

УДК 629. 336

DOI: 10.46960/1816-210X_2020_3_132

А.В. Тумасов, П.О. Береснев, В.И. Филатов, Д.Ю. Тюгин, А.В. Улитин

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОМОЩИ ВОДИТЕЛЮ ПРИ ПАРКОВКЕ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Представлено описание разработки системы активной помощи водителю при выполнении маневров парковки. Проведен обзор рынка существующих систем в области помощи водителю при парковке от различных автопроизводителей. По итогам анализа результатов обзора предложен алгоритм функционирования разрабатываемой системы, а также методы расчета положения транспортного средства, поиска парковочного места и генерации траектории для парковки. Проведены виртуальные испытания системы в симуляторе CARLA. Намечены дальнейшие пути по адаптации системы на транспортные средства легкого коммерческого класса.

Ключевые слова: система помощи водителю, автоматическая парковка, легкие коммерческие автомобили, поиск парковочного места, генерация траектории.

Введение

Интеллектуальные системы помощи водителю получили большое распространение в транспортных средствах (ТС), осуществляющих грузопассажирские перевозки. Их развитие определяется необходимостью безопасности совершения транспортных операций и снижением операционных расходов компании. Для грузопассажирских перевозок применяются транспортные средства легкого коммерческого, среднетоннажного и тяжелого классов; все они имеют большие «слепые» зоны при осуществлении маневрирования. Большое значение для снижения вероятности наступления ДТП имеют системы помощи при парковке, предназначенные для упрощения данной операции.

Система помощи при парковке – это система с элементами автономного маневрирования, способная в автоматическом или полуавтоматическом режиме переместить транспортное средство с полосы движения на парковочное место параллельным или перпендикулярным способом [1, 2]. Она предназначена для повышения комфорта и безопасности маневрирования в ограниченных условиях парковки, где для управления автомобилем требуется внимание и опыт водителя. Парковочный маневр выполняется посредством скоординированного управления углом поворота колес и движения транспортного средства (что исключает столкновения в пределах доступного пространства).

Для анализа существующих решений в области помощи водителю при парковке был проведен бенчмаркинг систем от различных автопроизводителей. Характеристики некоторых из них представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Бенчмаркинг систем помощи водителю при парковке

Функции	Mercedes-Benz	Volkswagen	Toyota	Ford
Сенсоры	Ультразвуковые сенсоры 4-2-4 (передний бампер, на борту, задний бампер)	Ультразвуковые сенсоры 4-8-4	Ультразвуковые сенсоры 4-2-4	Ультразвуковые сенсоры 4-0-4

Окончание табл. 1.

Функции	Mercedes-Benz	Volkswagen	Toyota	Ford
Дополнительные сенсоры	Камера заднего вида	Камера заднего вида, радары	Камера заднего вида (обнаружение мест по разметке), радар слепых зон	Камера заднего вида, радар слепых зон
Органы управления системой	Кнопка подтверждения, кнопка отмены, поворотники, рычаг селектора	Кнопка активации, указатели поворота	Кнопка активации, указатели поворота	Кнопка вкл. на приборной панели, поворотники, рычаг селектора
Методы включения системы	Автоматически при скорости 35 км/ч и ниже и движения ТС прямо	Автоматически при скорости ниже 40 км/ч	Кнопка на приборной панели	Кнопка на приборной панели
Управление системой РА тормозной системой ТС	Присутствует на автоматической коробке передач	Отсутствует	Отсутствует, но система экстренного торможения активна	Присутствует

Анализ информации показывает, что все автопроизводители используют ультразвуковые датчики в системах помощи при парковке. Различие между системами заключается в количестве боковых датчиков (от 0 до 2), а также датчиков, установленных в задний бампер (от 2 до 4). Все из рассмотренных систем используют также камеру заднего вида. Дополнительно Volkswagen, Ford [3] используют в своих ТС радары. Также следует отметить, что реализация функций системы помощи при парковке у автомобилей Mercedes-Benz [4], Ford [3] предполагает управление селектора коробки переключения передач и педалью акселератора водителем. Toyota [5] и Volkswagen предлагают более автономный функционал подобной системы, при котором водителю необходимо лишь активировать систему с помощью кнопки или сенсорного дисплея. Все рассмотренные автомобили имеют как визуальные, так и звуковые индикаторы оповещения водителя.

