

ОДНОМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ

Котенко А.А., Худорожков С.И.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

Ключевые слова: беспилотный автомобиль, траектория движения, координаты Френе, адаптивный круиз-контроль, смена полосы.

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и применением систем, направленных на повышение безопасности и комфорта вождения. Авторы представляют одномерный подход к моделированию таких систем, который позволяет упростить анализ и оптимизацию их работы. Дается описание основных принципов одномерного моделирования и архитектуры устройства беспилотного автомобиля. Приводятся примеры использования этого подхода для разработки систем помощи водителю, которые включают в себя адаптивный круиз-контроль, системы предупреждения о столкновении, выполнение маневра смены полосы и другие функции. Особое внимание уделяется тестированию разработанной системы в различных дорожных сценариях, имитирующих движение по автомагистрали, с целью проверки ее эффективности. Результаты исследования носят практический характер и будут полезны инженерам и разработчикам, в сферу интересов которых входят повышение безопасности и автоматизация управления транспортными средствами.

ONE-DIMENSIONAL MODELING OF A DRIVER-ASSISTANCE SYSTEM

Kotenko A.A., Hoodorozhkov S.I.

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: self-driving car, movement trajectory, Frenet coordinates, adaptive cruise control, lane change.

Abstract. The article considers issues related to the development and application of systems aimed at improving driving safety and comfort. The authors present a one-dimensional approach to modeling such systems, which simplifies the analysis and optimization of their operation. The main principles of one-dimensional modeling and the architecture of the self-driving vehicle are described. Examples of using this approach to develop driver assistance systems are given, which include adaptive cruise control, collision warning systems, lane change maneuvers, and other functions. Particular attention is paid to testing the developed system in various road scenarios simulating driving on a highway in order to verify its effectiveness. The results of the study are of a practical nature and will be useful to engineers and developers whose interests include improving safety and automating vehicle control.

Введение

Сегодня можно наблюдать высокий темп развития технологий автоматизации во всех технических и экономических сферах, и автомобильная промышленность не является исключением. В мире, где на первые места выходят повышение эксплуатационной безопасности и оптимизация процессов с участием человека, системы помощи водителю в управлении транспортным средством (ТС) [1] имеют все большее значение.

Компьютерное моделирование позволяет на ранних этапах создания новой технологии, системы, продукта и т.п. проводить их тестирование с целью оптимизации и достижения такого уровня, который позволит перейти к следующим этапам разработки с меньшими издержками. Одномерное моделирование [2] предлагает структурное проектирование по типу «сверху-вниз». В первую очередь, определение функционирующих подсистем и связей между ними, а затем их реализация.

В этой статье приводятся результаты проектирования продвинутой системы помощи водителю (ADAS), которая способна взять на себя полное управление автомобилем. Рассматриваются ее основные принципы, свойства и преимущества. Проводится симуляция дорожных сценариев разного уровня сложности.

Цель данной статьи заключается в оценке разработанной системы ADAS и перспектив одномерного моделирования в автомобильной промышленности, его преимуществ и перспектив решения существующих проблем.

Методы исследований

Для реализации системы ADAS был использован комплекс прикладных программ для решения технических и вычислительных задач «MATLAB». Пакет включает в себя инструмент графического программирования «Simulink», с помощью которого можно создать модель проектируемой системы в виде блок-схем.

Исследование имеет экспериментальный характер – после создания модели был проведен ряд испытаний для демонстрации ее эффективности и достижения необходимых требований.

Результаты

Архитектура предлагаемой системы ADAS соответствует типичному устройству аналогичных систем. Современные помощники состоят из двух глобальных составляющих – системы восприятия и системы принятия и реализации решений. Задача первой заключается в сборе информации об окружающей обстановке, в нее входят бортовые датчики (камеры, радары и т.п.) и спутниковая система навигации. Система ориентирована на обнаружение как движущихся объектов (автомобилей, пешеходов), так и неподвижных (дорожных знаков и объектов, которые могут помешать движению по устоявшейся траектории). Система принятия решений анализирует эти данные, планирует движение и посылает сигналы управления.

Детектирование и слежение за внешними объектами представляют собой самую актуальную проблему беспилотных ТС. Искусственный интеллект на данный момент не достиг уровня восприятия человека и может допускать ошибки в неоднозначных ситуациях.

