

УДК 621
DOI 10.5862/TMM.44.3

Поступила в редакцию 04.06.2019

После доработки 03.12.2019

Принята к печати 18.12.2019



РАЗРАБОТКА СИСТЕМ АВТОПИЛОТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

В.И. Каразин, А.В. Хисамов

Каразин Владимир Игоревич – доктор технических наук, профессор кафедры «Теории машин и механизмов» Санкт-Петербургского Политехнического университета им. Петра Великого, visv05@mail.ru

Хисамов Андрей Владимирович – технический директор ООО «К-Диджитал», andrey@k-digital.ru

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы разработки средств автоматического управления автомобилем и средств полуавтоматической помощи водителям. Описано техническое оснащение, используемое в таких системах и спрогнозированы пути развития автопилотов дорожных транспортных средств. Рассмотрены проблемы, которые мешают разработке и массовому внедрению систем автоматического управления транспортными средствами.

Ключевые слова: автопилот, автоматическое управление, автомобили, система помощи при движении, система помощи в пробках, FSD, full self-driving, SAE J3016

Введение

Последние годы стремительно развивается автоматическое управление не только в промышленности, но и для бытовых технических устройств. Автоматические системы управления развивались и в автомобильной промышленности. Водителям помогают такие системы как адаптивный круиз-контроль, система автоматического экстренного торможения, ведение автомобиля по полосе, система автоматической парковки и другие. С развитием технологий автопроизводители предпринимают попытки объединить все системы в одну и создать автомобильный автопилот для дорог общего пользования. Основной сложностью разработки такой системы является необходимость совместить на дороге автомобили с автоматическим и ручным управлением.

Разработка системы автоматического управления для задач, в которых отсутствует риск появления автомобилей под управлением человека, не вызывает сложностей. По

своей логике и механике работы, такая система аналогична системам автоматического управления сетью колесных роботов. Такие механизмы успешно применяются в промышленности для перемещения товаров на складах, заготовок на производстве, материалов на стройках и т.д. Основы автоматизации говорят нам, что для выполнения каких-либо функций роботу желательно иметь информацию о текущем состоянии. Обратная связь для коррекции движения получается с различного рода датчиков, размещенных на роботе [1]. Единый управляющий центр координирует маршруты всех роботов и контролирует их перемещение. На практике, такое управление не может быть реализовано вне полностью контролируемого пространства. Даже если представить территорию, где управление личным автотранспортом запрещено в пользу автопилота, не представляется возможным создать единую управляемую сеть исполнительного транспорта, используя технологии различных производителей. Крупные корпорации трепетно берегут свои разработки. Должно

пройти много времени, а технологии стать общедоступными, прежде чем будет разработан единый стандарт коммуникации автопилотов.

Таким образом, по умолчанию подразумевается наличие на дороге автомобилей с неизвестными маршрутами. Помимо этого, существует опасность возникновения неожиданного препятствия, нелогично перемещающегося транспортного средства, человека или животного, а также риск нарушения правил дорожного движения другими участниками движения. Все это вынуждает разработчиков идти по более сложному пути и разрабатывать полностью адаптивную систему, которая анализирует дорогу и других участников как это делает живой человек.

Пути развития систем управления автоматическим транспортным средством

Разработка автопилотов от различных компаний идет разными путями. Наиболее простым с точки зрения разработки является объединение нынешних адаптивных систем автомобиля в единую систему [2, 3]. Первыми пробными разработками такого плана являются системы помощи в пробках. Автомобиль следит за разметкой на дороге, положением других автомобилей на дороге и контролирует свое движение, согласно потоку. Автомобиль может поворачивать при изгибе разметки, может останавливаться и разгоняться, но не может совершать маневры на перекрестках, не различает знаки и светофоры. Также ограничением данной системы является необходимость иметь качественную и верную разметку на дороге. Опасность неожиданного появления препятствия или исчезновения разметки требует обязательное наличие водителя, всегда готового принять управление.

