

УДК: 656.5

# Поддержка принятия решения в управлении транспортом с использованием мультиагентных систем

## Decision support in transport management using multi-agent systems

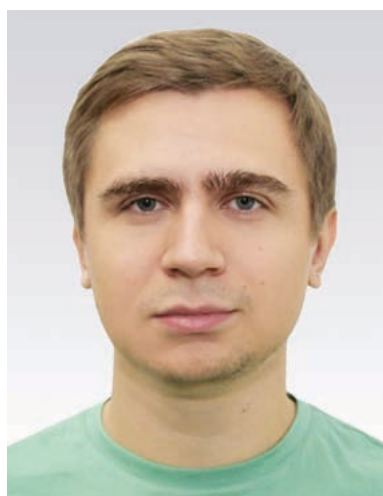
**Мельников Д.А.**, Аспирант, Российский технологический университет (РТУ МИРЭА),

E-mail: dmbox2019@gmail.com, Москва, Россия

**Melnikov D.A.**, Graduate student, Russian Technological University (RTU MIREA),

E-mail: dmbox2019@gmail.com, Moscow, Russia

### Аннотация



В статье исследуются модели социальных агентов как инструмент поддержки принятия решений в управлении транспортом. Вводится понятие «Агенты поддержки принятия решений», рассматриваются социальные агенты, показан принцип их организации и работы. Подробно описано пять типов таких агентов. Дается сравнение технических и социальных агентов. Технические агенты чаще действуют индивидуально. Социальные агенты действуют только в составе целостной системы. Это их принципиальное отличие. Показано, что направление деятельности технических агентов связано с прямым управлением и маршрутизацией транспортных средств. Направление деятельности социальных агентов, применительно к транспорту, связано с мягким управлением и устранением пробок на дорогах или их последствий. Показана связь социальных агентов и интеллектуальных технологий. Показано, что агент является процессуальной единицей информационного поля. Показана рациональность применения информационных и имитационных моделей при проектировании агентов.

**Ключевые слова:** транспорт, управление, агенты, социальные агенты, агентные системы, мягкое управление, информационная ситуация, агенты поддержки принятия решений, агенты данных, агенты действий.

### Abstract

The article explores the models of social agents as a decision support tool in transport management. The concept of "Decision Support Agents" is introduced. Social agents are considered. The principle of their organization and work is shown. Five types of such agents are described in detail. A comparison of technical and social agents is given. Technical agents often act individually. Social agents act only as part of an integral system. This is their fundamental difference. It is shown that the direction of activity of technical agents is associated with the direct control and routing of vehicles. The direction of activity of social agents, in relation to transport, is associated with soft management and the elimination of traffic jams or their consequences. The connection between social agents and intellectual technologies is shown. It is shown that the agent is a procedural unit of the information field. The rationality of using information and simulation models in the design of agents is shown.

**Keywords:** transport, management, agents, social agents, agent systems, soft control, information situation, decision support agents, data agents, action agents.

Введение

Системы поддержки принятия решений (СППР или DSS) [1] предназначены для оказания помощи ЛПР, участвующим в сложных процессах принятия решений. Ранние DSS [2] были задуманы как хранилища данных для восстановления информации, относящейся к решениям. Однако вскоре стало понятно, что ключевая проблема для лица, принимающего решения, заключается не в доступе к соответствующим данным, а в их интерпретации и понимании семантики. Также возникал необходимость в организации аргументации с применением информационного моделирования, что снижало нагрузку на человека.

Современные DSS помогают лицам, принимающим решения, исследовать последствия своих суждений, чтобы принимать решения на основе формирования прогноза и его последствий. Сформировался класс DSS, основанных на знаниях [3]. Эти системы необходимы в областях, где люди должны принимать оперативные решения при управлении сложными промышленными или экологическими процессами, или в условиях больших данных [4, 5]. Решение задач в пространственно распределенных средах привело к построению распределенных структур DSS и в итоге к IoT [6].

Появилось понятие «Агенты поддержки принятия решений» (АППР). Это понятие постепенно распространилось на программные модули и модели агентов в мульти-агентных системах. Агенты поддержки принятия решений несут ответственность за части процесса принятия решений. Они действуют логически, интеллектуально или рациональным образом. В качестве основы используют сбор оперативной информации с учетом стратегической информации. Однако для агентных систем характерен эвристический подход. Агентные системы в аспекте управления в основном предоставляют расширенные услуги по рассуждению для анализа информации [7]. Несмотря на достижения в области агентно-ориентированной программной инженерии, принципиальный подход к проектированию основанных на знаниях многоагентных систем для поддержки принятия решений все еще далек от окончательного совершенствования. Следует отметить, что большая часть работ по мультиагентным системам направлена не решение задачи директивного управления или поведения агента в ситуации [8, 9]. Значительно меньше работ посвящено разрешению проблем в ситуациях. Этим направлением занимаются социальные агенты.

