиагентной транспортной системы в целом и прогнозировать достижение заданной цели – выполнение перевозки в минимальное время и в соответствии с заданным классом перевозок. Реализация стратегий в конкретной транспортной среде достигается последовательностью операций по выполнению перевозки, индивидуальной оценкой и изменением параметров состояния каждого взаимодействующего агента перевозки в соответствии с общим алгоритмом его поведения.

Разделение управления МАС на независимые сервисы позволит в дальнейшем все изменения построения маршрута, выбора или смены агента перевозчика (по видам транспорта) сделать локальными и не требовать перестройки всей системы.

Переговорный процесс между агентами перевозок различных транспортных систем в мультиагентной системе сводится к обмену сообщениями, заголовок которого содержит идентификаторы начальной и конечной точки маршрута, тип перевозки, флаг перевозки, связанный классом перевозки, флаг состояния рынка перевозок, идентификатор пула свободных агентов перевозок (по видам транспорта). Выбор агента перевозок будет осуществляться по степени приближения параметров текущего предложения сервиса к желаемым показателям сервиса, и может варьироваться от максимального предпочтения до неприемлемого. При достижении консенсуса между агентами заказа, и перераспределением агентов перевозок, осуществляется перестройка маршрута доставки с использованием выбранных агентов. Особенностью современных условий является ограничение во времени изучения рынка перевозок и выбора нового перевозчика. Это связано с исчезновением известных, проверенных агентов и появлением на рынке агентов новых игроков.

Стратегия управления на основе микросервисов характеризуется эластичностью, т.е. по завершению определенного временного периода количество предложений и количество заявок на перевозки на определенном шаге, сформированных агентами перевозок, должно прийти в равновесие. Для этого можно использовать методы оптимизации и искусственного интеллекта, например метод симплексного планирования эксперимента.

Поиск решения на каждом шаге сводится к отысканию наихудшей по значению вершины симплекса a , определению центра противоположной грани a' и замене наихудшей вершины a ее зеркальным отображением относительно противолежащей грани в точку с координатами в соответствии с формулами, приведенными в [9].

В случае с внутренними запретными зонами, используется гибкий симплекс, изменяющий свои размеры на каждом шаге. Успех одного агента ведет к изменению его целевой функции в лучшую сторону и ухудшению целевой функции другого агента, т.е. стратегии агентов связаны друг с другом и ведут к равновесию. Симметричное отражение симплекса в терминах «перевозка – предложение на рынке перевозок» приведено на рис.2.

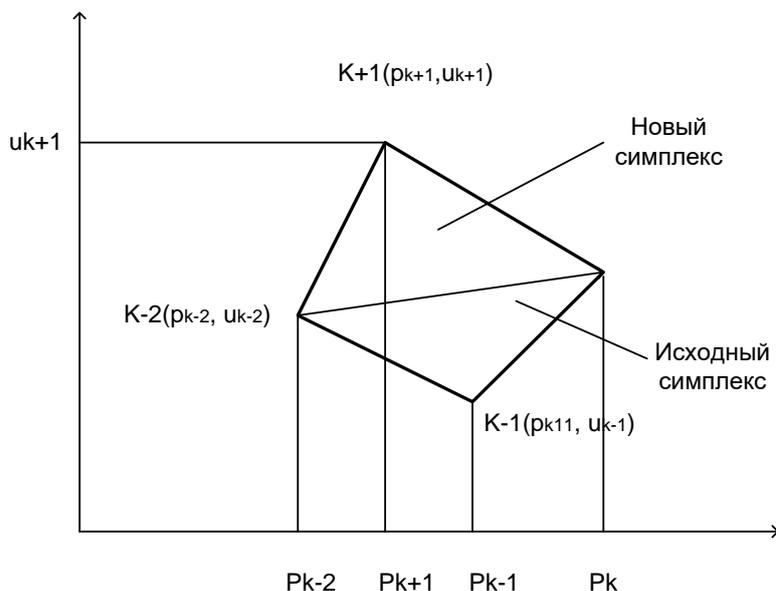


Рис. 2. Симметричное отражение симплекса компонент MAC

где:

- $k, k-1, k-2$ - шаги,
- $x1$ – маршрут перевозки, $x2$ –объем предложений,
- p_{k-1} - вид перевозки в $k-1$ период,
- u_{k-1} - предложение на рынке перевозок в $k-1$ период.