Совершенствуя системы пробочного ассистента, производители автомобилей добавили возможность управляющей программе сверять свое местоположение и маршрут с системой навигации, совершать маневры на перекрестках, различать знаки и светофоры. Тем не менее, в основе такой сложной системы все равно лежит механизм адаптации движения по заранее известным критериям. Такая система не сможет работать на пустой

парковке, без разметки или припаркованных автомобилей. Не сможет двигаться по грунтовой дороге без попутных автомобилей. И не сможет принять решение, отличающееся от заранее разработанных скриптов [4]. Управляющая логика таких систем содержит большое количество готовых сценариев, но не может выйти за их рамки. Таким образом, водитель-человек не может быть исключен.

Иной подход – это использование вспомогательных внешних систем. Автомобиль по-прежнему не может совершать маневры самостоятельно без наличия известных меток в виде разметки и иных участников движения, но дополнительно получает информацию от централизованной системы, которая должна быть размещена по всему городу. Специальные метки, благодаря которым автомобиль знает свое местоположение, а также текущий сигнал светофоров и допустимый скоростной режим, позволяют упростить систему распознавания дорожных объектов и корректировать положение автомобиля на дороге. Благодаря общей системе, автомобиль узнает о перекрытиях, пробках и возможностях для объезда в случае нештатной ситуации.

Логичными недостатками данной системы автопилотов является полная или частичная неработоспособность вне населенного пункта, покрытого сетью меток или без связи с удаленной центральной системой автопилота. Тем не менее, разработка данной системы значительно проще: не требуется обучать систему распознавать знаки с высокой точностью, не требуется прорабатывать сложные механизмы взаимодействия автомобиля с городской дорожной инфраструктурой.

Самый универсальный тип автопилота, он же наиболее сложный в разработке – полностью автоматическая система, основанная на псевдо-искусственном интеллекте [5]. Движение автомобиля при работе системы является не результатом выбора условий из списка и обработки готовых сценариев, а результатом принятия решения на основе логических связей нейросети. Такая система может совершать движение в полностью незнакомой местности. Другой важной особенностью данной системы является возможность самообучения автопилота на

основе данных с датчиков во время управления автомобилем человеком.

Следует отметить, что на ранних этапах разработки система данного типа может продемонстрировать худший результат, нежели системы первых двух типов. Тем не менее, универсальность данной системы позволяет ее совершенствовать, в то время как прочие системы являются конечным результатом развития для своего типа. Универсальность, обучаемость, возможность совершенствования делает данный тип автопилотов наиболее перспективным, но и наиболее труднореализуемым.

На текущий момент ни один из типов автопилотов не был разработан до уровня своих максимальных возможностей, и автопроизводители продолжают работы [6]. Следует отметить, что помимо автоконцернов, которые разрабатывают автопилоты для автомобилей собственных марок, работами по исследованию автомобильных автопилотов занимаются IT-компании и научные институты. Необходимо учитывать, что для повышения надежности, описанные выше три типа автопилота на практике, могут быть комбинированными. Например, система полностью самостоятельного вождения до получения финального решения от основной системы может в ряде случаев (таких как сигнал о наличии препятствия на дороге) проверить на совпадение условий простых скриптов. Это позволит автомобилю остановиться и избежать столкновения, даже если основной автопилот еще не успел принять решение о требуемом маневре. Данный способ объединения разноуровневых систем управления взят из общих принципов автоматизации и встречается также и в других областях машиностроения [7].

Несмотря на различные подходы к решению задач управления на высоком уровне, все системы опираются на отдельные низкоуровневые системы решения отдельных задач. Например, задача прогнозирования положения автомобиля на дороге после выполнения маневра [8], задача распознавания дорожных неровностей [9], задача распознавания дорожных знаков и разметки. Получается многоуровневая система управления, за счет чего отдельные разработки могут быть использованы в системах различных типов.

Основные датчики для получения информации об окружающем пространстве

Вне зависимости от типа автопилота, автомобиль может быть оснащен следующими типами датчиков [10]:

- камеры наблюдения;
- различные виды дальнометров;
- тепловизоры.

