

УДК 629.33

С.С. Шадрин

**ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОНОМНОГО ДВИЖЕНИЯ
НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА**

Basetrack technologies limited (Кипр, г. Лимасол)

Раскрываются актуальные проблемы стратегического и тактического уровней управления при организации автономного движения наземного транспорта и предлагаются пути их решения. Освещаются методы создания цифровой модели местности и вводится понятие «эталонного трека», представляющего собой высокоточный пространственный маршрут движения, содержащий дополнительные блоки, обеспечивающие оптимальное управление транспортным средством исходя из поставленной транспортной задачи и условий движения. Раскрывается структура данных «эталонного трека» и приводятся преимущества от использования: предопределенная вариативность действий управления на маршруте в зависимости от задач экономии времени, или повышения энергоэффективности перевозки, или обеспечения безопасности; вместе с повышением надежности, снижением требований к бортовым вычислительным мощностям, повышением скорости быстрой реакции. Постулируется необходимость рассматривать модель движения транспортного средства только с привязкой к геоинформационной среде для обеспечения эффективного управления в автономном режиме.

Ключевые слова: автономное транспортное средство, беспилотный автомобиль, автономное движение, цифровая модель местности, эталонный трек, оптимальное управление.

Введение

К основным направлениям развития автомобилестроения традиционно относятся энергоэффективность и безопасность. В части повышения безопасности автомобилей сдерживающий фактор развития заключается в том, что возможности улучшения конструкций и используемых алгоритмов управления автопроизводителями практически исчерпаны. Европейский анализ причин дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с участием грузовых автомобилей (Франция, Германия, Италия, Венгрия, Нидерланды, Словения и Испания) показал, что причиной 85,2% всех аварий является человеческий фактор, в России оценочно порядка 80% дорожно-транспортных происшествий происходят по вине непосредственно водителей [1]. Таким образом, дальнейшее повышение безопасности транспортных средств представляется наиболее эффективным при исключении человека из непосредственного цикла управления автомобилем.

В мире разработкой технологий автономного движения активно занимаются и автопроизводители (Ford, Daimler, Volkswagen, Toyota, Honda, GM, Geely, Tata, Tesla), и крупные инженерные центры (Google, Continental, Delphi, Siemens, Bosch), и военные ведомства (DARPA [2]), и университеты (Stanford University, Carnegie Mellon University, Technical University of Munich, University of Karlsruhe, Fraunhofer Institute, University of Minnesota, Universidad Politécnica de Madrid [3]), и многие другие [4-6]. Таким образом, направление развития технологий автономных транспортных средств в мире на данный момент времени является актуальным.

Постановка проблемы

Процесс управления автомобилем можно разделить на 3 уровня [7, 8]: *стратегический, тактический и исполнительный* (операционный). На стратегическом уровне происходит глобальное планирование маршрута. Тактические действия определяют процесс маневрирования автомобиля в дорожном потоке во время поездки, включая принятие решений о том, где и как обогнать другой автомобиль или сменить полосу движения и стоит ли это делать, какую выбрать скорость движения и т.д. На исполнительном уровне осуществляется траекторное управление путем воздействия на соответствующие органы управления.

Стратегический уровень в значительной степени связан с вопросами логистики, маршрутизации, навигации и описывается в работах [2, 5, 6, 9], а также многих других. Одна из основных прикладных проблем рассматриваемого уровня относится к созданию высокоточных пространственных геоинформационных моделей местности – так называемых HD-карт (High Definition Maps).

Тактический уровень управления связан с вопросами психофизиологии и в большей части зависит от правильности функционирования системы технического восприятия [10] (в частном случае – подсистемы технического зрения [11]). Также на тактическом уровне управления появляется огромный пласт проблем принятия решений, который в большинстве случаев исследователи и разработчики пытаются решить инструментариями систем искусственного интеллекта [12]. Другими словами, к основным проблемам тактического уровня мы бы отнесли неопределенности, возникающие в процессе движения и требующие корректировки маршрута движения.