Агенты социальных знаний, или подход SKADS

Широкое развитие социальной кибернетики [10] мотивирует применение различных социальных моделей в технических областях, включая принятие решений. В настоящее время набирает популярность подход, основанный на агентной модели «social knowledge agents for decision support» или SKADS. В соответствии с основной концепцией в агентно-ориентированной программной инженерии [11], SKADS впервые моделирует агентную DSS с точки зрения организационных парадигм.

Таблица 1. Социальные взаимодействия в DSS

| Тип социального взаимодействия | Коммуникативная роль              | Протокол                                            |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Выполнение действия            | Запрашивающая сторона             | FIPA-запрос-протокол<br>FIPA-request-when-protocol  |
| Обмен информацией              | Информатор                        | FIPA-query-protocol<br>Протокол подписки FIPA       |
| Объяснение                     | Объяснитель                       | Пояснение-протокол                                  |
| Совет                          | Советник                          | Рекомендательный протокол                           |
| Переговоры                     | Сторона, запрашивающая переговоры | FIPA-Propose-протокол,                              |
| Выполнение действия            | Заказчик переговоров              | FIPA-CNET-протокол,                                 |
| Брокерская деятельность        | посредническая заявитель, брокер  | FIPA-брокерский протокол<br>FIPA-рекрутинг-протокол |

Эта модель затем дорабатывается, с тем чтобы создать агентно-ориентированную модель. В системе SKADS уделяет особое внимание вопросам взаимодействия агентов, поэтому он строго следует стандарту *Foundation for Intelligent Physical Agents* (FIPA) [12], уделяя особое внимание языку связи агентов (ACL) FIPA и его абстрактной архитектуре.

Существуют социальные и коммуникативные роли, которые должны поддерживаться DSS, чтобы справиться с типичными взаимодействиями при принятии решений. В практической реализации идентифицируются классы агентов, которые должны присутствовать в любой DSS, основанной на знаниях. Основой применения является абстрактная мультиагентная архитектура, которая осуществляет поддержку реализации DSS для конкретных задач.

Ключевым моментом в современной DSS является помощь лицу, принимающему решения, в изучении последствий аргументации системы. Это определяет важность информационного взаимодействия между ЛПР и DSS. В основе взаимодействия положена многоуровневая функциональность. Она задает типы социального взаимодействия с участием DSS: обмен информацией, объяснение, советы и выполнение действий [13].

Существуют многопользовательские DSS. В DSS с несколькими лицами, принимающими решения, часто проводятся дополнительные посреднические и переговорные взаимодействия, которые выявляют потенциальных партнеров для решения данной проблемы и устанавливают условия, при которых выполняется определенное действие, соответственно. То есть, в этих системах поддержка принятия решений осуществляется опосредованно, а не напрямую как в директивных системах.

Роли обычно описывают различные типы функциональных возможностей для классов агентов. Целесообразно ввести понятие коммуникативной роли для описания коммуникативной компетентности агентов в социальных взаимодействиях. Коммуникативные роли характеризуются коммуникативными действиями и информационной коммуникативистикой. >>>

Коммуникативные действия могут выполнять в поиске информации или в поиске референций. Коммуникативные действия могут выполнять в одном или нескольких протоколах взаимодействия. Анализ [13] определил общие типы социальных взаимодействий. Они представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, большинство социальных взаимодействия, относящиеся к DSS, вместе с их соответствующими коммуникативными ролями, поддерживаются непосредственно FIPA.

Роли в DSS на основе агентов требуют компетенции предметной области, поэтому их надо специализировать: на коммуникативных ролях, на социальных ролях, на элементах онтологии предметной области, о которых они информируют или объясняют. Минимальная компетенция DSS будет сосредоточена на следующих концепциях:

- Системные проблемы. Определение решения и ситуации решения как целостной системы.
- Каузальные проблемы: Выявление причинно-следственных особенностей ситуации.
- Резервные действия: Представление различных альтернатив решения. анализ рисков.
- Прогнозируемые проблемы: Моделирование потенциальных последствий решений, анализ последствий рисков.

