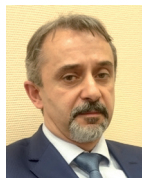


Технические и технологические особенности автономных транспортных средств



С. В. Жанказиев,
д. т. н., профессор,
зав. кафедрой «Организация
и безопасность движения»
Московского автомобильно-
дорожного государственного
технического университета
(МАДИ)

В статье раскрыты особенности роботизации транспортного средства, систем сбора данных, необходимых для реализации технологий автономного движения, а также основных инструментов первичной обработки информации. Затронуты вопросы перспективного развития кооперативных и комплексных интеллектуальных транспортных систем на примере технологий автоматизированного движения в колоннах и цифровой модели дороги.¹



А. И. Воробьев,
к. т. н.,
доцент кафедры
«Организация
и безопасность
движения» МАДИ

Роботизированные средства контроля над органами управления

Сегодня внимание ученых разных стран сосредоточено на разработке и развитии опытных образцов автономных транспортных средств (АТС). Преимущества АТС — большая производительность труда, возможности качественного улучшения организации дорожного движения, повышения его безопасности (при должном уровне надежности и безотказности систем). Любое транспортное средство (ТС), претендующее на звание автономного, должно содержать системы, осуществляющие контроль над основными органами управления ТС:

- тормозную;
- рулевого управления;
- контроля коробки переключения передач;
- регулировки подачи топлива.

Сегодня на рынке автомобильного транспорта достаточно много моделей, оснащенных штатными роботизированными системами. Однако при создании опытного образца автономного транспортного средства Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) было принято решение об использовании автомобиля, не оборудованного такими системами, с целью выработки собственных решений. Кроме того, стояла задача минимального вмешательства в штатные органы управления, чтобы сохранить возможность ручного управления для облегчения транспортировки опытного образца к полигонно-тестовым комплексам и тестовым площадкам [1].

Роботизированное управление тормозной системой может быть реализовано различными методами: при управлении блоком антиблокировочной системой, который после подачи специальной команды поднимает давление в тормозной системе на необходимый уровень, или с помощью дополнительных систем сервоприводов, воздействующих непосредственно на педаль тормоза. Для опытного образца МАДИ было принято решение использовать второй метод, при котором вмешательство в активную систему безопасности минимально, а переход в режим ручного управления достаточно легкий. Внедренная система сервоприводов оказывает влияние на педаль тормоза в зависимости от необходимого замедления, рассчитываемого автономной системой управления на основании полученной информации о дорожной обстановке. На случай сбоя опытной автономной системы управления предусмотрена возможность аварийного отключения управления и остановки автомобиля (выполняется дистанционно или после нажатия специальных кнопок, находящихся внутри и снаружи салона ТС).

Роботизированная система рулевого управления, как правило, основана на контроле штатным электроусилителем, или дополнительно установленным электромотором. Точное позиционирование угла поворота колес достигается при помощи датчика положения рулевого колеса. В рамках опытного образца МАДИ было принято решение об установке дополнительного электромотора на рулевую колонку параллельно

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-16162.

штатному гидравлическому усилителю, что сохранило возможность ручного управления ТС при отключении систем автономного движения.

Как правило, АТС, способные самостоятельно контролировать переключение передач, оснащены автоматическими, роботизированными коробками переключения передач или вариаторами с электронными сервоприводами переключения режимов работы. Это в значительной степени упрощает реализацию автономного движения, поскольку достаточно выполнить параллельное подключение автономной системы управления к электронной консоли управления коробки переключения передач. Опытный образец МАДИ оснащен автоматической коробкой переключения передач с механическим селектором. Затруднения при внедрении автономной системы управления были преодолены с помощью дополнительной системы сервоприводов, не препятствующих осуществлению ручного управления ТС.

Современные автомобили оснащаются электронными педалями газа, и регулировка подачи топлива при автономном управлении осуществляется через подключение к штатной бортовой компьютерной системе или параллельно датчику педали газа с имитацией поступающего от него сигнала, как это было организовано на опытном образце МАДИ.