Рассмотрим работу датчиков подробнее. В отличие от систем адаптивного круиз-контроля и пробочного ассистента, наибольший объем информации автопилот получает с камер видеонаблюдения. Только видеочкамера может дать информацию автомобилю о разметке, знаках, светофорах и позволяет определить тип препятствия по внешнему виду.



Рис. 1. Пример определения препятствий, разметки и других участников движения средствами технического зрения

Работа системы обработки изображений с камеры заключается в покадровой обработке информации, вычленении известных типов объектов и передачи информации автопилоту о текущей карте мира. Фактически, в автопилот попадает информация не в виде изображения, а в виде трехмерной модели, которая содержит белые пятна [11]. Эти белые пятна закрываются информацией с других датчиков.

Дальнометры на автомобиле используют различных типов для получения информации в разных объемах и на разные расстояния. Наибольшую информацию из таких датчиков могут выдать радары на сверхвы-

сокой частоте. В зависимости от количества радаров, размещенных на автомобиле, полученная карта мира может быть крайне точной. От радаров система получает уточненную информацию по скорости передвижения других участников движения, расстоянию до препятствий и позволяет принимать экстренные решения в опасных ситуациях.

Более дорогим, но более точным типом датчика является - лазерный дальномер, который позволяет построить карту мира с максимальных детализаций. Использование лазерных дальномеров, помимо цены датчика, также ограничивается хрупкостью элемента. При постоянном движении по ровным дорогам происходит раскалибровка датчика из-за чего точность информации снижается. Принцип работы лазерных дальномеров, так же как и прочие датчики измерения расстояния, рассчитанные на дальние измерения, аналогичен работе точно таких же дальномеров, используемых в других отраслях промышленности [12]. Модификации в большей степени подверглась защита от вибрационных нагрузок, нежели сам сенсор.

Наиболее простым являются ультразвуковые датчики, которые работают на близких расстояниях и помогают автомобилю на низких скоростях совершать парковку или двигаться в пробке.

Автомобиль совмещает в себе сразу несколько типов датчиков для получения полной картины мира. Для примера, автомобиль Tesla model S оснащен следующими датчиками:

- 8 видеокамер;
- 12 ультразвуковых датчиков;
- 1 радар.

Все датчики работают совместно и частично дублируют друг друга. Помимо дублирования типа поступающей информации, частично перекрывается и область видимости. С датчиков информация поступает в единый согласующий центр для получения общей карты мира. При проектировании систем технического зрения и построения карты неизбежно встает задача оптимизации расходов. Например, в зонах, где требуется менее точная информация или на меньшей дистанции, можно использовать ультразвуковые датчики, вместо радара.

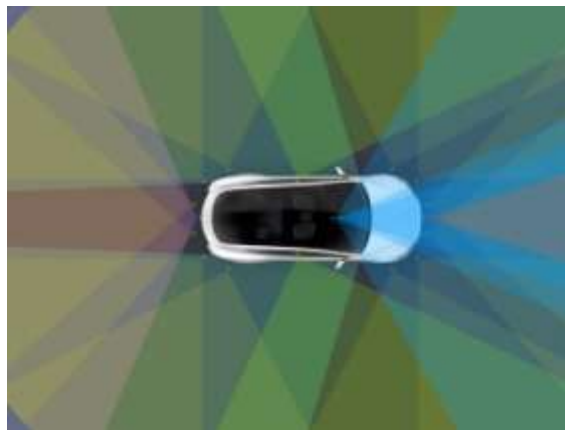


Рис.2. Области работы датчиков автомобиля Tesla model S

При разработке систем автоматического управления транспортным средством подход автоконцернов и независимых научных групп различается. Производители автомобилей разрабатывают полноразмерные физические модели и оснащают его требуемым оборудованием. В силу простоты низкого уровня управления чаще используется модель с электрическим приводом.

Независимые научные группы больше концентрируются на универсальности своих решений, поэтому предлагают в качестве объекта управления использовать общедоступные популярные модели автомобилей. В нашей работе исследуемым объектом управления является автомобиль Skoda Octavia A5 1Z. Работы находятся на начальном уровне: производятся опыты с постобработкой записанного изображения и согласования записанных данных с бортового компьютера автомобиля, попытки определения рекомендуемых действий в реальном времени.