Существенные различия в системах связаны с информацией, запрашиваемой при парковке у электронного блока управления транспортного средства. Системы всех рассмотренных автопроизводителей запрашивают информацию о скорости, положении селектора коробки переключения передач, показаниях ультразвуковых датчиков, положение рулевого колеса. Некоторые системы также запрашивают статус включения указателей поворота (Mercedes Benz, Ford), а другим необходима информация о статусе закрытия дверей (Mercedes Benz) и статусе ремня безопасности (Ford). Mercedes Benz и Volkswagen автоматически активируют систему РА при скорости ниже 35 км/ч и 40 км/ч соответственно. При этом у производителей Toyota и Ford отсутствует пассивный режим системы. Диапазон максимальных скоростей, при котором возможна активация систем, находится в диапазоне от 20 до 40 км/ч. Mercedes Benz обеспечивает полностью автоматический выбор парковочного места, тогда как другие автопроизводители оставляют за водителем выбор варианта параллельной или перпендикулярной парковки, а также выбор стороны поиска парковочного места (слева или справа от ТС). Также можно сделать вывод о недостаточном покрытии ниши легких коммерческих автомобилей (ЛКА) системами помощи при парковке. Увеличение габаритных размеров ТС ведет к усложнению процесса парковки. Ввиду этого актуальным является использование системы, способной помогать водителю коммерческого автомобиля при осуществлении парковки.

Проведенный бенчмаркинг автомобилей с рассматриваемой системой показывает, что существуют три основных типа ассистентов парковки, выполняющих следующие функции:

- 1) помощь в нахождении парковочного места (ПМ) и управление рулевым механизмом при парковке;
- 2) помощь в нахождении ПМ, управление рулевым механизмом и переключении передач при парковке;
- 3) помощь в нахождении ПМ и автоматическая парковка.

В настоящей статье отражена система первого типа, процесс разработки которой представлен далее.

Разработка системы

Ключевой концепцией систем РА является планирование и параметризация основных профилей управления поворота колес и скоростью транспортного средства для достижения желаемой формы траектории движения в пределах доступного пространства. Парковочный маневр выполняется в виде последовательности управляемых движений с использованием данных, полученных при использовании ультразвуковых датчиков. Управление рулевым колесом и скоростью просчитывается в реальном времени. Описанный ниже подход способен генерировать различные формы траектории, необходимые и оптимальные для выполнения парковочных маневров.

Разрабатываемая в рамках проекта система воздействует на рулевое управление, а водителю доступно управление педалями акселератора и тормоза.

Общий алгоритм работы системы заключается в выполнении следующих шагов:

- 1) поиск парковочного места;
- 2) обнаружение свободного парковочного места (для параллельной или перпендикулярной парковки);
- 3) инструктирование водителя о порядке дальнейших действий;
- 4) завершение парковки.

Система разрабатывается с учетом существующих требований стандарта ISO 16787 [6]. Требования стандарта охватывают большой спектр требований: от основных функций системы (п. 5.1) и интерфейса взаимодействия между водителем и системой (п. 5.2) до требований к минимальной производительности системы (п. 5.3) и требований к испытаниям производительности (п. 5.4). Из перечисленных стандартов вытекают следующие параметры системы.

Система помощи при парковке водителю, разрабатываемая в рамках проекта, состоит из следующих компонентов:

- 1) ультразвуковые датчики;
- 2) блок управления РА;
- 3) блок обработки данных ультразвуковых датчиков;
- 4) HMI интерфейс
- 5) зуммер.

Ультразвуковые датчики необходимы для определения расстояния до препятствий при парковке. Данные, получаемые с датчиков, считываются блоком обработки данных ультразвуковых датчиков, а затем направляются в блок управления РА, реализующий функционал системы помощи при парковке. Зуммер используется для подачи звуковых уведомлений пользователю системы.