Безусловно, роботизация ТС — необходимый этап на пути создания АТС, но, пожалуй, наиболее легкий. Следующий этап включает оснащение автомобиля средствами получения информации о дорожной обстановке.

Бортовые системы машинного зрения

Для реализации технологий автономного движения необходим сбор информации об окружающей дорожной обстановке. Опытный образец АТС МАДИ оснащен следующими собственными бортовыми системами машинного зрения:

- высокоточная глобальная навигационная спутниковая система (необходима для решения задач маршрутизации и привязки ТС в рамках цифровой модели дороги);
- инерциальные навигационные системы (применяются в сочетании с глобальной навигационной спутниковой системой как инструмент по-



Рис. 1. Правая видекамера

вышения ее точности, а в некоторых случаях для дополнительной корректировки траектории движения автомобиля в поворотах);

- лидар (применяется в качестве высокоточного инструмента измерения расстояния от ТС до окружающих его объектов с помощью импульсного лазерного излучения для создания трехмерной карты области вокруг автомобиля, имеет круговой обзор);

- ультразвуковые датчики (применяются для обнаружения препятствий на ближних дистанциях, как правило, используются для реализации систем автоматической парковки и систем мониторинга слепых зон автомобиля);

- стереокамеры, установленные на передних стойках внутри салона ТС (необходимы для обнаружения препятствий, в частности пешеходов и велосипедистов, на пути движения

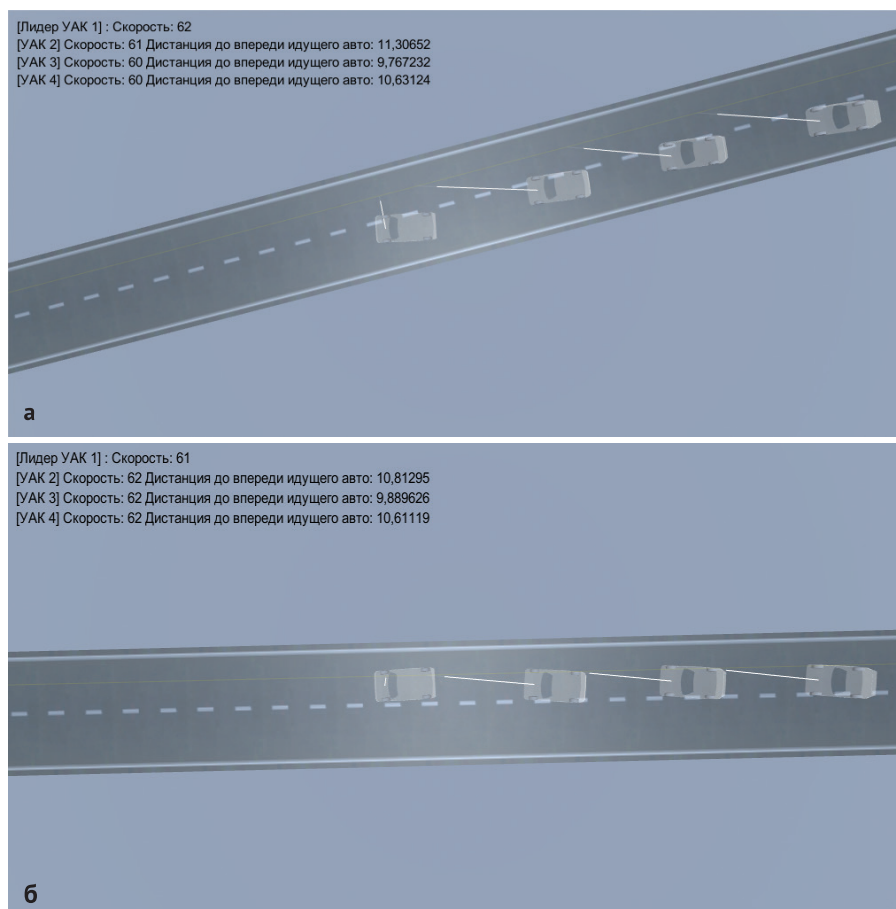


Рис. 2. Моделирование движения автоматизированной колонны: а — начало маневра; б — завершение маневра

автомобиля в режиме реального времени, для определения полос движения, распознавания дорожных знаков и разметки; используются в качестве дополнительного средства определения расстояния до объектов, расположенных в поле зрения камер); место установки камер выбрано таким образом, чтобы они получали изображение через зону работы щеток стеклоочистителя (рис. 1), что обеспечивает их работоспособность в плохих погодных условиях.