Управление автомобилем на исполнительном (операционном) уровне можно считать достаточно хорошо изученным [2, 3, 5, 6, 10, 13].

Таким образом, целью настоящей статьи является освещение новых подходов к решению обозначенных проблем стратегического и тактического уровней управления при организации автономного движения наземного транспорта.

Геоинформационное обеспечение как инструмент ускоренного внедрения и распространения автономных транспортных средств

Известные способы автономного движения в большинстве своем построены на использовании данных различных систем навигации в реальном времени с применением электронной карты местности, загруженной в память блока системы управления транспортным средством (ТС). При этом установление режимов движения: направление, скорость и др. по пути следования осуществляется с использованием расчетных алгоритмов, работающих в реальном времени и зачастую зависящих от систем искусственного интеллекта, требующих значительных вычислительных мощностей. То есть в известных системах расчет режимов движения выполняется оперативно на каждом участке вычислительным модулем блока управления ТС (постоянная корректировка маршрута на тактическом уровне управления). Естественно, что такой подход приводит к необходимости использования значимых вычислительных мощностей, запаздыванию передачи команд к органам управления с ростом скорости движения, снижению точности управления на высоких скоростях движения ТС в автономном режиме.

Мы предлагаем, с одной стороны, упрощенный подход к организации автономного движения транспорта, с другой стороны – более надежный и менее затратный. Предлагаем ввести понятие «эталонного трека», представляющего собой высокоточный пространственный маршрут движения, содержащий дополнительные блоки, обеспечивающие оптимальное управление транспортным средством исходя из поставленной транспортной задачи и условий движения. Разработанный «эталонный трек» можно сравнить с виртуальным пространственным рельсом, по которому производится движение ТС так же, как и поезда по железной дороге. Соответственно, при возникновении препятствий или рисков схождения с трека в самом простом случае должна производиться остановка ТС, в более совершенном варианте – запускаться система принятия решения (например, миварная экспертная система [14]) для переключения на другой трек или на другой фрагмент сгенерированного трека объезда.

Существуют различные подходы к созданию HD-карт, но начинается все с создания цифровой модели местности (ЦММ), на которую далее осуществляется добавление «информационных слоев» с соответствующими объектами (дорожная разметка, элементы инфраструктуры и прочее). В свою очередь, геопространственные данные для ЦММ могут быть получены космической съемкой, лазерным сканированием (наземным и воздушным), радиолокационным зондированием и другими способами. Считаем в предлагаемом концептуальном подходе неоправданным использование традиционных HD-карт, вместо которых пред-

лагаем использовать «эталонные треки», являющиеся программным продуктом и получаемые на основе ЦММ и знаниях об условиях движения и особенностях ТС.

На рис. 1 показана принципиальная схема управления ТС при движении по «эталонному треку» в автономном режиме.