Система РА обеспечивает следующие функции:

- 1) поиск парковочного места для параллельной и перпендикулярной парковки;
- 2) управление рулевым колесом в момент парковки;
- 3) визуальное и звуковое представление водителю информации о статусе работы системы;

- 4) визуальное и звуковое представление водителю информации об ошибке работы системы;
- 5) вывод инструкции для водителя.
- б) самодиагностика системы.

Блок-схема алгоритма системы помощи водителю при парковке представлена на рис. 1.

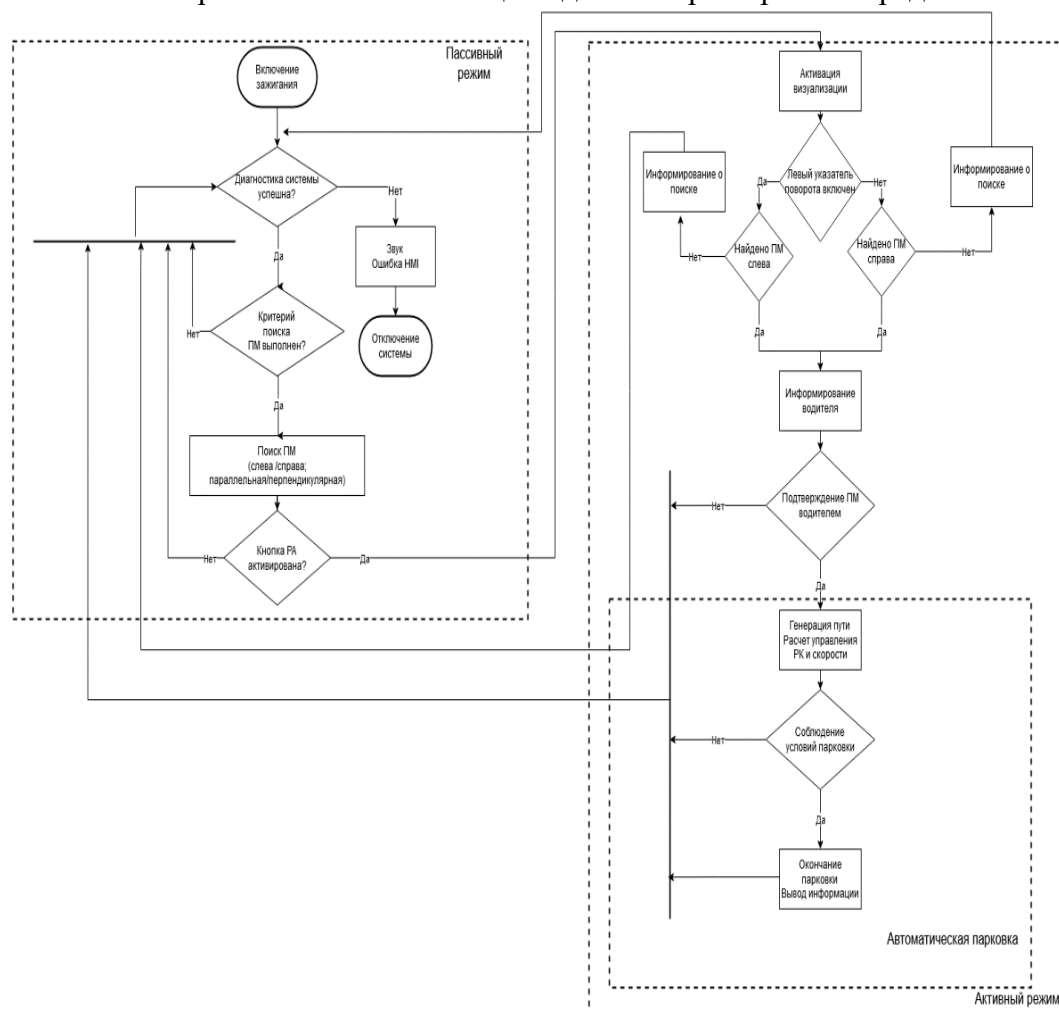


Рис. 1. Схема функционирования системы помощи при парковке

Как видно из рис. 1, система может находиться в трех режимах:

- пассивный режим (Поиск ПМ без уведомлений);
- активный режим (Поиск ПМ с уведомлениями);
- автоматическая парковка.

