

# Проектирование интеллектуальной системы управления скоростным движением подвижного состава железнодорожного транспорта

О. О. Карташов<sup>1</sup>, О. В. Дейнеко<sup>2</sup>, А. М. Мирошников<sup>3</sup>, А. А. Александров<sup>4</sup>

Ростовский государственный университет путей сообщения

<sup>1</sup>okrstu@yandex.ru, <sup>2</sup>odeineko@mail.ru, <sup>3</sup>art.mir@mail.ru, <sup>4</sup>deum13@gmail.com

**Аннотация.** В данной работе, в рамках создания платформы автономного ведения, предлагается комплексный подход к обеспечению адаптивного регулирования скоростного режима подвижного состава железнодорожного транспорта. Ключевыми особенностями является применение технологий агрегирования и обработки данных от устройств сенсорного восприятия, дальнейшее формирование баз знаний на основе онтологического описания элементов структуры подвижного состава и внешних влияющих факторов, с целью определения необходимой корректировки величины скорости для оптимального прохождения, заданного участка пути. Определены существующие технологии, позволяющие извлекать знания и производить на их основе рассуждения для принятия решения о возникновении нарушения скоростного режима, а также реализовывать его корректировку в условиях динамично-меняющихся параметров объекта и среды.

**Ключевые слова:** интеллектуальная система скоростной адаптации; контрольная онтология; онтология карты; онтология подвижного состава; семантические правила; поток данных; язык запросов

## I. ВВЕДЕНИЕ

При рассмотрении научной области подвижного состава железнодорожного транспорта можно определить перечень нерешенных проблем, одной из которых является создание полностью автономной системы ведения поезда. Актуальность данной темы исследования определена существующим сегодня перспективным планом развития железнодорожной отрасли в направлении цифровизации структур обеспечения безопасности движения и удовлетворения современных логистических потребностей, а также существовании адаптивных средств управления подвижного состава, способных определять оптимальные параметры прохождения участков пути в реальном времени, в условиях динамично-меняющейся среды и учитывающих состояние объекта и его составных частей в момент принятия решения. Т.к. данная проблема делится на ряд подзадач, каждая из которых требует детального рассмотрения, в данной работе предлагается решение только нескольких, в частности определения нарушения скоростного режима, а также проектирования интеллектуальной системы скоростной адаптации.

Существующие варианты автоведения, в основном используют базы постоянных данных с электронной картой участка следования, на которой обозначен профиль пути, ограничения скорости и путевые объекты. Основным минусом такого подхода является отсутствие гибкости в принятии решений. Отсутствует возможность скорректировать постоянные данные в режиме реального времени, в рамках изменения погодных условий, износа железнодорожного полотна и т.д. Данные системы требуют обязательного наличия эксперта, контролирующего и корректирующего их параметра в процессе работы.

Учитывая поэтапную разработку платформы автономного ведения подвижного состава, следует учитывать, что предложенная в данной работе концепция регулирования скоростного режима является встраиваемым решением, способным работать, в том числе, и с существующими системами автоведения поезда, являясь системой сигнализации и помощи машинистам.

## II. РАССМОТРЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ

При рассмотрении области исследования было определено, что наибольшее развитие на сегодняшний день она получила при решении проблем автономного движения автомобильного транспорта. В частности, решение задач скоростной адаптации было предложено в системе Intelligent Speed Adaptation (далее ISA). Рассмотрим подробнее технологию ISA, которая является одной из наиболее экономически эффективной и производительной системой для улучшения безопасности автомобильного движения. Она основана на использовании цифровых карт, на которых отмечены скоростные режимы прохождения участков дороги, при наличии подключения к глобальной сети данные карты предоставляются в режиме реального времени, при отсутствии связи используется последний актуальный вариант карт, загруженный при последнем подключении [1]. Расширенные цифровые карты включают не только информацию о дорожной топологии, но и такие сведения как точки интереса (Points-of-Interests, POI), например, кафе, заправки и т.д..

