

УДК: 656.2, 519.6

## МОДЕЛИ ЗНАНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТОМ

**Курдюков Н.С.**

аспирант, РТУ МИРЭА, E-mail: nskurdyukov@gmail.com, Москва, Россия

### **Аннотация**

В статье исследуется новый вид управления транспортом с использованием моделей знаний. Применение моделей знаний приводит к использованию онтологий. Исследованы методы построения онтологий и факторы, связанные с их построением - это гетерогенность информации, применение сетевых пространственных структур и использование геоинформатики. Статья исследует опыт применения онтологий для решения задач из области транспорта. Онтологии целесообразно применять в тех случаях, когда имеются большие наборы данных и сложные ситуации движения. Применение онтологий для управления транспортом практикуется последние двадцать лет, но до сего времени не разработано общей методики их построения. Данная статья дает некоторые общие принципы построения транспортных онтологий. Особенно важно применение онтологий в условиях интеллектуализации транспорта, онтологическое управление необходимо для цифрового и беспилотного транспорта.

### **Ключевые слова:**

транспорт, онтологии, транспортные онтологии, гетерогенные данные, геоданные, модели знаний.

## KNOWLEDGE MODELS IN TRANSPORT MANAGEMENT

**Kurdyukov N.S.**

postgraduate student, RTU MIREA, E-mail: nskurdyukov@gmail.com, Moscow, Russia

### **Annotation**

The article studies a new type of transport management using knowledge models. The use of knowledge models leads to the use of ontologies. The methods of constructing ontologies and the factors associated with their construction are studied - this is the heterogeneity of information, the use of network spatial structures and the use of geoinformatics. The article explores the experience of using ontologies to solve problems in the field of transport. Ontologies are advisable to use in cases where there are large data sets and complex traffic situations. The use of ontologies for transport management has been practiced for the past twenty years, but until now no general methodology for their construction has been developed. This article provides some general principles for constructing transport ontologies. The use of ontologies is especially important in the context of transport intellectualization; ontological management is necessary for digital and unmanned transport.

### **Keywords:**

transport, ontologies, transport ontologies, heterogeneous data, geodata, knowledge models.

**Введение**

Современное управление транспортом все больше использует интеллектуальные технологии. Для интеллектуального управления необходимы знания. Модели знаний важны для управления цифровым [1, 2] и беспилотным транспортом [3]. Одной из моделей знаний является онтология [4]. Необходимо различать онтологию в философии и онтологию в информатике и искусственном интеллекте. В ИТ и в ИИ онтология связана с представлением знаний. Формальное представление задает формальные онтологии. Прикладное представление задает прикладные онтологии. Формальные онтологии определяют концепции. Прикладные онтологии задают понятия и отношения между ними в предметной области.

Транспортные онтологии можно рассматривать как вид прикладных онтологий. Применение онтологий для управления транспортом является актуальной проблемой. Транспортные онтологии применяют в интеллектуальном управлении и в кибер-физических системах [5]. Онтологии позволяют накапливать знаниевый опыт, который также можно определить как онтологический опыт. Онтологический опыт можно сравнить с решением, даваемым с помощью искусственной нейронной сети. Имеется множество входных связанных данных и имеется результат решения, но сам алгоритм неизвестен. Такой подход целесообразен в сложных ситуациях, а также для случаев, когда входные данные являются «большими данными» [6, 7]. Транспортные онтологии используют позитивистский и эвристический подходы для накопления опыта

В онтологическом управлении используют модели как вспомогательное средство управления. Для транспорта применяют пространственно-временные модели [8]. Модели управления делят на концептуальные, формальные и прикладные. Прикладные модели нуждаются в конкретной информации о состоянии объекта управления и ситуации движения.

Для обобщения модельного опыта применяют метамодели. В отличие от прикладной модели метамодель включает обобщенные характеристики и ближе к формальным моделям. Метамодели позволяют обобщать опыт применения моделей. На этой основе прикладные модели и модели управления совершенствуют.