Основными элементами в системе помощи при парковке является расчет положения транспортного средства, поиск парковочного места и генерация траектории для парковки ТС. Рассмотрим каждый из этих элементов в отдельности. Алгоритм определения положения ТС основан на расчете одометрии, которая представляет собой положение ТС в данный момент времени в двумерной декартовой системе координат OXY . Данные одометрии требуются для работы с ультразвуковыми датчиками, чтобы иметь представление о найденных объектах и их местоположении при движении ТС. Также они необходимы для автоматического управления рулевым механизмом, чтобы информировать систему на каком месте сгенерированной траектории находится ТС.

Для вычисления одометрии используются данные угла поворота колес и скорости машины. С помощью колесной базы и угла поворота колес вычисляется угловая скорость ТС по следующей формуле (1):

$$w = (V * \theta) / L \quad (1)$$

где w – угловая скорость [рад/с], V – скорость ТС [м/с], θ – угол поворота колес [рад]; L – колесная база [м.]

Таким образом, система имеет угловую и линейную скорость ТС в каждый момент времени. Для расчета одометрии представленные измерения усредняются. Усредненные значения угловой скорости v_{Yaw} и вектор скорости Xv по координате X и Yv по координате Y . Таким же образом считаются dt разница по времени между двумя измерениями в секундах. После этого происходят вычисления позиции транспортного средства. Вычисление происходит от точки $(X, Y) = (0, 0)$ с ориентацией машины Yaw равной нулю. При вычислении позиции транспортного средства используются следующие формулы (2-4):

$$X = (vX * \cos(Yaw) - vY * \sin(Yaw)) * dt \quad (2)$$

$$Y = (vX * \sin(Yaw) + vY * \cos(Yaw)) * dt \quad (3)$$

$$Yaw = v_{Yaw} * dt; \quad (4)$$

Для обеспечения работы системы в пассивном режиме данные одометрии вычисляются постоянно после запуска системы. Метод определения парковочного места был разработан путем проведения сравнительных испытаний систем помощи водителю при парковке. Для этого производились тесты с параллельной и перпендикулярной парковкой. По итогам тестирования были выявлены несколько особенностей:

- система не может детектировать объекты, находящиеся на парковочном месте;
- система может обнаружить только те пм, которые находятся между двумя объектами, при этом расстояния между объектами достаточно для парковки;
- система уведомляет о найденном пм, когда передний ультразвуковой датчик увидит объект, за которым нужно припарковаться.

По этим данным был разработан следующий алгоритм нахождения парковочного места. Для него используются данные с передних боковых ультразвуковых датчиков рядом с передними колесами. При поиске ПМ слева от ТС используется левый датчик, а при поиске справа – правый. С помощью этих датчиков система проводит отслеживание объектов с нужной стороны. Если обнаружено два объекта, расстояние между которыми является достаточным по длине для парковки данного ТС, система уведомляет о найденном парковочном месте.

Алгоритм построения траектории разделяется на две части. Первая часть собирает карту препятствий и генерирует точки старта и конца траектории парковки, а вторая генерирует траекторию по имеющейся карте препятствий по требуемым точкам старта и конца.

Сбор карты препятствий происходит во время поиска ПМ с помощью ультразвуковых датчиков. Для этого используются все ультразвуковые датчики на ТС. Сбор карты прекращается после того, как парковочное место было обнаружено. После этого карта ограничивается по размерам для уменьшения области поиска траектории и наносятся ограничения на парковочное место. Ограничения на парковочное место нужны, чтобы исключить генерацию некорректной траектории, по которой ТС способно совершить опасные маневры, например, заехать на бордюр во время парковки. Далее создаются точки старта и конца траектории парковки таким образом, чтобы ТС припарковалась за ближайшим объектом.