Социальные роли должны быть сопоставлены с типами агентов, которые в конечном итоге будут играть эти роли в DSS. Особенно это важно для агентных систем, основанных на знаниях и геознаниях [14]. Необходимо чтобы ролевые процессы адекватно отражали априорное распределение параметров ситуации, присутствующее в конкретной области DS. Обычно существуют два следующих случая [15].

Первый случай включает ситуацию – одна роль — несколько агентов. В сложных областях часто необходимо (или желательно), чтобы разные агенты играли одну и ту же роль, но в разных "частях" системы. Таким образом, агентная модель может лучше отражать человеческую организацию, снижать требования к коммуникации или просто уменьшать сложность необходимых процессов рассуждения.

Второй случай включает ситуацию один агент — несколько ролей: подходы к проектированию, ориентированные на знания, такие как KSM [16], предполагают, что некоторые типы границ знаний домена могут служить рядом целей и, следовательно, могут использоваться агентами для выполнения различных ролей. Очевидно, что нетрудно воспроизвести такие базы знаний среди различных агентов. Основываясь на социальных ролях? обычно создают следующие модели агентов для DSS:

- Агенты данных (DA): DA играют роль информатора по отношению к текущему состоянию определенной части системы. Таким образом, они отвечают за поиск информации из различных источников информации, таких как датчики или базы данных, и ее распространение.
- Агенты управления (MA): MA играют оставшиеся роли информатора, а также роли советника и объясняющего. Как следствие, они должны быть наделены моделями знаний, которые позволяют им сообщать (и обосновывать) проблемы, причины, потенциальные будущие состояния и т.д., а также предлагать потенциальные управленческие действия.

- Агенты по реализации действий (AIA): Эти агенты играют роль запрашиваемого лица и отвечают за фактическое выполнение действий, которые лицо, принимающее решения, решило предпринять.
- Агенты пользовательского интерфейса (UIA): UIA играют остальные роли (информатор, запрашивающая сторона и т.д.) от имени пользователя. Обратите внимание, что, удобно упорядочивая и = переплетая разговоры, они способны отвечать на различные вопросы (например, «Что происходит в S?», «Что может произойти в S, если произойдет событие E?» и т.д.). Кроме того, обратите внимание, что чем тоньше уровень разложения ролей социального информатора, тем больше пространство потенциальных разговоров, в которые может участвовать MCA.

Подход SKADS требует, чтобы по крайней мере один экземпляр этих типов агентов был представлен в DSS, но из-за различных априорных распределений в соответствующих проблемных областях, часто будут сосуществовать несколько экземпляров вышеупомянутых типов агентов. В DSS, которые поддерживают нескольких лиц, принимающих решения, присутствуют дополнительные координаторы координации (CF), которые обеспечивают поддержку в переговорах и подборе партнеров (вербовка, посредничество).

## Агентное управление дорожным движением

Первое применение архитектуры SKADS относится к области управления дорожным движением. Она была использована в части дорожной сети с высокой пропускной способностью в районе Бильбао [15], включающей кольцевую дорогу города, а также четыре основных подъезда к столичной области. Регулярная информация о состоянии трафика в этом часто используемом районе, регистрируемая петлевыми детекторами, поступает в Центр управления мобильностью, расположенный в Мальмасине, недалеко от города Бильбао. На основе этих данных операторы дорожного движения должны принимать решения о контрольных действиях, которые необходимо применять, чтобы решить или минимизировать заторы. Эти действия включают в себя:

- Отображение сообщений на *Variable Message Signal* (VMS), установленных над дорогой, чтобы предупредить водителей о проблемах с дорожным движением или рекомендовать изменить собственные маршруты.
- Обращение к местным властям с просьбой направить соответствующих людей для управления ситуацией.

По мере того, как инфраструктура управления дорожным движением становится все более сложной, возрастает потребность в оказании помощи операторам в их задачах управления, помогая им настраивать согласованные планы управления для всей дорожной сети и адекватно использовать доступные сигнальные устройства с глобальной точки зрения. Именно это и является целью прототипа DSS/ Фактически эта система решает задачи ситуационного центра. >>>

Применяя подход SKADS к проблеме управления дорожным движением в районе Большого Бильбао, было учтено, что операторы представляют работу дорожной сети, в первую очередь, с точки зрения так называемых проблемных зон, определенных в соответствии с географическими критериями и односторонним направлением движения. В результате связь между абстрактной архитектурой и фактической структурой прототипа DSS выглядит следующим образом.