Приведенный набор собственных бортовых систем машинного зрения необходим для полноценного сбора данных об окружающей дорожной обстановке и для их последующей обработки системой управления автономным автомобилем. Кроме того, лидар и стереокамеры повышают надежность системы автономного управления за счет дублирования.

Сторонние источники информации

Существуют и другие средства и системы получения информации от внешних источников, которые не входят в разряд необходимых для реализации технологий автономного движения, но способствуют переходу безопасности и организации дорожного движения на качественно новый уровень. К таким средствам относятся межбортовое взаимодействие (V2V) и технология цифровой модели дороги (V2I2V).

Сейчас в рамках проекта АТС МАДИ ведутся работы по осуществлению межбортового взаимодействия на коротких дистанциях (технология DSRC, Wi-fi). При этом каждое ТС может получать прогнозную информацию и заранее

формировать или выбирать сценарий движения. Технологии межбортового взаимодействия применяют и для синхронизации действий отдельных групп ТС, что позволяет увеличить пропускную способность дорог и обеспечивает более устойчивое состояние транспортного потока в результате устранения задержек в управлении ТС (отсутствие «растягивания» колонны). Кроме того, вследствие исключения человеческого фактора снижается аварийность.

В рамках проекта автономного автомобиля МАДИ разрабатываются алгоритмы и сценарии межбортового взаимодействия при движении ТС в автоматизированной колонне. Как возможная перспектива в мире рассматриваются технологии Platooning и «Кооперативный адаптивный круиз-контроль» (КАКК).

Platooning

Это группа ТС, которые могут двигаться, соблюдая минимальную дистанцию, с высоким уровнем безопасности при любом скоростном режиме [2, 3]. При этом в рамках автоматизированной колонны между ТС поддерживается постоянное информационное соединение. Ведущее ТС контролирует скорость и направление движения, следующие ТС реагируют на движение ведущего и повторяют его действия с необходимыми корректировками. Разработка и тестирование алгоритмов движения ТС в автоматизированной колонне проводятся в среде Unity, позволяющей достоверно и с высокой точностью имитировать физические характеристики ТС и силы, действующие на них при движении (рис. 2, а, б).

Кооперативный адаптивный круиз-контроль

«Кооперативный адаптивный круиз-контроль» — термин, который в последние годы широко используется и зачастую ошибочно считается синонимом модели движения Platooning [4–6], хотя указанные модели имеют существенные различия. Термин КАКК применяют для описания нескольких концепций системы, каждая из них использует комбинацию автоматического управления скоростью с взаимодействующим элементом в случае межбортового соединения (V2V) и/или связи между инфраструктурой и ТС (I2V). Вариант V2V предоставляет информацию о впереди идущем ТС или группе ТС, а связь I2V — о дорожной обстановке по ходу движения и о рекомендациях по скоростному режиму и маневрированию. Системы КАКК могут быть реализованы с использованием одного или того и другого источника информации: I2V и V2V.

Второе существенное различие между КАКК и Platooning заключается в стратегии осуществления контроля над ТС. В первом случае информация о параметрах движения передается от впереди идущего ТС, во втором — информация поступает ко всем ТС от головного автомобиля.

Проекты Platooning, как правило, подчеркивают очень тесную взаимосвязь между ТС при движении автомобилей с постоянной дистанцией. Сохранение дистанции иногда называют стратегией с постоянным расстоянием, так как расстояние между ТС не изменяется в зависимости от скорости движения. Такая стабильность достигается только с помощью устойчивой коммуникации ТС. Перебои в коммуникации могут иметь серьезные последствия (особенно если автоматизированная колонна состоит из грузовых автомобилей с различной грузоподъемностью и текущей массой): при малой дистанции между автомобилями экстренное торможение может оказаться малоэффективной мерой предотвращения ДТП.