Вторая часть алгоритма построения траектории генерирует непосредственно траекторию парковки по поступившей карте препятствий и точкам старта и конца. Для генерации используется алгоритм Hybrid A* [7]. Hybrid A* прокладывает путь из точки старта в точку конца маршрута методом перебора, перемещаясь по сетке препятствий на одну клетку. Из всех найденных траекторий алгоритм выбирает самый оптимальный. Алгоритм Hybrid A* используется во время выполнения маневров автоматической парковки и позволяет строить оптимальные траектории в практически неизвестных и потенциально сложных условиях (рис. 2).

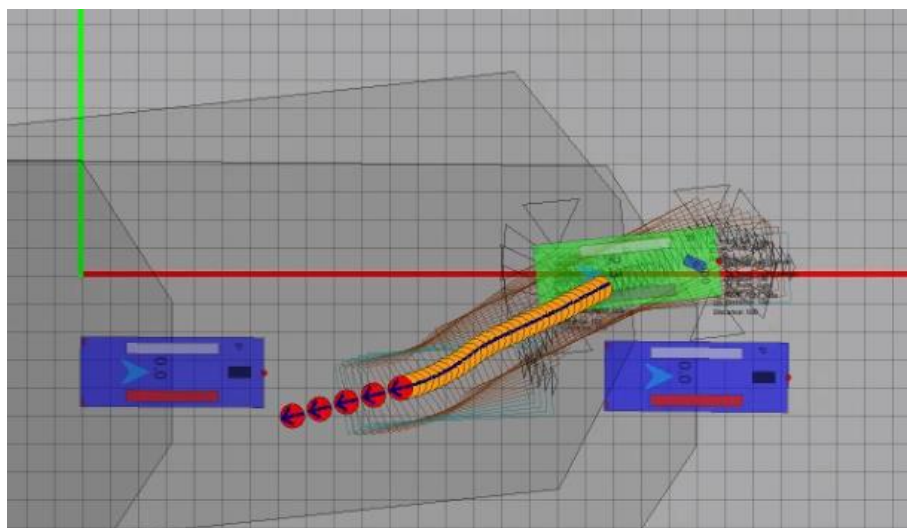


Рис. 2. Построение траектории с использованием алгоритма Hybrid A*

Моделирование испытаний системы

Для проверки достоверности принятых решений в части разработки систем было принято решение использовать виртуальный симулятор CARLA [8]. Использование виртуального симулятора позволяет упростить процесс разработки системы, так как возможно проводить испытания на каждой стадии разработки, что позволяет выявлять недостатки и ошибки разрабатываемой системы. Данный виртуальный симулятор является *open source* продуктом, служащим для разработки автоматических систем вождения. В нем имитируется городская среда со зданиями, пешеходами, автомобилями и другими объектами, а также меняющаяся погода. Для моделирования необходимых кейсов были использованы данные о скорости ТС, положения угла колес и данные с ультразвуковых датчиков, расположенных на автомобиле. Для симулятора был разработан модуль, позволяющий имитировать сигналы с ультразвуковых датчиков системы. Данный модуль был интегрирован в симулятор CARLA.

Испытания представляли собой перпендикулярную и параллельную парковку слева и справа с парковочными местами разного размера. В качестве машины с системой помощью при парковке был использован стандартный автомобиль (схожий с ТС легкого коммерческого класса), используемый в симуляторе по периметру которого располагалась 12 ультразвуковых датчиков. В качестве объектов, между которыми нужно было припарковаться, выступали также транспортные средства (рис 3).