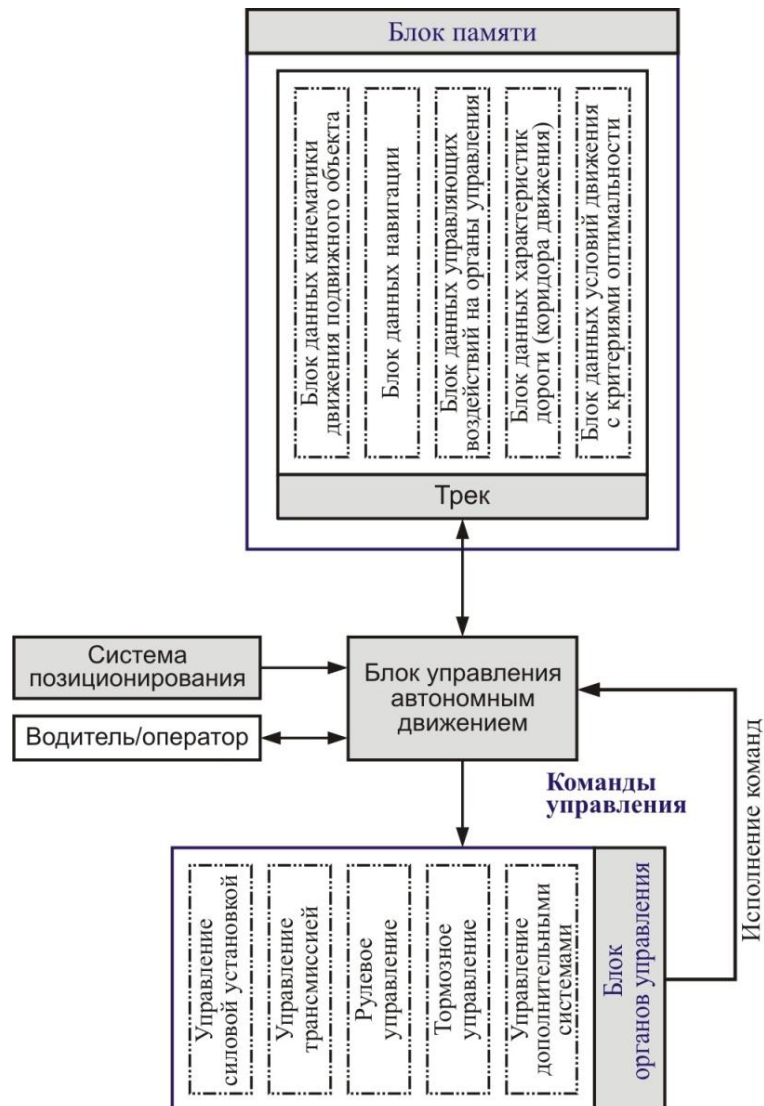


Рис. 1. Схема управления ТС в автономном режиме движения

Структура «эталонного трека» включает в себя блоки данных:

- кинематических параметров движения ТС;
- навигации;
- управляющих воздействий на органы управления;
- характеристик дороги;
- условий движения с критериями оптимальности.

Блок данных кинематических параметров движения ТС содержит расчетные данные, характерные для движения рассматриваемого ТС в снаряженном состоянии и в нормальных погодных условиях (без ветровой нагрузки и с характеристиками сцепления шин с опорной поверхностью, соответствующими сухому асфальтобетонному покрытию).

Блок данных навигации обеспечивает выполнение позиционирования ТС по треку с использованием различных систем навигации и/или локализации положения ТС.

Блок данных управляющих воздействий на органы управления ТС связан с блоком кинематических параметров движения и содержит команды управляющих воздействий для

нормальных условий движения.

Блок данных характеристик дороги содержит информацию о классе (типе) дороги, продольном и боковом уклонах дорожного полотна, усреднённом коэффициенте сцепления с поверхностью дорожного полотна в идеальных (нормальных) погодных условиях, международном индексе ровности дорожного полотна и кривизне дороги в рассматриваемом месте.

Блок данных условий движения содержит информацию, включающую в себя, но не ограничивающуюся следующими параметрами:

- максимальную разрешенную скорость движения V_{\max} в соответствии с ПДД и установленными дорожными знаками;
- коэффициент погодных условий K_w , по которому осуществляется корректировка допустимой скорости движения;
- критическую скорость движения V_{crit} для конкретного ТС с учетом дорожных и погодных условий (максимально возможная и реализуемая транспортным средством скорость, обеспечивающая асимптотическую устойчивость движения);
- комплексный коэффициент K_{eff} корректировки скорости движения, отражающий критерий энергоэффективности;
- коэффициент K_{inf} корректировки скорости движения, учитывающий особенности дорожной инфраструктуры в рассматриваемом месте;
- коэффициент K_{sat} степени достоверности получаемых данных спутниковой навигации в данном месте. Этот коэффициент учитывает инфраструктурные и природные помехи и является индикатором переключения со спутниковой системы на другие системы позиционирования (оптические, инерциальные и др.) при применении гибридных навигационных систем.