В попытках решения этой проблемы в системе применен метод слияния информации с различных типов датчиков [3]. В число бортовых сенсоров входят семь камер, расположенных по всему периметру автомобиля, и радар дальнего действия. Наличие двух типов датчиков сводит возможность ошибки распознавания к минимуму [4]. Охват датчиков имеет взаимные перекрытия (рис. 1). Так в самой важной зоне впереди по траектории движения на расстоянии 50 м от автомобиля пересекаются зоны радара дальнего действия и главной и широкоугольной камер.

Теория планирования движения получила широкое развитие в робототехнике задолго до области автономного управления ТС. Метод интерполяции траектории движения полиномиальными кривыми (рис. 2) является наиболее перспективным и часто используется на практике [5].

Применяя этот метод в координатной системе Френе [6], которая в отличие от декартовой системы координат описывает положение объекта на плоскости продольным и поперечным смещениями, получается оптимальная основа для системы планирования движения. При соблюдении автомобилем запланированной непрямолинейной траектории движения отклонение от координатной оси продольного смещения будет равно нулю (рис. 3), что выгодно отличает выбранную систему координат от декартовой (в которой бы повторялись изгибы трассы) на этапе анализа курсовой устойчивости.

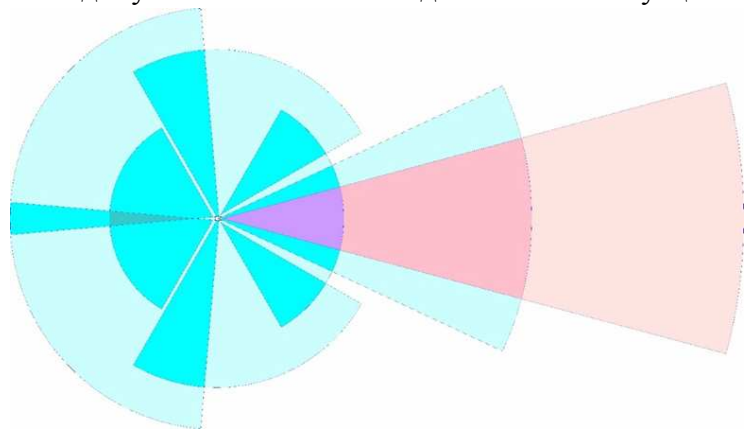


Рис. 1. Зоны покрытия бортовых сенсоров

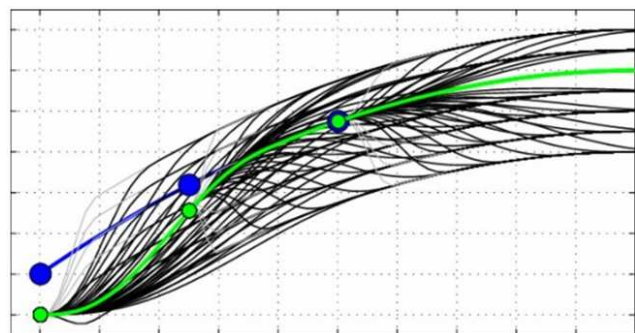


Рис. 2. Полиномиальные траектории

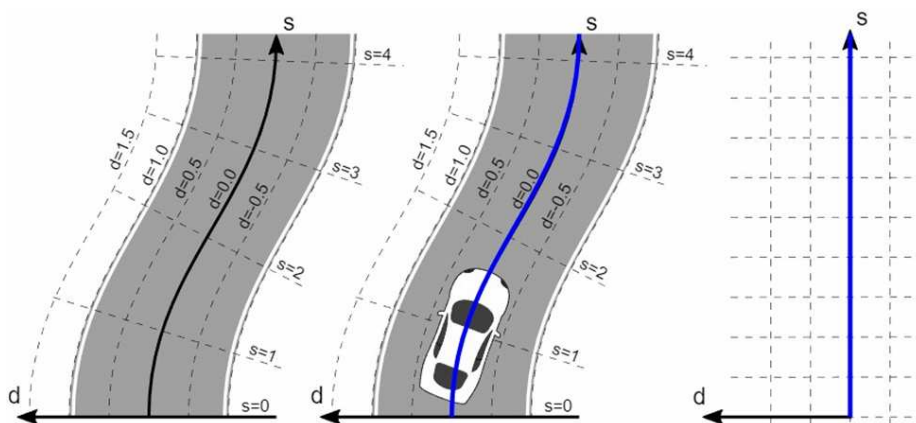


Рис. 3. Траектория движения в координатах Френе

Контроль сигналов управления, передаваемых непосредственно на элементы управления автомобилем (рулевое управление, подача топлива и т.д.) осуществляется методом управления с прогнозирующими моделями MPC [7]. Основное преимущество данного метода по сравнению, например, с линейно-квадратичным регулятором (LQR) заключается в том, что он учитывает будущие вероятные события за счет оптимизированного конечного временного горизонта. Таким образом, MPC способен наперед передавать необходимые сигналы управления и успешно функционировать на предельно допустимой скорости движения ТС.