Современные интеллектуальные автономные машины чувствуют и воспринимают окружающую среду с помощью различных наборов датчиков, таких как камера, лидар, GPS и др. Сенсорная информация с датчиков и цифровых карты должна быть представлена в совокупном формате, который может использовать бортовая система автономного автомобиля.

В ISA применяется система представления знаний на основе онтологического проектирования. Таким образом, принимая во внимание некоторую схожесть в потенциальной эксплуатации рассмотренной и разрабатываемой системы в данной работе, предлагается использовать такой же принцип представления знаний, как и в ISA.

Интеллектуальная система адаптации скорости (далее ИСАС) предназначена для повышения безопасности движения поезда путем восприятия условий прохождения участка пути и принятия решений по величине скорости на каждом отрезке. Превышение скорости является одной из основных причин преждевременного износа колесных пар и тележек подвижного состава, взреза стрелок, а также схода состава, что негативно сказывается на безопасности движения в целом слишком, низкая скорость негативно влияет на логистику перевозок из-за чего предприятие несет колоссальные убытки, как следствие определяется задача автоматического обнаружения отклонения оптимальных параметров прохождения участка пути для предупреждения машиниста/системы автоведения поезда.

### III. КОНЦЕПЦИЯ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПОДХОДА

В данной работе предлагается использовать онтологии для представления знаний, что определяется как явная специфика концептуализации предлагаемой системы [2]. Онтологии являются структурной основой для организации информации и используются в искусственном интеллекте, Semantic Web, биомедицинской информатике и информационной архитектуре, также можно определить их как форму представления знаний о мире или какой-то его части.

#### A. Представление слабоструктурированной информации

Для оперативного использования и представления потока слабоструктурированных данных предлагается использовать Resource Description Framework (далее RDF). RDF предназначен для концептуального описания, что обеспечивает четкую спецификацию для данных [3]. Здесь пример описывается набором троек в форме <subject, property, object>, где свойство также называется предикатом [4]. Для полного покрытия описания классов и свойств объектов инфраструктуры подвижного состава и динамичной среды, влияющей на процесс движения, предлагается использовать язык веб-онтологий (далее OWL), который является языком семантической разметки, разработанный как расширение словарного запаса RDF[5]. Для представления потока данных от сенсорного источника (датчика), установленного на подвижном составе, мы будем использовать временное представление на основе временных меток для построения данных потока

RDF [6]. Протокол SPARQL и язык запросов RDF (SPARQL) – это мощный язык запросов, который позволяет пользователям Semantic Web получать доступ к статическим данным RDF [7]. C-SPARQL – это расширение SPARQL, предназначенное для выражений непрерывных запросов, таких как данные потока RDF [7].

#### B. Формирование базы знаний

В качестве метода формирования базы знаний в ИСАС применяется подход, основанный на онтологическом проектировании, который позволяет, выполняя «человекоподобные рассуждения», обнаруживать нарушение скорости в режиме реального времени. ИСАС получает поток данных RDF от датчиков и реализует запрос к базе знаний на основе онтологий, чтобы определить скоростной режим, а также его пределы, результат может быть представлен, как в виде предупреждения о нарушении, так и в виде управляющего воздействия направленного на нормализацию процесса движения на данном участке.

Во многих работах для автономного управления транспортными средствами применялись онтологии. Простая онтология, включающая контекстные понятия, такие как Mobile Entity (Пешеход и транспортное средство), статический объект (структура дороги и пересечение дорог) и параметры контекста (isClose, isFollowing и isToReach) моделируемые для того, чтобы транспортное средство понимало контекстную информацию при приближении к «препятствию». Применяя около 14 правил, написанных в языке правил Semantic Web (SWRL), онтология способна обрабатывать рассуждения на глобальном уровне (что исключает необходимость в экспертной оценке).