На каждом шаге исходной информацией является вид перевозки и предложение на рынке перевозок с учетом предоставляемых микросервисов. На выходе рассчитывается значение целевой функции. На каждом шаге агент транспорта выбирает лучшее и худшее предыдущее значение целевой функции, например на шаге $k-1$, и делает шаг в сторону экстремума. Таким образом, можно посмотреть динамику поведения агентов в процессе взаимодействия.

2. Заключение

Стратегия формирования архитектуры управления мультиагентных систем состоит в децентрализованном включении микросервисов в контур совместного управления. Для задачи оперативного управления маршрутами перевозок в архитектуру МАС включен микросервис реконфигурирования для мониторинга бизнес-процессов и их регулирования (в случае недопустимых отклонений от плановых состояний маршрута перевозок на *i*-м виде транспорта в результате воздействия возмущающих факторов). Для изменения реквизитов доступа к внешним для микросервиса средам (например, другой вид транспорта) задается снимок среды с параметрами для мониторинга и валидации исходных данных, корректировки установленных параметров в исходных данных, измененным списком агентов, выполняющих задание. Это позволит сократить финансовые и временные затраты на обслуживание перевозок как на комбинированных маршрутах, так и на вновь перестраиваемых непрофильных маршрутах.

Литература

1. Распоряжение Евразийского Межправительственного Совета от 20 августа 2021 №15 «О плане мероприятий (дорожной карте) по реализации Основных направлений и этапов реализации скоординированной (согласованной) транспортной политики государств- членов Евразийского экономического союза на 2021-2023 годы» [Эл.ресурс] <https://adilet.zan.kz/rus/docs/H21M000015R>.
2. *Кульба В.В., Чернов Ю.М.* Сценарный подход к анализу сложных систем // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2012): труды Шестой междунар. конф: в 2 т. – М.: ИПУ РАН, 2012. – Т. 2. – С. 209–215.
3. *Цвиркун А.Д.* Управление развитием крупномасштабных систем // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): труды Четырнадцатой междунар. конф: в 2 т. – М.: ИПУ РАН, 2021.– С. 24–30.
4. *Варнавский В.Г.* Комплекс моделей стратегического управления крупномасштабной транспортной инфраструктурой // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2021): труды Четырнадцатой междунар. конф: в 2 т. – М.: ИПУ РАН, 2021.– С. 43–49.
5. *Виттих В.А.* Избранные труды по эвергетике (по материалам статей и докладов) / сост. С. Ю. Боровик, Т. В. Моисеева, С. В. Смирнов. - Самара: Новая техника, 2022.- 420 с.
6. ГОСТ Р 56829-2015 Национальный стандарт Российской Федерации «Интеллектуальные транспортные системы» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200128315> (дата обращения: 10.05.2023).
7. *Ивашкин Ю.А.* Мультиагентное моделирование в имитационной системе Simplex3: учебное пособие/ Ю.А. Ивашкин –М.: Лаборатория знаний, 2016.- 350 с.
8. *Eliseev B.P., Kozlov A.I., Romancheva N.I., Shatrakov Y.G., Zatuchny D.A., Zavalishin O.I.* Probabilistic-Statistical Approaches to the Prediction of Aircraft Navigation Systems Condition. - Springer Aerospace Technology, 2020, 200 p.
9. *Шмидт Б.* Искусство моделирования и имитации. Введение в имитационную систему Simplex 3 / перевод с нем. Под ред. Ю.В. Юдашкина и В.Л. Конюха. - Гент.: Бельгия, SCS –Европа BVBA, -2003.- 550 с.