Цифровой двойник ТС является неотъемлемой частью разработанной модели, однако в связи с тем, что помощник является универсальным и путем надстроек может быть адаптирован под любой класс автомобиля (в перспективе даже для грузового транспорта, движущегося в колоннах [8]), в данной статье не будет представлено подробное описание модели ТС. Она также может быть оптимизирована для более детального исследования характеристик ТС в области теории движения.

Дорожные сценарии для симуляции модели проектировались на двух- и четырехполосной трассе, имитирующей движение по шоссе. Именно такие условия более вероятны для активного применения водителями, исходя из социальных исследований [9] и перспектив развития дорожной инфраструктуры. Городской трафик носит более комплексный характер, обусловленный повышенным числом факторов, влияющих на движение, и на данный момент является менее благоприятной средой для передачи управления ТС системе ADAS.

В разработанной системе ADAS реализовано два режима управления ТС – стандартный и спортивный. Первый отталкивается от удержания необходимого расстояния до впереди идущего автомобиля, т.е. адаптивный круиз-контроль с возможностью смены полосы при необходимости.

В спортивном режиме в приоритете поддержание заданного значения скорости, что приводит к более частым сменам полосы движения. Со стороны может показаться, что такой стиль вождения является агрессивным, тем не менее ADAS настроен так, чтобы ПДД не нарушались.

В связи с тем, что стандартный режим априори не должен допускать опасного сближения и при необходимости торможения делает это плавно, чтобы пассажиры не ощутили дискомфорта, а в спортивном режиме тот же принцип управления не всегда успеет среагировать на потенциальные помехи движению, в дополнение к нему был разработан блок команд экстренного торможения, который в убыток комфорту обеспечивает максимальную безопасность. Он подразумевает четыре уровня торможения – три автоматических по возрастанию продольного ускорения по модулю и один, инициированный водителем, в тех случаях, когда человек следит за дорожной обстановкой (уровень является необязательным, система справится и без участия водителя). Включение определенного уровня зависит от

расчетного времени достижения впереди идущего автомобиля при настоящих значениях скоростей обоих автомобилей и дистанции между ними.

Симуляций дорожных сценариев позволяет в реальном времени оценить эффективную работу всех подсистем ADAS (рис. 4).