Для реализации поставленной задачи в рамках данного исследования возникает необходимость в формировании двух онтологических моделей, определяемых на различных уровнях автономии и оценки ситуации для интеллектуализации движения подвижного состава, вводимые для совместного управления [7]. Одна онтология определяет взаимосвязи между уровнями автоматизации и алгоритмическими потребностями. Другая связана с уровнем оценки ситуации, включает понятие машиниста, объекта-поезда, связи, свободной зоны, перемещения, препятствия, окружающей среды и т.д. На рис. 1 показана схема определения нарушения скоростного режима в предложенной системе, где имеется два источника сенсорных данных: один из симулятора PreScan, который формирует поток данных в отсутствие изменяющихся параметров, а другой от установленных датчиков на подвижном составе.

Эти данные преобразуются в данные потока RDF, после чего выполняются запросы C-SPARQL и SPARQL для данных потока RDF в рамках обнаружения нарушения.

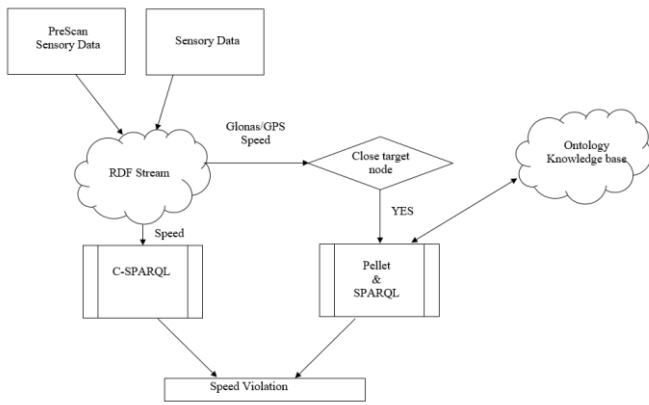


Рис. 1. Определение нарушения скоростного режима

С помощью запроса C-SPARQL можно проверить отклонение скорости состава, а также максимально допустимый предел отклонения скорости. Запросы SPARQL выполняются к предполагаемой базе знаний, для получения текущего расположения, ограничения скорости (при наличии) и обновления узла следующей цели в соответствии с полученными данными от датчика в реальном времени. SPARQL запросы выполняются при приближении объекта ближайшему положению от текущего целевого узла. После сравнивается скорость объекта со скоростным режимом, полученным из базы знаний, отправляется предупреждение о нарушении скорости или управляющий сигнал, направленный на нормализацию величины скорости.

База знаний необходима для того, чтобы состав, находящийся в автономном режиме движения, мог воспринимать условия прохождения участка пути и принимать решения об установлении безопасных параметров движения. Для создания машинопонятной базы знаний, создается несколько онтологий, экземпляров и правил для автономных объектов.

### С. Структура базы знаний

Далее представляются онтологии, используемые ИСАС для обнаружения нарушения скорости в режиме реального времени. База знаний состоит из трех онтологий: онтология карты, контрольная онтология, онтология подвижного состава. Структура элементов данной базы знаний приведена на рис. 2.

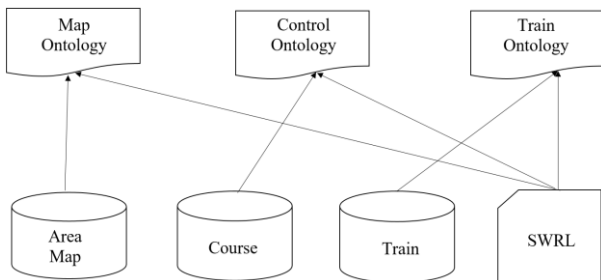


Рис. 2. Компоненты базы знаний ИСАС

Для практического использования они должны поддерживать крупномасштабную совместимость, быть обоснованным и аксиоматизированным [8]. Для определения онтологии используется специальный язык, выраженный следующими видами сущностей [9]:

1. Классы интерпретируются как набор экземпляров в домене, определяемом с помощью owl:Class. Классы также называются концепциями, которые являются основными единицами онтологии.
2. Свойства также называются предикатами или отношениями, в основном подразделяемыми на owl:ObjectProperty и owl:DatatypeProperty.
3. Экземпляры интерпретируются как отдельные части домена, которые определены путем owl:Thing.
4. Правила – это утверждения в форме предложения if-then, которые описывают логические выводы.