Для построения мета моделей накапливают опыт использования прикладных моделей. Метамодели являются инструментом позитивизма. В свою очередь, метамодели помогают конструировать онтологии. Парадигма (1) показывает построение метамодели

$$И \rightarrow Д \rightarrow ПМ \rightarrow ММ \quad (1)$$

В формальном выражении (1) И — измерения; Д — данные; ПМ — прикладные модели; ММ — метамодели. Можно развить эту парадигму до он-

тологий.

$$\begin{aligned} & \text{Модельный опыт} \rightarrow \text{Обобщение опыта} \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Знание} \quad (2) \end{aligned}$$

Парадигма (2) содержательно отражает парадигму (1). Модельный опыт — это содержание прикладной модели. Обобщение опыта — это содержание метамодели. Знание есть содержание онтологии. Можно построить третью парадигму

$$\begin{aligned} & \text{Обобщение опыта} \rightarrow \text{Знание} \rightarrow \\ & \rightarrow \text{Управление транспортом} \quad (3) \end{aligned}$$

Парадигма (3) показывает связь опыта и знаний с управлением транспорта. Для третьей парадигмы существует прикладная парадигма

$$\begin{aligned} & \text{Транспортная метамодель} \rightarrow \text{Транспортная} \\ & \text{онтология} \rightarrow \text{Управление транспортом} \quad (4) \end{aligned}$$

Парадигма (4) показывает связь транспортной онтологии с управлением транспорта. Использование онтологий в сфере транспорта многообразно. Одним из примеров является использование онтологий для повышения надежности грузоперевозок [9].

Особенность транспортной онтологии состоит в использовании пространственного знания и геознания. Транспортная онтология не только использует знание, но формирует новое знание, включая пространственное знание [10]. Наряду с прикладными онтологиями предметной области, помогающими решать проблемы предметной области, в сфере транспорта существуют частные онтологии для решения частных задач. Примером частной транспортной онтологии является онтология транспортных сетей (OTN) [11], которая формируется к обобщение связанных гео-данных. Примером другой частной онтологии является онтология транспортных сбоев [12]. Она создана как топологическая структура, в которая моделируют событий, сопряженные с поездками и допустимыми ситуациями.

**Общее развитие онтологий**

Как всякий научный метод транспортная онтология связана с развитием теории онтологий. Теория онтологий не стоит на месте и развивается на основе применения онтологий и выявления новых ситуаций в их применении. Основная историческая концепция онтологий состоит в попытке описать картину мира и существующий в ней порядок.

Исследования в области транспорта выявили важность структур знаний предметной области для различных целей: для оценки сцен движения в приложениях реального времени, для обеспе-

чения автоматической поддержки проектирования и анализа систем мониторинга производительности для систем общественного транспорта или для выведения знаний с целью помощи в управлении испытаниями подвижных объектов.

В прикладном аспекте разработка прикладной онтологии или онтологической модели сводится к формированию на начальном этапе глоссария терминов и понятий частной задачи или предметной области [13, 14]. Этой областью может быть киберпространство [15], станция, участок дороги.

Онтологический глоссарий отличается от обычных словарей связанностью и наличием отношений между понятиями. С позиций информатики его можно интерпретировать как систему онтологических информационных единиц (ОИЕ). ОИЕ представляет собой три компонента: термин, дефиниция, отношение дефиниции к другим терминам. Именно отношение отличает онтологический глоссарий от словарей.

ОИЕ транспортной онтологии отражают объекты реальности: физические и юридические лица, сооружения, подвижный состав, железнодорожные пути и прочее. В систему информационных единиц следует включать функциональные и атрибутивные понятия разных областей: организационные, технические экономические, управленческие, интеллектуальные, информационные [16], коммуникационные [17].

Второй этап построения онтологии заключается в нахождении оптимальных соответствий между понятием и дефиницией. Дефиниция должна отражать сущность. На третьем этапе создания онтологии формируют семантические отношения. Иногда для этой цели применяют также онтологический подход [9].

Транспортная онтология как онтология предметной области по существу является частью семантической сети. Это приводит к понятию связанных данных. Связанные данные в основном используют информационные или семантические отношения. аналогом является реляционная база данных, в которой связь между данными осуществляется на основе реляционных отношений.

Благодаря использованию информационно-измерительных систем [18] информация о сущностях транспортной инфраструктуры собирается автоматически. Транспортные онтологии, применяемые в беспилотном и интеллектуальном управлении, используют информацию, получаемую в режиме реального времени.

Каждый раз, когда случается нештатная ситуация, обнаруживаются опасные ситуации, и для того, чтобы с ними справиться, необходимы навыки машинистов. Для поддержки действий машиниста предложено [19] интегрировать онтологию в каждое транспортное средство, чтобы повысить оперативность принятия решений. Этот подход приносит пользу управлению движением в чрезвычайных ситуациях с помощью немедленных решений, где каждое транспортное средство является точкой принятия решений, реагирует с учетом соседних транспортных средств и сотрудничает с ними для достижения консенсуса в ре-

жиме реального времени.