Цифровая модель дороги

В рамках проекта автономного автомобиля МАДИ ведутся разработки по технологии цифровой модели дороги, которая представляет собой единый инструмент сбора, хранения и обработки данных, способный предоставить обширную информацию или



Рис. 3. Дублирование работы системы распознавания пешеходов на монитор



Рис. 4. Пример гистограммы ориентированных градиентов для распознавания силуэта человека

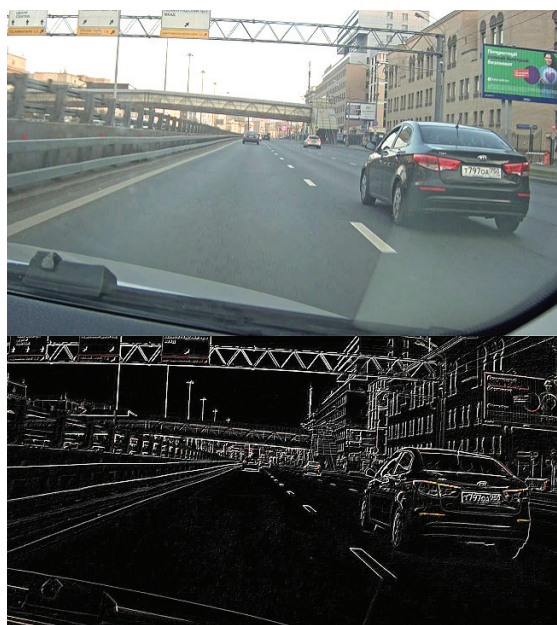


Рис. 5. Результат применения оператора Собеля к изображению

готовые сценарии управления различным интеллектуальным транспортным системам, в частности кооперативным и комплексным. В зависимости от сложности поставленных задач такой инструмент может быть локальным, т. е. предоставлять данные по определенному участку дороги или небольшой сети дорог, либо иметь глобальный характер, например, охватывать улично-дорожную сеть города/региона.

Процесс создания цифровой модели дороги включает несколько этапов. Вначале проводится лазерная съемка и оцифровка сети дорог с привязкой к высокоточной системе геопозиционирования, т. е. создается высокоточная виртуальная модель дороги. Затем выполняется привязка к модели дороги текущей схемы организации дорожного движения, за исключением систем автоматизированного управления дорожным движением. На следующем этапе происходит привязка к цифровой модели дороги параметров систем автоматизированного управления дорожным движением и параметров транспортных потоков. Для локального управления транспортными потоками возможна привязка параметров движения отдельных ТС. На основе данных, содержащихся в цифровой модели дороги, можно осуществлять достаточно тонкое и точное управление дорожным движением, а по достижении высокого уровня автономности подвижного состава становится возможным и формирование транспортных потоков, что

при условии комплексного подхода позволит полностью использовать пропускную способность сети дорог и, как следствие, минимизировать издержки автомобильного транспорта.

Одна из существенных проблем при реализации технологии цифровой модели дороги — недостаточная скорость передачи данных и нехватка вычислительной мощности центров их обработки. И чем крупнее зона влияния систем, тем больше мощностей требуется для своевременного анализа и формирования сценариев их функционирования. Приведем несколько возможных вариантов решения проблемы:

- ограничение зон влияния комплексных систем при условии их консолидации в режимах реального времени, т. е. своего рода уменьшение массива данных, необходимых для анализа;
- ограничение количества собираемых данных, что отразится, в частности, на эффективности комплексных систем;
- частичный перенос систем первичного анализа собранной информации на бортовые компьютерные системы (отсеивание дублирующейся информации, анализ видеозображения и представление необходимой информации в виде таблиц/кодов и т. д.), что повлечет за собой рост нагрузки на вычислительные мощности отдельных ТС;
- разработка жизненных циклов и иерархической структуры приоритетных показателей, что необходимо для снижения требований к средствам хранения данных, так как большая часть динамической информации устаревает и ее дальнейшее хранение и анализ бесполезны;
- подключение к обработке данных вычислительных мощностей частного бизнес-сектора.