Информация блока данных условий движения является интерактивно обновляемой.

Отметим, что с точки зрения применения, некоторые параметры блока данных условий движения являются взаимоисключающими. Соответственно, конкретный набор параметров данных условий движения определяется блоком управления автономным движением в зависимости от поставленной транспортной задачи, например, исходя из таких критериев оптимальности, как минимальное время в пути, экономия топлива, обеспечение безопасности, снижение рисков и т.п. Например, для движения гоночного автомобиля по трассе блоком управления автономным движением будет использоваться скорость $V_{\text{crit}} \cdot K_w$ из блока данных условий движения. В другом примере движения автопоезда только с задачей экономии расхода топлива, скорость движения в автономном режиме будет определяться как $V_{\max} \cdot K_{\text{eff}} \cdot K_w$.

Набор файлов с последовательными треками формирует трек большей протяженности. Перед началом автономного движения ТС файл или хотя бы первый файл набора файлов продолжительного трека должен быть загружен в блок памяти. Остальные файлы треков, равно как и блок условий движения уже загруженных файлов, могут загружаться и/или обновляться по мере продвижения ТС по пути движения. Также возможна реализация предварительной загрузки в блок памяти всех файлов трека.

Таким образом, в разработанном концепте мы предлагаем на стратегическом уровне управления использовать «эталонные треки», считая информацию HD-карт избыточной. На тактическом уровне управления применение «эталонных треков» исключает и/или минимизирует проблему принятия решений и корректировки маршрута движения, что повышает надежность работы системы автономного вождения, снижает требования к бортовым вычислительным мощностям и повышает скорость быстрогодействия системы, позволяя двигаться с большими эксплуатационными скоростями. Для прототипа автономного колесного транспортного средства, построенного на базе легкового автомобиля, была достигнута скорость 130 км/ч устойчивого движения в коридоре дорожной разметки при движении по «эталонному треку» в автономном режиме и без использования средств распознавания дорожной разметки в соответствии с условиями эксперимента.

Вместе с тем, очевидным технико-экономическим преимуществом разработанного подхода является то, что рассматривая модель движения ТС с привязкой к геоинформацион-

ной среде и решая задачу оптимизации, мы выбираем оптимальные режимы автономного движения ТС, соответствующие поставленной транспортной задаче.

Заключение

В результате проведенного исследования:

1. Введено понятие «эталонного трека», представляющего собой высокоточный пространственный маршрут движения, содержащий дополнительные блоки, обеспечивающие оптимальное управление транспортным средством исходя из поставленной транспортной задачи и условий движения.

2. Предложено использование «эталонных треков» вместо карт высокого разрешения (HD-карт) или в качестве отдельных слоев HD-карт при организации автономного движения ТС на стратегическом и тактическом уровнях управления.

3. Определено, что на тактическом уровне управления автономным транспортом применение «эталонных треков» исключает и/или минимизирует проблему принятия решений и корректировки маршрута движения, что повышает надежность работы системы автономного вождения, снижает требования к бортовым вычислительным мощностям и повышает скорость быстроедействия системы, позволяя двигаться с большими эксплуатационными скоростями.

4. Для эффективного управления движением автономных ТС с учетом вариации транспортных задач, а также условий движения, весовых состояний и особенностей ТС, необходимо рассматривать модель движения ТС только с привязкой к геоинформационной среде.