1. Выбирают столько DA, сколько имеется проблемных областей в зоне управления. Каждый DA отвечает за сбор информации о состоянии панелей VMS (панели ситуационного центра) и данных, записанных петлевыми детекторами.
2. Каждый DA может дополнять и = или фильтровать зашумленные данные (например, из-за проблем с трансмиссией), используя исторические данные, и преобразовывать наблюдаемые количественные значения в качественные данные (например, высокая скорость, низкая заполняемость). Фактически это методология теории нечетких множеств.
3. Применяют два типа агентов управления (MA). Первый тип агент обнаружения проблем (*Problem detection agents*, PDA) отвечают за мониторинг потока трафика в проблемной области, понимание поведения трафика и обнаружение проблем.
4. Если проблемная ситуация обнаруживается в результате анализа данных, отправленных соответствующим DA, PDA запрашивает второй тип агента управления (*control agent*, CA) для ее разрешения. Каждый агент отвечает за решение = минимизации проблем, решаемых одним или несколькими PDA, и с этой целью он может взаимодействовать с другими PDA, чтобы получить информацию о состоянии их проблемной области и диагностировать перегрузку.
5. На основе информации, полученной в районах, окружающих заторы, CA генерирует предложения по контролю. Контрольное предложение состоит из набора сообщений, которые должны отображаться на панелях VMS с предупреждениями или рекомендациями по альтернативным маршрутам для водителей, приближающихся к затору. Когда обнаруживается несколько областей перегрузки и два или более центров сертификации конкурируют за использование одних и тех же панелей VMS, соответствующие центры сертификации сообщают о достижении соглашения по согласованному совместному предложению.
6. Применяют один UIA, который взаимодействует с транспортными операторами в центре управления по вопросам дорожного движения, предложений по продолжению перевозки т.д.
7. Применяют один AIA, который выполняет решения операторов: Как только оператор трафика принимает предложение по управлению, AIA отображает соответствующие сообщения на VMS.

Два типа агентов управления (PDA и CA) являются ключевыми компонентами DSS для управления трафиком. Они наделены базами знаний, которые используют либо правила JESS (*Friedman-Hill* 2003; JESS 2003) или кадры KSM (*Cuena and Molina* 1997). В частности, для PDA

требуются два вида знаний: физическая структура и дорожное движение.

**Физическая структура:** Знания, представляющие как статическую, так и динамическую информацию сети. Статическая информация представляет собой физическое описание проблемной области (узлы, участки, положение датчиков и т.д.). Динамические аспекты позволяют PDA иметь абстрактную информацию, полученную из исходных данных (например, превышение трафика).

**Проблемы дорожного движения:** Знания об обнаружении и диагностике состояния дорожного движения в этом районе. Проблема рассматривается как дисбаланс между пропускной способностью и спросом на трафик на дороге, являющийся количественной величиной этого превышения трафика. Серьезность проблемы – это качественная величина, полученная от превышения трафика.

## Информационный аспект агентов

Пока не сложилась общая теория социальных и технических агентов для их анализа можно использовать разные подходы и методы включая методы прикладной информатики [17] и прикладной геоинформатики [18]. Применение прикладной информатики очевидно вытекает из необходимости применения информационных моделей. Применение прикладной геоинформатики обусловлено тем, что управление движением происходит в реальном пространстве. В этом пространстве наиболее эффективными являются геоинформационные модели и геоинформационные моделирование. Еще одна особенность, которую пока не рассматривают теории агентных систем, состоит в необходимости использования геоданных для управления движением. Привлечение теории информационного поля позволяет утверждать, что социальный агент есть информационная единица в информационном поле. Социальные агенты являются дополняющими информационными единицами систем поддержки принятия решений.

Соответственно, информационное поле позволяет говорить о моделях агентов, моделях совокупности агентов, моделях информационных ситуаций агентов и метамodelей агентов. Также следует отметить важность системного подхода именно для социальных агентов. Их применение предполагает их групповое применение как целостной системы.

Преимущество социальных агентных систем в их совместной реакции на решение проблем дорожного движения. Технические агенты решают задачи маршрутизации. Социальные агенты решают задачи развязки и устранения последствий заторов. Особенность теории этих систем связана с дискретной математикой, дискретной оптимизацией и выбором рациональных решений.