Обработка полученной информации

Следующий этап, без которого невозможно осуществление автономного движения, — обработка различными алгоритмами полученной информации, по результатам которой систе-

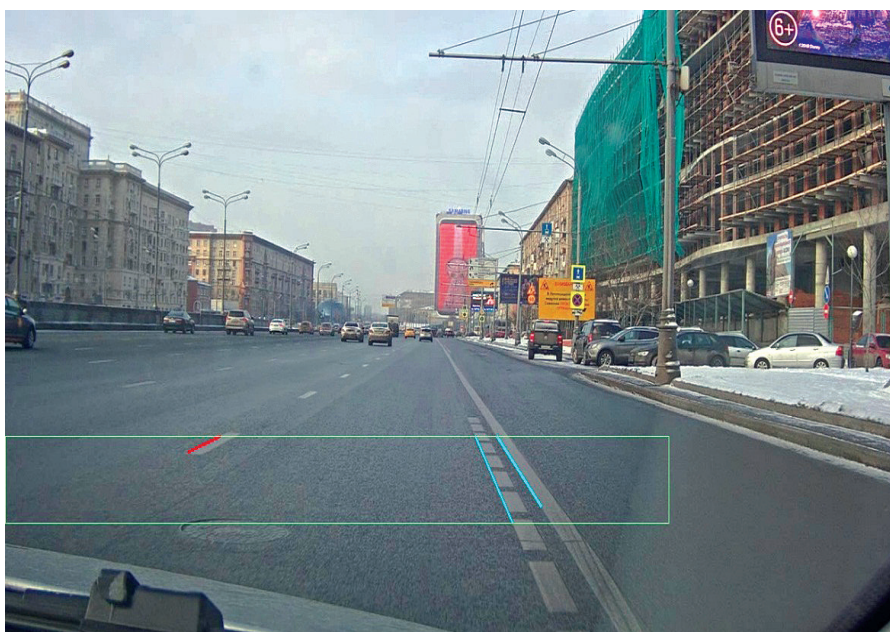


Рис. 6. Результат преобразования Хафа в контрольной области

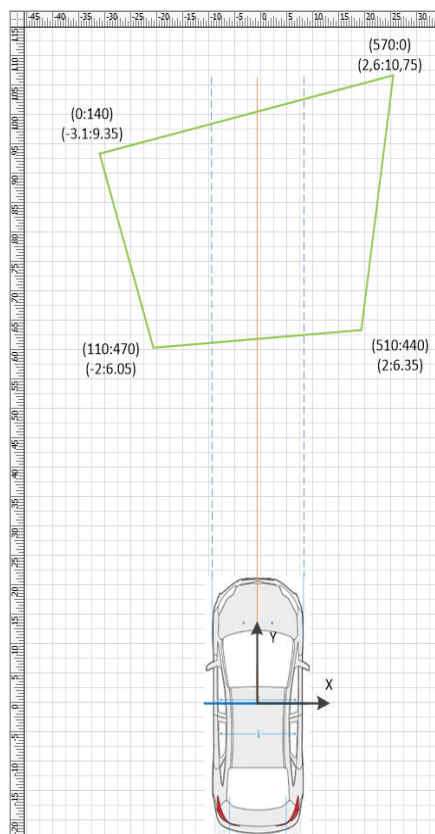


Рис. 7. Зона контроля видеоизображения

ма управления автономным движением формирует сценарий дальнейших действий. В частности, на опытном образце автономного автомобиля МАДИ реализованы следующие сложные алгоритмы обработки данных:

- обнаружение пешеходов и расчет дистанции;
- распознавание дорожной разметки и препятствий с помощью фронтальных стереокамер.

Обнаружение пешеходов и расчет дистанции

Внутри салона автономного автомобиля МАДИ на спинке водительского кресла расположен диагностический монитор, отображающий работу различных подсистем автономного управления (если для них предусмотрена визуализация результатов обработки данных). Пример вывода на диагностический монитор работы системы распознавания пешеходов представлен на рис. 3.