Для проектирования и последующего редактирования онтологий предлагается применять программное средство Protégé, являющееся открытой средой разработки для семантических веб-приложений [10].

Далее рассмотрим подробнее онтологии предлагаемого метода:

Онтология карты изображена на рис. 3. Цифровая карта является одним из ресурсов, от которого автономный объект может получить информацию о дороге и окружающей среде. Следовательно, необходимо создание онтологии карты на основе цифровой карты участка, которая может описать все необходимые атрибуты прохождения отрезка пути.

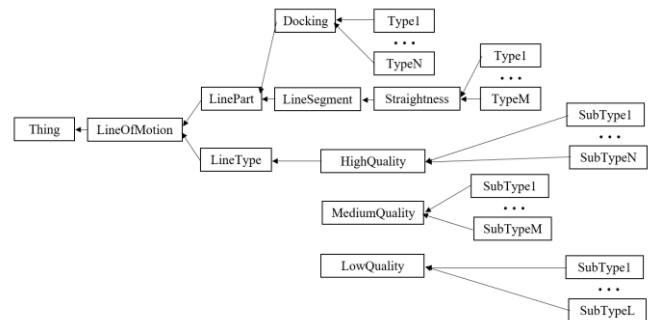


Рис. 3. Онтология карты

Контрольная онтология изображена на рис. 4. Классы используются для представления пути автономного объекта. Вместо строительства всех точек Глонас/GPS траектории, используется случай control:CourseSegment [11]. Класс узла содержит startNode и endNode, которые являются началом и концом Глонас/GPS позиции.

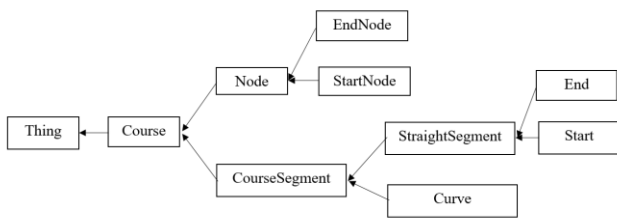


Рис. 4. Контрольная онтология

Онтология подвижного состава, изображенная на рис. 5. Данная онтология содержит понятия различных типов объектов подвижного состава и устройств, которые на них установлены.

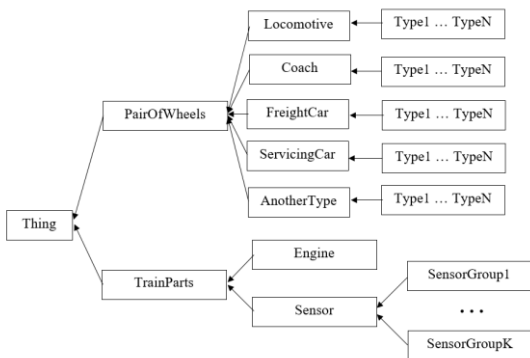


Рис. 5. Онтология подвижного состава

#### IV. ПРИМЕРЫ

Для выполнения рассуждений и формирования логических выводов о возникновении ситуации нарушения скоростного режима предлагается использовать комбинацию языка семантических правил (Semantic Web Rule Language, далее SWRL) и технологии Pellet. SWRL – это предлагаемый язык, который можно использовать для выражения правил и логики, объединяя OWL DL или OWL Lite с подмножеством языков разметки правил [12]. Pellet предоставляет стандартные и развернутые логические операции для OWL, которые могут использоваться для вывода правил.

ТАБЛИЦА I ПЕРЕЧЕНЬ РЕГИОНОВ...

ТАБЛИЦА I		ПЕРЕЧЕНЬ РЕГИОНОВ...
SELECT DISTINCT ?next		
WHERE {		
Area:currentCourseSegment	control:CoursePathSegment	?next.
Area:currentCourseSegment	control:CorseSegmentID	"currentID"^^xsd:int.
?next	control:CourseSegmentID	?nextID.
Filter ( ?nextID = (currentID + 1) )		

SPARQL – это мощный язык запросов RDF, позволяющий SWRL получать доступ к базе знаний. В табл. 1 приведен пример запроса SPARQL для получения следующего участка пути при нахождении на текущем участке. Первый идентификатор CourseSegmentID равен 0

и увеличивается на 1. При назначении CourseSegmentID, мы можем легко идентифицировать следующий участок пути даже при нахождении на текущем, т.е. одновременно иметь более одного pathSegmentID. В табл. 2 показан запрос SPARQL, который позволяет извлекать максимально допустимую скорость текущего отрезка пути.