Внедрение беспилотных транспортных средств [3] без постоянного человеческого надзора требует функционального системного описания, включая функциональные границы системы и всесторонний анализ безопасности. Эти входы в техническую разработку могут быть идентифицированы и проанализированы с помощью подхода, основанного на сценариях. Кроме того, для установления экономического процесса тестирования и выпуска необходимо определить большое количество сценариев для получения значимых результатов тестирования. Эксперты преуспевают в определении сценариев, с которыми трудно справиться или которые вряд ли произойдут. Однако эксперты вряд ли идентифицируют все возможные сценарии на основе имеющихся у них знаний. Экспертные знания, смоделированные для автоматизированной обработки, могут помочь в предоставлении широкого спектра сценариев. В этом вкладе рассматриваются онтологии как системы, основанные на знаниях, в области автоматизированных транспортных средств и предлагается генерация сцен [20] дорожного движения на естественном языке в качестве основы для создания сценария

Транспортные исследования в значительной степени опираются на различные данные. От датчиков до опросов, данные поддерживают ежедневные операции, а также долгосрочное планирование и принятие решений. Проблемы, возникающие из-за объема и разнообразия данных, которые встречаются в транспортных исследованиях, могут быть эффективно решены онтологиями. Однако на предварительном этапе для формирования онтологий необходима интеграция информации [21]. В настоящее время подобная интеграция выполняется через частные схемы, поскольку отсутствует общая методика интеграции.

Данные о транспорте разнообразны и сложны; они поступают от разных организаций, датчиков, опросов и других средств сбора данных. Это создает гетерогенность исходной информации. Гетерогенность обусловлена тем, что информация поступает от разных устройств, датчиков из разных технологий.

Проблема интеграции данных из нескольких не связанных между собой источников состоит в том, что семантика данных неточна, неоднозначна и перекрывается. Это особенно актуально в мире, где все больше и больше используемых данных открыто публикуются в Интернете.

Ранние успехи в интеграции данных основывались на предположении о независимости данных. В частности, не связанные между собой источники данных были идентифицированы исключительно на основе геопространственного [10] местоположения или уникального идентификатора человека или организации. Более сложные аналитические проекты, требующие объединения наборов данных с перекрывающейся семантикой, влекут за собой значительные усилия по преобразованию данных во что-то пригодное

для использования. Становится все более очевидным, что достижение взаимодействия между отдельными наборами данных требует внимания к семантике базовых атрибутов и их значений. Первоначальный обзор литературы выявляет ряд существующих транспортных онтологий, однако связь между ними неясна

Для формирования онтологий предлагают технологию «маркировки информации». Она включает процессы дополнения информации к первичным данным. С использованием метода маркировки предложен [9] подход создания глобальной онтологии (AGO) для автотранспорта. Этот подход включает создание графовых баз данных для моделирования семантики в автотранспортной области.

### **Онтологии в интеллектуальных транспортных системах**

В среде интеллектуальной транспортной системы (ИТС) компонент коммуникации имеет большое значение для поддержки взаимодействия между транспортными средствами и придорожной инфраструктурой. Многие исследования сосредоточены на физических возможностях и мощности коммуникационных технологий. Однако не менее важной является разработка эффективного семантического контента для передачи управленческой информации и накоплению опыта.

Онтология является одним из перспективных подходов к моделированию контекста в повсеместных вычислительных средах, и в транспортной области. Она может использоваться для моделирования контекста и семантического контента. В статье [21] рассматривается разработка онтологической модели, реализующей относительные геосемантические информационные сообщения для поддержки коммуникаций между транспортными средствами.

Следует отметить, что в транспортных и пространственных онтологиях часто появляется префикс «гео». Этим подчеркивается связь геоинформатики с транспортными онтологиями.

В транспортных онтологиях для ИТС появляется необходимость логического анализа и применения специальных логических моделей для подвижных объектов [22].