Обнаружение пешеходов осуществляется с помощью вспомогательного векторного алгоритма в совокупности с гистограммой ориентированных градиентов. Окно детектирования последовательно смещается по всему изображению, сравнивая рассчитанные

градиенты с заданной гистограммой ориентированных градиентов (рис. 4). В случае совпадения область обводится прямоугольником.

Распознавание дорожной разметки и препятствий с помощью фронтальных стереокамер

В качестве инструментов обработки изображения, полученного с фронтальных стереокамер, применяются:

- оператор Собеля;
- преобразование Хафа.

Оператор Собеля — дискретный дифференциальный оператор, вычисляющий приближенное значение градиента яркости изображения, который используется для выделения границ объектов, дорожной разметки. В основе оператора лежит свертка изображения небольшими сепарабельными фильтрами в вертикальном и горизонтальном направлении. Предварительная обработка изображения с помощью рассматриваемого оператора существенно повышает точность и достоверность результатов дальнейшей обработки изображения системой управления автономным движением. Пример работы оператора Собеля представлен на рис. 5.

Преобразование Хафа — алгоритм, предназначенный для поиска фигур, принадлежащих определенному классу, например прямых линий. Смысл алгоритма состоит в поиске фигур с помощью «голосования»: определяются возможные точки фигуры, а затем выбирается наиболее вероятная. Преобразование Хафа необходимо для дальнейшего расчета положения дорожной разметки относительно внешних габаритных размеров проекта АТС (рис. 6).

В случаях, когда линия разметки имеет форму кривой, необходимо выполнить поиск множества прямых линий-касательных, объединение которых позволит системам обработки видеоизображения с высокой точностью распознать данный элемент разметки.

Следует отфильтровать линии, перпендикулярные направлению движения автомобиля, с помощью порогового значения арктангенса. После определения координат линий разметки необходимо сделать перерасчет координат изображения в координаты относительно габаритов автомобиля. Зона контроля видеоизображения, предназначенная для преобразования Хафа и распознавания дорожной разметки, представлена на рис. 7.

Приведенные реализованные системы позволяют отнестись рассматриваемый проект МАДИ к АТС. Кроме того, это подтверждается и успешными заездами в национальных проектах «Караван» и «Зимний город» [7]. К тому же проект в какой-то степени направлен на перспективное развитие технологий автономного движения в целом. Барьеры, возникающие на пути развития указанной технологии, связаны главным образом с преодолением погодных условий и особенностей климатических зон в России. Один из наиболее перспективных методов преодоления барьеров — развитие технологии цифровой модели дороги как дополнительного источника информации. ■

Литература

1. Приходько В. М., Жанказиев С. В. Основные направления научных исследований в области автономных транспортных средств в МАДИ / В. М., Приходько, С. В. Жанказиев // Прогресс транспортных средств и систем / под ред. И.А. Каляева [и др.]. Волгоград, 2018. С. 18–24.
2. Vehicle Platooning and Automated Highways. — URL: <https://web.archive.org/web/20100702054003/http://www.path.berkeley.edu/path/Publications/Media/FactSheet/VPlatooning.pdf>.
3. What is truck platooning? — URL: https://www.acea.be/uploads/publications/Platooning_roadmap.pdf
4. Sheikholeslam S., Desoer C. A. Longitudinal Control of a Platoon of Vehicles // Proc. of 1990 Amer. Control Conf. P. 291–296.
5. Milanés V., Shladover S.E. Modeling cooperative and autonomous adaptive cruise control dynamic responses using experimental data. Transportation research. Part C, Emerging technologies, Elsevier, 2014, pp.285–300
6. Geiger A., Lauer M., Moosmann F. et al. Team AnnieWAY's Entry to the 2011 Grand Cooperative Driving Challenge // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2012. Vol. 13 (3). P. 1008–1017.
7. Жанказиев С. В. Участие беспилотного автомобиля МАДИ в первом в России пионерном проекте Росавтодора «Караван» // Наука и техн. в дорожной отрасли. 2018. № 3 (81). С. 24–27. П. 5.