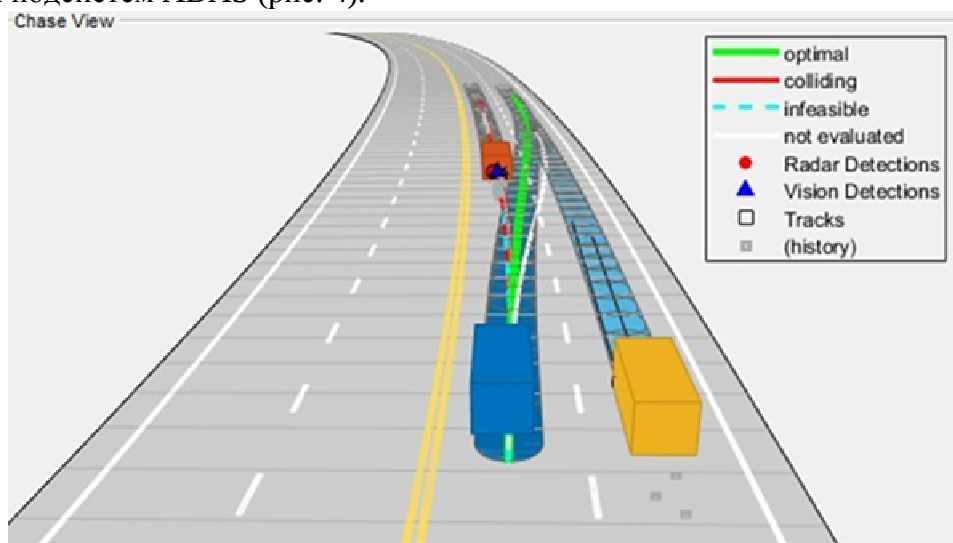


Рис. 4. Маневр смены полосы

Визуализация демонстрирует работу системы восприятия (процесс обнаружения и слежения за важными объектами с помощью камер и радара) и системы принятия решений (различные траектории, которые приводят либо к успешному маневру для соблюдения запланированной траектории движения, либо к столкновению).

Помимо успешного прохождения разработанных дорожных сценариев важной характеристикой комфортного движения является поперечное ускорение и рывок. Автомобиль под управлением ADAS в обоих режимах продемонстрировал удовлетворительные результаты (рис. 5), не превышающие граничные значения комфорта [10].

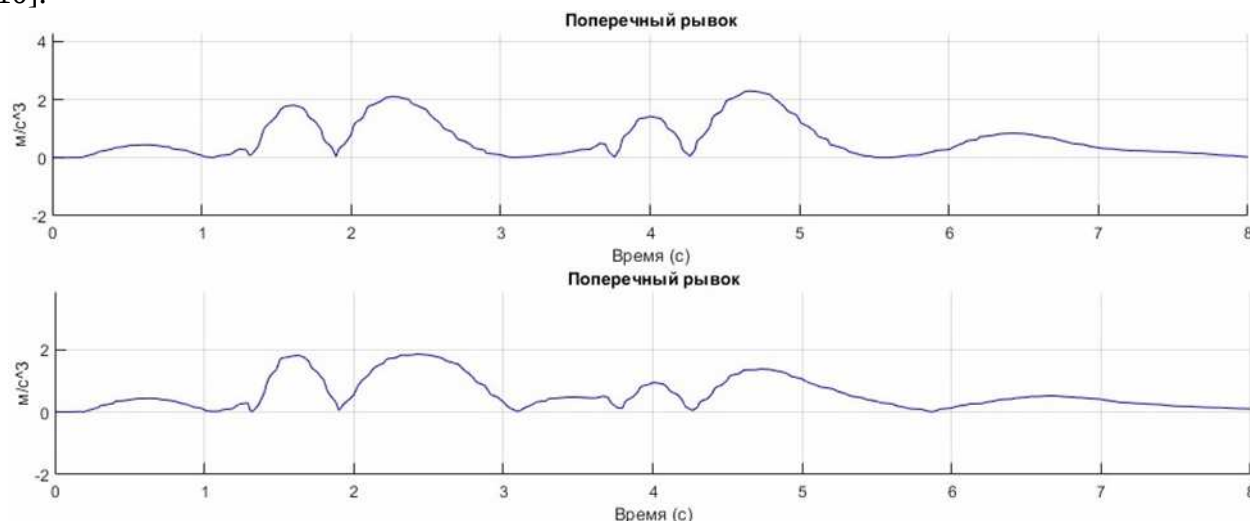


Рис. 5. Поперечный рывок в спортивном и стандартном режимах

Выводы и заключение

Дорожные сценарии были спроектированы так, чтобы испытать систему ADAS в самых разных условиях. Сюда относятся, как стандартное взаимодействие с другими участниками движения и их маневрами, так и внештатное реагирование на аварийный ситуации вследствие, например, нарушений ПДД. Стандартный и спортивный режим демонстрируют разное поведение в ряде сценариев, при этом всё равно по-своему справляясь с каждым испытанием.