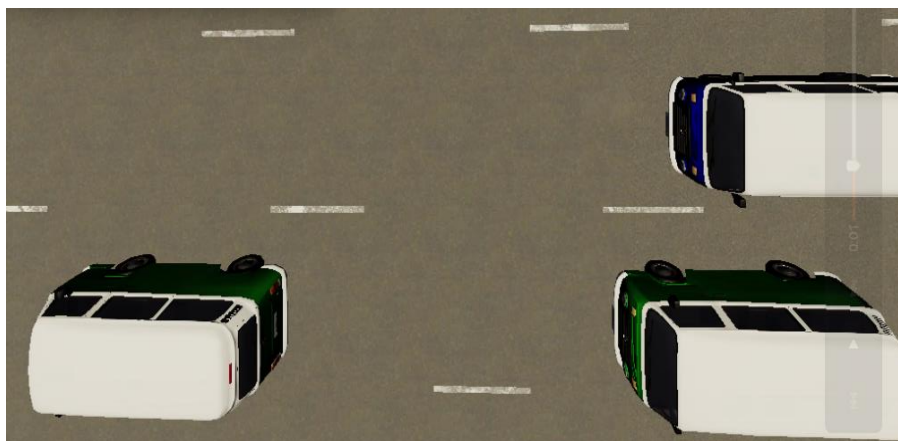


Рис. 3. Начальные условия виртуальных испытаний

Тестирование поиска парковочного места и генерации траектории были проведены успешно. Система находила ПМ достаточные для парковки и пропускала слишком маленькие по размеру парковочные места. Система сгенерировала траектории для парковки ТС слева и справа для обоих видов поддерживаемой парковки. На рис. 4 приведен пример проведения испытаний в компьютерном симуляторе CARLA в режиме автоматической парковки при движении по сгенерированной траектории.

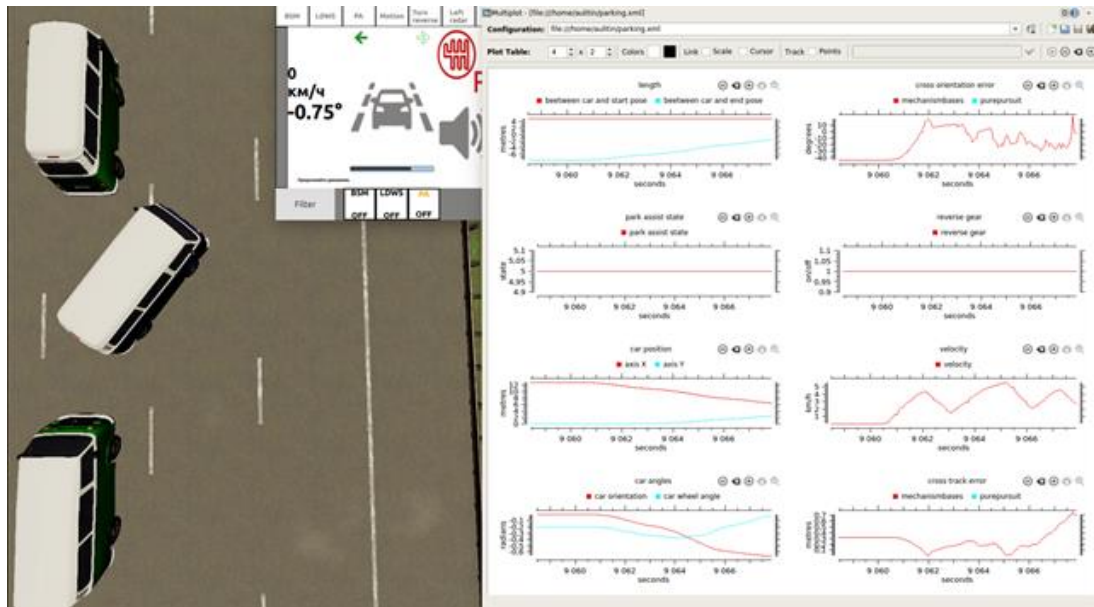


Рис 4. Испытания системы помощи водителю при парковке в симуляторе CARLA

Анализировались следующие параметры:

- 1) расстояние от текущего положения машины до конечной точки;
- 2) режим работы системы помощи при парковке (пассивный режим, поиск пм, генерация траектории, вывод инструкций водителю для парковки, уведомление об ошибке, сброс системы, выключение системы);
- 3) координаты тс (центра задней оси);
- 4) поворот колес и ориентация ТС;
- 5) ошибка ориентации ТС (cross orientation error (coe));
- 6) включение задней передачи;
- 7) скорость;
- 8) ошибка траектории (cross track error (cte)).

В данном режиме производится автоматическое управление рулевым механизмом. Это видно по графикам 3 слева и 1 справа. Так же на рис. 4 (справа график 3), видно, что нет превышения скорости при проведении испытания. Так же система уведомляет водителя о том, что нужно ехать прямо для парковки.