Включение множества социальных агентов в систему транспортного обслуживания позволяет решать задачи, которые с помощью прямых алгоритмов не решаются. Агентный подход позволяет решать задачи управления движением в реальном времени. Агентные техно- ➤➤➤

логии напрямую выходят на область искусственного интеллекта. Они служат развитием интеллектуальных транспортных систем и транспортных кибер-физических систем. Как правило новые задачи являются основным мотивом применения агентных систем.

Перспективным в развитии агентных систем следует считать применение информационных моделей для анализа и проектирования агентов. Также перспективным следует считать применение имитационного моделирования и эволюционного моделирования в развитии и применении социальных агентов. Использование социальных агентов позволяет снижать сложность транспортных ситуаций и обеспечивать поддержку принятия решений в ситуационных центрах. Перспективным в развитии агентных систем следует считать применение теории информационного и теории информационных единиц.

## Заключение

Исследования показывают, что мультиагентная технология может быть успешно применена для создания DSS для реальных задач управления трафиком. В данном простом примере использовано только четыре организационных агента. Их количество может быть увеличено, если они в совокупности образуют целостную систему поддержки принятия решений. Применение социальных агентов отличается от технических агентов. Технические агенты решают задачи прямого управления, то есть прямого воздействия на подвижный объект или жесткого управления. Применение социальных агентов направлено на устранение заторов и пробок, то есть, по существу, решает задачи мягкого управления. Применение социальных агентов дополняет методы применения технических и делиберативных агентов. ■

## Список литературы

1. Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Методы и системы поддержки принятия решений. – М.: МАКС Пресс, 2001. – 312 с.
2. Keen P. G. W. Decision support systems: a research perspective // Decision support systems: Issues and challenges: Proceedings of an international task force meeting. – 1980. – С.23-44.
3. Cánovas-Segura B. et al. Impact of expert knowledge on the detection of patients at risk of antimicrobial therapy failure by clinical decision support systems // Journal of biomedical informatics. – 2019. – Т. 94. – С. 103200.
4. Буравцев А.В., Цветков В.Я. Облачные вычисления для больших геопространственных данных // Информация и космос. 2019. – №3. – С.110-115.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
6. Shafique K. et al. Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT scenarios // IEEE Access. – 2020. – Т. 8. – С.23022-23040.
7. Ossowski, S., J. Z. Hernandez, C. A. Iglesias, and A. Fernandez. 2002. Engineering agent systems for decision support. Engineering Societies in an Agent World III, ed. Petta, Tolsdorf, and Zambonelli, 234^274. Springer-Verlag.
8. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Применение мультиагентных систем в интеллектуальных логистических системах. // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №6. – С.107-109.
9. Мельников Д.А. Применение агентных систем для оптимизации грузоперевозок // Наука и технологии железных дорог. 2022. Т. 6. №4 (24). – С.22-28.
10. Espejo R. Good social cybernetics is a must in policy processes // Kybernetes. – 2015. – Т. 44. – №. 6/7. – С.874-890.
11. Wooldridge, M., N. Jennings, and D. Kinny. 2000. The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design. Autonomous Agents and Multiagent Systems 3(3):285-312.
12. Dale J., Lyell M. Foundation for Intelligent Physical Agents // Online verfügbar unter <http://www.fipa.org/>, zuletzt aktualisiert am. – 2014. – Т. 4. – С.2014.
13. Serrano, J. M., S. Ossowski, and A. Fernandez. 2003. The pragmatics of software agents. Analysis and design of agent communication languages. Intelligent Information Agents. The AgentLink Perspective, eds. Klusch et al., 234^274, LNAI 2586. Springer.
14. Tsvetkov V. Ya. Geoknowledge // European Journal of Technology and Design. – 2016, 3(13), pp. 122-132.
15. Ossowski S. et al. Multi-agent systems for decision support: a case study in the transportation management domain // Applied Artificial Intelligence. – 2004. – Т. 18. – №. 9-10. – С. 779-795.
16. Cuena, J. and M. Molina. 1997. KSM – An environment for design of structured knowledge models. In Knowledge-Based Systems, Advanced Concepts, Techniques & Applications, ed. S. G. Tzafestas, 217-246.
17. Поляков А.А., Цветков В.Я. Прикладная информатика М.: Янус- К, 2002. – 392 с.
18. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Прикладная геоинформатика. – М.: МАКС Пресс, 2005. – 360 с.