Транспортная модель онтологии содержит классы, объекты, их свойства/отношения, а также некоторые функции и шаблоны запросов для представления и обновления информации о динамических транспортных средствах, взаимодействиях между транспортными средствами и поведении. Модель [21] была разработана с помощью сценария, позволяющего оценивать подходы к разрешению конфликтов на дорогах путем реализации набора процессов принятия решений для интеллектуальных транспортных средств. Учитывая масштаб предлагаемого онтологического моделирования, оно показывает, как можно использовать транспортные коммуникации для обновления контекстной модели каждого транспортного средства. Эту работу можно легко расширить для более сложных взаимодействий

между транспортными средствами и инфраструктурой.

Важным аспектом транспортной онтологии является необходимость работы с сетевыми структурами, которые образует граф дорог. Дорожно-транспортные сети представляют собой системы, содержащие сложные взаимодействия между быстро движущимися транспортными средствами и дорожной инфраструктурой, например, светофорами. Для повышения безопасности, мобильности и эффективности дорожного транспорта были разработаны различные подходы к пониманию и изучению того, как работают такие сложные системы. Одним из подходов к достижению вышеупомянутой цели является прямое вмешательство в транспортные системы путем внедрения транспортных средств и инфраструктуры, осознающих ситуацию, содержащих передовые информационные, коммуникационные и сенсорные технологии. Интеграция таких передовых технологий представляет собой разработку интеллектуальных транспортных систем.

В среде ИТС компонент коммуникации имеет большое значение для поддержки взаимодействия между транспортными средствами и дорожной инфраструктурой. Стандарт выделенной ближней связи (DSRC) был разработан специально для поддержки ближней связи между быстро движущимися транспортными средствами и инфраструктурой. DSRC позволяет транспортным средствам и придорожным объектам отправлять и получать сообщения для решения потенциальных проблем, например, дорожно-транспортных происшествий или приоритета автомобилей экстренных служб.

Задачи транспортировки становятся все более сложными с годами, поэтому может возникнуть необходимость в общей системе, которая может моделировать множество вариантов задач транспортировки. Наша цель — представить такую систему на основе компонентов известной логистической модели задачи маршрутизации транспортных средств (vehicle Routing Problem - VRP). Базовая задача маршрутизации транспортных средств состоит из следующих элементов: клиенты, один склад, транспортные средства и требования клиентов. Транспортные средства перевозят продукцию со склада к клиентам, а затем возвращаются на склад. Целевая функция — минимизация длины маршрута, пройденного транспортными средствами. В базовой VRP можно сформулировать следующие ограничения: входящие и исходящие ребра каждого узла должны быть одинаковыми; каждый клиент должен быть посещен один раз; транспортные средства имеют ограничение по вместимости (которое одинаково для всех транспортных средств); количество посещений склада равно количеству транспортных средств.

Онтологии можно характеризовать как модели обобщения. При снятии ограничений в обобщенной онтология может выйти за пределы транспортной области. Поэтому при формировании транспортных онтологий необходимо вводить

ограничения на обобщение в виде обязательных ключевых терминов.

С топологической точки зрения транспортные онтологии имеют несколько топологических структур. Онтология как сетевая модель имеет формализованную информационную структуру. Транспортная онтология служит основой для структурирования и интеграции данных и информации для построения целостной управленческой ситуации, в которой находится подвижный объект. Эта онтология строится на сетевых пространственных моделях.

Набор онтологий в цифровой форме может служить инструментом для разработки приложений для управления. Эта онтология строится на цифровых пространственных моделях. Основой управленческих приложений являются сетевые модели: семантическая сеть терминов и связанные данные. Онтологии, разработанные на основе сетевых моделей полезны для специалистов технологического управления, для специалистов стратегического управления и для академических исследователей, работающих в области транспорта. В этой области существует проблема формирования систематики методов интеграции информации для построения онтологий.

Целью работ в области онтологий транспорта является: предоставление интеллектуального ресурса для сообщества исследователей транспорта, чтобы помочь в выборе среди существующих транспортных онтологий; определить теоретические исследования по разработке транспортных онтологий, путем выявления областей их эффективного применения.

### **Заключение**

Онтологии предоставляют средства представления знаний; они охватывают интересующую область, формально определяя соответствующие концепции в области и отношения между этими концепциями. Область транспорта может значительно выиграть от применения онтологий

Транспортные онтологии разработаны для разных приложений и рассматривают разные аспекты транспортной области. Существует опыт применения и идентификации онтологий и подонтологий [21] в транспортной области. Этот опыт дают основание на введение понятия «транспортная онтология». Транспортные исследования в значительной степени опираются на различные данные. От датчиков до опросов, данные поддерживают ежедневные операции, а также долгосрочное планирование и принятие решений. Проблемы, возникающие из-за объема и разнообразия данных, которые встречаются в транспортных исследованиях, могут быть эффективно решены онтологиями. Эта возможность уже была признана — существует ряд существующих транспортных онтологий, однако связь между ними неясна.