Типы информации, поступающие в систему управления

Для работы высокоуровневой системы управления, принимающей решение о траектории движения и скорости, требуется информация от датчиков, как специализированных, так и общих для любого транспортного средства. Рассмотрим источники и тип информации, поступающие в систему управления.

Местоположение – основополагающая информация при построении маршрута и

следовании по нему. В нашем исследовании информация получается из внешнего GPS приемника BT-50, подключаемого по протоколу Bluetooth с симуляцией последовательного порта. Помимо информации от спутников система постоянно строит граф следования в неизвестном мире в соответствии с направлением движения, скоростью и временем. В зависимости от разницы в показаниях, один из источников может быть отключен. Примером ситуации с разночтением может быть резкое изменение местоположения согласно координатам GPS, вызванное работой средств РЭБ.

Окружающее пространство – информация о возможных препятствиях, других участниках движения, дорожных знаках, разметке и т.д. Основным источником информации является система видеокамер, которая позволяет получить основную информацию и набор ультразвуковых датчиков для резервного определения препятствий на близких расстояниях. В рамках нашего исследования на текущий момент используется только одна видеокамера, передающая изображение для кадровой обработки в реальном времени. Для определения сторонних автомобилей используются собственные алгоритмы, основанные на перемещении одних объектов, относительно других. Дорожная разметка и знаки определяются с помощью сторонней библиотеки технического зрения Vuforia. В последствии в целях оптимизации от стороннего программного обеспечения планируется отказаться.

Скорость автомобиля – поступает из двух источников: GPS и датчики бортовые датчики. Скорость, как и прочая информация о текущем состоянии автомобиля передается с бортового компьютера посредством протокола ODB-II. В данном исследовании для подключения к бортовому компьютеру используется Wi-Fi адаптер ELM327. Использование адаптера, подключаемого по Wi-Fi, обусловлено занятостью последовательного порта Bluetooth внешним приемником GPS-сигнала. Протокол ODB-II является стандартом для всех современных автомобилей и позволяет получить большинство требуемой информации об автомобиле.

Для обработки всей получаемой информации используется компьютер на базе операционной системы Linux. Разработка про-

граммного обеспечения под эту операционную систему позволит портировать решение на встраиваемые и мобильные платформы на более поздних этапах исследования. Для построения маршрута используется связка из API «Google Maps» и «OpenStreetMap». В последующем планируется переход на API «Яндекс.Карты».

Выводы

Использование автоматических систем управления транспортом позволит повысить безопасность передвижения на дорогах общего пользования. Возможный полный отказ от ручного управления в будущем может полностью исключить риск возникновения дорожно-транспортных происшествий из-за нарушения водителями правил дорожного движения. На текущий момент потребуется много времени для развития автопилотов, но в тоже время, разработка таких систем большим количеством заинтересованных компаний и научных институтов позволяет прогнозировать стремительный рост таких систем в ближайшие 5-10 лет. Постепенное усложнение автопилотов позволит полностью отказаться от ручного управления через 20-30 лет.

Самоуправляемым автомобилям предстоит пройти долгий путь, как в разработке технических решений, так и на уровне законодательства отдельных стран. Но уже сейчас наиболее развитые автопилоты способны совершить путешествие между западным и восточным побережьем США или проехать из Германии в некоторые соседние страны полностью без вмешательства человека. По данным статистики, в среднем 25% времени автомобили Tesla проводят в режиме автопилота. С развитием алгоритмов обработки информации, технических решений для построения карты мира, покрытия городов вспомогательной инфраструктурой и обучением нейронных сетей последует увеличение времени, когда автомобиль управляется автопилотом.