Максимальная скорость движения, при которой сохраняются курсовая устойчивость автомобиля и весь функционал системы ADAS (удержание полосы, адаптивный круиз-контроль и смена полосы), составила 42,5 м/с. Этого более чем достаточно для движения по трассам общего пользования. Для того, чтобы осуществить полную остановку на скорости в 40 м/с, автомобилю понадобилось всего 90 метров.

Дальнейшее развитие разработанной системы беспилотного управления автомобилем и последующее внедрение на ТС позволит обезопасить управление и существенно повысить эффективность этого процесса.

Список литературы

1. Badue C., Guidolini R., Carneiro R.V., Azevedo P., Cardoso V.B., Forechi A., Jesus L., Berriel R., Paixão T.M., Mutz F., Veronese L. de P., Oliveira-Santos T., De Souza A.F. Self-driving cars: A survey // Expert Systems with Applications. 2021, vol. 165, p.113816. doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113816.
2. Трусфус М.В., Кирпичников А.П., Якимов И.М. Моделирование в системе структурного и имитационного моделирования Simulink // Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20, №. 8. – С. 107-110.
3. Сысоева С. Видеокамеры и слияние сенсорных данных датчиков в автомобильных системах безопасности СПВ следующего поколения // Компоненты и технологии. – 2009. – № 94. – С. 27-32.
- 4-10. См. References

References

1. Badue C., Guidolini R., Carneiro R.V., Azevedo P., Cardoso V.B., Forechi A., Jesus L., Berriel R., Paixão T.M., Mutz F., Veronese L. de P., Oliveira-Santos T., De Souza A.F. Self-driving cars: A survey // Expert Systems with Applications. 2021, vol. 165, p.113816. doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113816.
2. Trusfus M.V., Kirpichnikov A.P., Yakimov I.M. Modeling in the structural and simulation modeling system Simulink // Bulletin of the Kazan Technological University. 2017, vol. 20, no. 8, pp. 107-110.
3. Sysoeva S. Video cameras and sensor data fusion in next-generation automotive safety systems // Components and Technologies. 2009, no. 94, pp. 27-32.
4. Yeong D.J., Velasco-Hernandez G., Barry J., Walsh J. Sensor and sensor fusion technology in autonomous vehicles: A review // Sensors. 2021, vol. 21, no. 6, pp. 2140. doi.org/10.3390/s21062140.
5. González D., Pérez J., Milanés V., Nashashibi F. A review of motion planning techniques for automated vehicles // IEEE Transactions on intelligent transportation systems. 2015, vol. 17, no. 4, pp. 1135-1145. doi.org/10.1109/TITS.2015.2498841.
6. Reiter R., Nurkanović A., Frey J., Diehl M. Frenet-cartesian model representations for automotive obstacle avoidance within nonlinear mpc // European Journal of Control. 2023, vol. 74, pp. 100847. doi.org/10.1016/j.ejcon.2023.100847.
7. Zhao W., Wei H., Ai Q., Zheng N., Lin C., Zhang Y. Real-time model predictive control of path-following for autonomous vehicles towards model mismatch and uncertainty // Control Engineering Practice. 2024, vol. 153, pp. 106126. doi.org/10.1016/j.conengprac.2024.106126.
8. Lourenço B., Silvestre D. Enhancing truck platooning efficiency and safety – A distributed Model Predictive Control approach for lane-changing manoeuvres // Control Engineering Practice. 2025, vol. 154, pp. 106153. doi.org/10.1016/j.conengprac.2024.106153.
9. Zhang S., Jing P., Xu G. The acceptance of independent autonomous vehicles and cooperative vehicle-highway autonomous vehicles // Information. 2021, vol. 12, no. 9, pp. 346. doi.org/10.3390/info12090346.
10. de Winkel K. N., Irmak T., Happee R., Shyrokau B. Standards for passenger comfort in automated vehicles: Acceleration and jerk // Applied Ergonomics. 2023, vol. 106, pp. 103881. doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103881.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Котенко Антон Александрович – ассистент Высшей школы транспорта ИММиТ	Kotenko Anton Aleksandrovich – assistant of the Higher school of transport IMMT
Худорожков Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор Высшей школы транспорта ИММиТ	Hoodorozhkov Sergei Ivanovich – doctor of engineering sciences, professor, professor of the Higher school of transport IMMT
kotenko.anton@mail.ru	

Получена 10.02.2025