Развитие современной транспортной системы выдвигает обязательное требование применение транспортных онтологий. Развитие современного управления транспортом выдвигает обязательное

требование применение онтологического управления. Пока не создана методика построения транспортных онтологий. Проблема интеграции гетерогенной информации также не разработана. Еще одна проблема связана с онтологической неопределенностью, обусловленную информационную неопределенностью. Решение перечисленных проблем можно считать дальнейшей задачей развития транспортных онтологий.

**Список литературы**

1. Буравцев А. В. Цифровая железная дорога как сложная организационно-техническая система // Наука и технологии железных дорог. – 2018. Т.2.– 1(5). – С.69-79.
2. V. Ya. Tsvetkov, S.V. Shaytura, K.V. Ordov. Digital management railway // Advances in Economics, Business and Management Research, volume 105. 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE 2019), p. 181- 185.
3. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation // В сборнике: AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021. С. 50059.
4. Розенберг И.Н., Дулин С.К. Об онтологическом статусе изображения // Наука и технологии железных дорог. 2020. Т.4.– 1(13). – С.3-14.
5. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Киберфизические системы в управлении транспортом // Мир транспорта. - 2018. Т. 16. № 2 (75). - С. 138-145.
6. Urbietta I. et al. Design and implementation of an ontology for semantic labeling and testing: automotive global ontology (AGO) //Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – №. 17. – С. 7782.
7. Лёвин Б.А., Цветков В.Я. Информационные процессы в пространстве «больших данных» // Мир транспорта. 2017. – Т.15, №6(73). – С.20-30.
8. Розенберг И. Н., Цветков В. Я. Создание динамической пространственно-временной модели управления железной дорогой // Геодезия и картография. – 2010. - №8. – С. 48-51.
9. Dorofeev A. et al. Development of transportation management system with the use of ontological and architectural approaches to ensure trucking reliability //Sustainability. – 2020. – Т. 12. – №. 20. – С. 8504.
10. Кудж С.А., Курдюков Н.С. Онтологические геореференции // Информация и космос. -2024. №2. С.128- 131.
11. Lorenz, B.; Ohlbach, H.; Yang, L. Ontology of Traffic Networks (OTN). REWERSE Proj. Publ. 2005.
12. Corsar, D.; Markovic, M.; Edwards, P.; Nelson, J.D. The transport disruption ontology. In The Semantic Web—ISWC 2015. Lecture Notes in Computer Science; Arenas, M., Ed.; Springer: Cham, Switzerland, 2015; Volume 9367, pp. 329–336.
13. Dietz, J.L.G. Enterprise Ontology; Springer: Berlin, Germany, 2006; pp. 16–83.
14. Negri, E.; Perotti, S.; Fumagalli, L.; Marchet, G.; Garetti, M. Modelling internal logistics systems through ontologies. Comput. Ind. 2017, 88, 19–34.
15. Цветков В.Я., Курдюков Н.С. Анализ развития киберпространства // Информатизация образования и науки. 2024. 4(64). С.6-15.
16. Leukel, J.; Kirn, S. A Supply Chain Management Approach to Logistics Ontologies in Information Systems. In Business Information Systems; Springer: Berlin, Germany, 2008; Volume 7, pp. 95–106.
17. Choi S. K. An ontological model to support communications of situation-aware vehicles // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2015. – Т. 53. – С. 112-133.
18. Цветков В.Я. Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. - М.: МАКС Пресс, 2016. – 94 с.
19. Bermejo A. J. et al. Ontology based road traffic management //Intelligent Distributed Computing VI: Proceedings of the 6th International Symposium on Intelligent Distributed Computing-IDC 2012, Calabria, Italy, September 2012. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – С. 103-108.
20. Bagschik G., Menzel T., Maurer M. Ontology based scene creation for the development of automated vehicles //2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). – IEEE, 2018. – С. 1813-1820.
21. Katsumi M., Fox M. Ontologies for transportation research: A survey //Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2018. – Т. 89. – С. 53-82.
22. Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Logical model of mobile object control // Nexa Revista Científica. 2021. Т. 34. № 01. С. 504-513.