На текущий момент разработан стандарт SAE J3016, который разделяет уровни автопилотов, в зависимости от их возможностей [13]. Уровень определяется степенью вовлеченности человека в управление автомобилем. Классический автомобиль без автопи-

лота также присутствует в стандарте и определяется как «уровень 0»:

- Уровень 0 (отсутствие автоматизации вождения);
- Уровень 1 (помощь водителю);
- Уровень 2 (частичная автоматизация вождения);
- Уровень 3 (условная автоматизация вождения);
- Уровень 4 (высокая автоматизация вождения);
- Уровень 5 (полная автоматизация вождения).

Уровни 0-2 объединяются в группу, которая определяется как «Человек наблюдает за дорожной обстановкой». Уровни 3-5 определяются как «Автопилот наблюдает за дорожной обстановкой».

Статистика показывает ежегодный рост доверия к автопилотируемым транспортным средствам [14]. Особенно это заметно в странах с высоким уровнем развития техники. Показателем развития является разработка не только систем автоматического управления движением транспортных средств, но и взаимодействующих с ними устройств [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Евграфов А.Н., Коловский М.З., Петров Г.Н.** Теория механизмов и машин: учебник. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 248 с.
2. **Lee J., Yun H., Kim J., Jeon M., Yang J.H.** Design of Single-modal Take-over Request in SAE Level 2 & 3 Automated Vehicle.. Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers. 2019. № 27(3), с. 171-183.
3. **Wintersberger P., Riener A., Schartmüller C., Frison A.-K., Weigl K.** Let me finish before I take over: Towards attention aware device integration in highly automated vehicles. Proceedings - 10th International ACM Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, AutomotiveUI 2018. 2018. с. 53-65.
4. **Матназаров Д.Д., Леонова Т.С., Минаев А.С., Катунин А.А.** Создание систем технической помощи в интеллектуальной транспортной системе. Организация дорожного движения и безопасность на дорогах европейских городов - материалы Международной молодежной научно-практической конференции. Чешский технический университет в Праге, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК». 2014. С. 53-59
5. **Ge X., Li X., Wang Y.** Methodologies for Evaluating and Optimizing Multimodal Human-Machine-Interface of Autonomous Vehicles. SAE Technical Papers. 2018.
6. **Wadud Z., MacKenzie D., Leiby P.** Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles. Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2016. с. 1-18.
7. **Evgrafov A.N., Karazin V.I., Khisamov A.V.** Research of High-Level Control System for Centrifuge Engine. International Review of Mechanical Engineering (IREME). 2018. Vol 12, № 5.
8. **Коваль А.В., Гришечко В.А.** Прогнозирование положения самоуправляемого автомобиля с помощью фильтра Калмана. Научные Вести. 2019. Т.6 – Белгород: ИП Всяких М.В. С.190-194
9. **Бухаров К.А.** Предпосылки к созданию системы помощи распознавания дорожных неровностей при движении автомобиля. Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации – материалы 106-й Международной научно-технической конференции. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет. 2019.

10. **Szalay Z.** Structure and architecture problems of autonomous road vehicle testing and validation. Proceedings of the Mini Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies 2016. 2016. с. 229-236.
11. **Lee G.H., Faundorfer F., Pollefeys M.** Motion estimation for self-driving cars with a generalized camera. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2013 с. 2746-2753.
12. **Андриенко П.А., Козликин Д.П., Хисамов А.В., Хлебосолов И.О.** О применении бесконтактных систем измерения в центробежных стендах. Современное машиностроение. Наука и образование. Материалы 3-й международной научно-практической конференции. 2013. № 3.
13. **Шадрин С.С., Иванова А.А.** Аналитический обзор стандарта SAE J3016 "Классификация, термины и определения систем автоматизированного управления движением АТС" с учётом последних изменений. Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2019. №3 (21) – М: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет. 2019. С. 10
14. **Wintersberger P., Riener A., Frison A.-K.** Automated driving system, male, or female driver: Who'd you prefer? Comparative analysis of passengers' mental conditions, emotional states & qualitative feedback. AutomotiveUI 2016 - 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Proceedings. 2016. с. 51-58.
15. **Krasniqi X., Hajrizi E.** Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles. IFAC-PapersOnLine. 2016. № 49(29). с. 269-274.