Библиографический список

1. **Шадрин, С.С.** Радикальное повышение безопасности дорожного движения интегрированием автономных колесных транспортных средств в интеллектуальную транспортную среду / С.С. Шадрин, А.М. Иванов, К.Е. Карпукhin // Вестник машиностроения. – 2018. – № 1. – С. 85–88.
2. The DARPA Urban Challenge. Autonomous Vehicles in City Traffic / Martin Buehler, Karl Iagnemma, Sanjiv Singh [Eds.] // Springer. – 2009. – 651 p.
3. **Naranjo, J. E.** Anguita Autonomous vehicle for surveillance missions in off-road environment / J. E. Naranjo [et al.] // IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Gothenburg. – 2016. – P. 98–103.
4. Tendency of Creation of "Driverless" Vehicles Abroad // Saikin A.M., Bakhmutov S.V., Terenchenko A.S., Endachev D.V., Karpukhin K.E., Zarubkin V.V. Biosciences Biotechnology Research Asia. – 2014. – V. 11. (Spl. Edn.) – P. 241–246.
5. **Nonami, K.** Autonomous Control Systems and Vehicles. Intelligent Unmanned Systems / K. Nonami [et al.] // Springer Japan. 2013. – 306 p.
6. **Cheng, H.** Autonomous Intelligent Vehicles. Theory, Algorithms, and Implementation // Springer. 2011. – 163 p.
7. **Michon, J.A.** A CRITICAL VIEW OF DRIVER BEHAVIOR MODELS: WHAT DO WE KNOW, WHAT SHOULD WE DO? // In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.). Human behavior and traffic safety. New York: Plenum Press, 1985. – P. 485–520.
8. SAE J3016. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. SAE. 2016. – 30 p.
9. **Tahirovic, A.** Passivity-Based Model Predictive Control for Mobile Vehicle Motion Planning / A.Tahirovic, G.Magnani // Springer. 2013. – 64 p.
10. **Shadrin, S.S.** Methodology of autonomous road vehicles, integrated in intellectual transport environment, driving control systems design: dissertation ... doctor of technical science. 05.05.03 [Place of the thesis defense: Bauman State Technical University]. – Moscow, 2017. – 400 p.
11. **Saikin, A.M.** The Analysis of Technical Vision Problems Typical for Driverless Vehicles / A.M. Saikin, S.E. Buznikov, K.E. Karpukhin // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – V. 7. – № 4. – P. 2053–2059.
12. **Shadrin, S.S.** Experimental Autonomous Road Vehicle with Logical Artificial Intelligence / S.S. Shadrin, O.O. Varlamov, A.M. Ivanov // Journal of Advanced Transportation. 2017. Article ID 2492765. 10 pages. doi:10.1155/2017/2492765.

13. **Shadrin, S.S.** Algorithm of Autonomous Vehicle Steering System Control Law Estimation while the Desired Trajectory Driving / S.S. Shadrin, A.M. Ivanov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – V. 11. – №. 15. – P. 9312–9316.
14. **Варламов, О.О.** Миварные экспертные системы для сопровождения производственных процессов на транспорте / О.О. Варламов [и др.] // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 11. – № 5. – С. 53–59.

*Дата поступления
в редакцию 15.06.2018*

S.S. Shadrin

GEOINFORMATION SUPPORT OF GROUND VEHICLES' AUTONOMOUS DRIVING

Basetrack technologies limited, Cyprus, Limassol

Purpose: This article describes actual challenges of autonomous driving with respect to strategic and tactical levels of vehicle control, solutions are offered.

Design/methodology/approach: Methods for creating a digital terrain model are described. The notion of an "ideal track" is introduced, which is a high-accuracy spatial route of movement, containing additional blocks providing optimal control of the vehicle based on the requested transport task as well as road and traffic conditions.

Findings: An "ideal track" data structure is presented with the advantages of its implementation: the predetermined variability of the control actions on the route, depending on the tasks of time saving, or energy efficiency increasing, or safety providing; together with increased reliability, reduced requirements for on-board computing power, increased performance.

Originality/value: It is postulated that it is necessary to estimate the vehicle's driving model only with reference to the geoinformation environment to ensure efficient control in an autonomous mode.

Key words: autonomous vehicle, driverless car, autonomous driving, digital terrain map, ideal track, optimal control.