ТАБЛИЦА II ПРИМЕР ЗАПРОСА SPARQL ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНО-ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ

SELECT ?max		
WHERE {		
{ Area:currentCourseSegment	map:isStraightnessOf	?linesegment.
?linesegment	map:isLineSegmentOf	?line.
?line	map:speedMax	?max.
} UNION {		
?line	map:hasDoking	
map:currentCourseSegment.		
?line	map:speedMax	?max. }
}		

Другой запрос SPARQL, например, обновляет позицию GPS/Глонасс целевого узла, который определяется как map:exitPos. Расстояние между объектом и целевым узлом рассчитывается в режиме реального времени в соответствии с формулой гаверсинусов, что позволит получить низкую погрешность измерения [13]. При приближении объекта к узлу, с помощью запроса SPARQL определяем следующий целевой узел и обновляем его.

#### V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основная цель нашего исследования – разработка встраиваемого решения для платформы автономного движения поездов, направленного на интеллектуальную скоростную адаптацию на участках железных дорог. В работе была представлена концепция предлагаемого подхода. Произведен сравнительный анализ существующих технологий и решений. Намечена траектория дальнейшей детальной проработки предложенной системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML, <http://www.w3.org/Submission/SWRL/>
- [2] UDP - User Datagram Protocol, <http://ipv6.com/articles/general/User-Datagram-Protocol.htm>
- [3] Allemang, D., Hendler, J.A.: Semantic Web for the Working Ontologist – Eective Modeling in RDFS and OWL. Morgan Kaufmann, second edn. (2011)
- [4] Armand, A., Filliat, D., Ibañez-Guzman, J.: Ontology-Based Context Awareness for Driving Assistance Systems. In: IEEE Intelligent Vehicles Symposium. pp. 227-233 (2014)
- [5] Barbieri, D.F., Braga, D., Ceri, S., Grossniklaus, M.: An Execution Environment for C-SPARQL Queries. In: 13th International Conference on Extending Database Technology. pp. 441-452. ACM (2010)
- [6] Bechhofer, S., van Harmelen, F., Hendler, J., Horrocks, I., McGuinness, D.L., Patel-Schneider, P.F., Stein, L.A.: OWL Web Ontology Language Reference. W3C Recommendation(2004), <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>
- [7] Eskandarian, A.: Handbook of Intelligent Vehicles. Springer (2012)8. Euzenat, J., Shvaiko, P.: Ontology Matching. Springer Berlin Heidelberg (2007)

- [8] Gruber, T.R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *KnowledgeAcquisition* 5(2), 199-220 (1993)
- [9] 10. Gutierrez, C., Hurtado, C.A., Vaisman, A.: Introducing Time into RDF. *IEEETransactions On Knowledge and Data Engineering* 19(2), 207{218 (2007)
- [10] Heath, T., Bizer, C.: *Linked Data: Evolving the Web into a Global Data Space*. Morgan & Claypool (2011)
- [11] Knublauch, H., Ferguson, R.W., Noy, N.F., Musen, M.A.: The Prot\_eg\_e OWL Plugin: An Open Development Environment for Semantic Web Applications. In: 3rd International Semantic Web Conference. pp. 229{243. Springer (2004)
- [12] Pollard, E., Morignot, P., Nashashibi, F.: An Ontology-Based Model to Determine the Automation Level of An Automated Vehicle for Co-Driving. In: 16th International Conference on Information Fusion. pp. 596-603 (2013)
- [13] Robusto, C.C.: The Cosine-Haversine Formula. *The American Mathematical Monthly* 64(1), 38-40 (1957)