Согласно рис. 4, метод нахождения парковочного места является работоспособным, а алгоритм генерации траектории дает устойчивые результаты.

Выводы

Проведен анализ рынка систем помощи водителю при парковке. В результате был составлен бенчмаркинг систем различных производителей, а также сделаны выводы об общих подходах, применяемых в таких системах.

Предложен алгоритм и разработана собственная система помощи водителю при парковке, которая в дальнейшем может быть установлена на транспортные средства сегмента

ЛКА. Описаны общие подходы, используемые при создании системы помощи водителю при парковке. В частности, был предложен алгоритм генерации траектории (основанный на алгоритме Hybrid A*) при выполнении автоматического маневра парковки. Были представлены методы расчета положения транспортного средства и поиска парковочного места. Проведены тесты в компьютерном симуляторе CARLA, которые показали положительные результаты и доказали работоспособность разработанной системы.

Дальнейшее развитие данных исследований будет связано с реализацией и адаптацией системы помощи водителю при парковке на семействе автомобилей Группы ГАЗ. Также планируется проведение натурных испытаний системы и сравнительного анализа виртуальных и натурных испытаний системы.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проекта «Создание высокотехнологичного производства модельного ряда автомобилей ГАЗель Next с новой электронной архитектурой электронных систем» по Соглашению № 075-11-2019-027 от 29.11.2019 (постановление Правительства Российской Федерации от 09 апреля 2010 г. № 218).

Библиографический список

1. **Mörhed, J.** Automatic Parking and Path Following Control for a Heavy-Duty Vehicle / J. Mörhed, F. Östman. – 2017.
2. **Wada, M.** Development of advanced parking assistance system / M. Wada, K.S. Yoon, H. Hashimoto // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2003. – Т. 50. – №. 1. – С. 4-17.
3. FORD [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Электрон. дан. Режим доступа: <https://www.ford.com/technology/driver-assist-technology/enhanced-active-park-assist/>, свободный.
4. MERCEDES-BENZ [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Электрон. дан. Режим доступа: <https://www.la.mercedes-benz.com/en/passengercars/mercedes-benz-cars/models/gla/gla-suv/explore.pi.html/mercedes-benz-cars/models/gla/gla-suv/explore/intelligent-technologies/parking-pilot>, свободный
5. TOYOTA [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Электрон. дан. Режим доступа: <https://www.toyota-europe.com/world-of-toyota/safety-technology/parking-aids>, свободный
6. ISO 16787 -2017. Intelligent transport systems – Assisted parking system (APS) – Performance requirements and test procedures.
7. **Petereit, J.** Application of Hybrid A* to an Autonomous Mobile Robot for Path Planning in Unstructured Outdoor Environments / J. Petereit, T. Emter, C.W. Frey, T. Kopfstedt A. Beutel // ROBOTIK 2012; 7th German Conference on Robotics, Munich, Germany, 2012, pp. 1-6.
8. Виртуальный симулятор CARLA [Электронный ресурс]: [официальный сайт]. – Электрон. дан. Режим доступа: <https://carla.org/>, свободный.

*Дата поступления
в редакцию: 30.07.2020*

A.V. Tumasov, P.O. Beresnev, V.I. Filatov, D.Yu. Tyugin, A.V. Ulitin

**DEVELOPMENT OF ADVANCED DRIVER PARKING ASSISTANCE SYSTEM
FOR COMMERCIAL VEHICLES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: The paper is devoted to the description of the development of a system of active driver assistance when performing parking maneuvers.

Design / methodology / approach: A market survey of existing systems in the field of driver assistance with parking from various car manufacturers was carried out.

Findings: Based on the conclusions made after analyzing the results of the review, an algorithm for the functioning of the system being developed is proposed, and methods for calculating the position of a vehicle, finding a parking space and generating a trajectory for parking are described. Virtual tests of the system were carried out in the CARLA simulator.

Research limitations/implications: Limitations of the developed system are described.

Originality/value: The system being developed is specially designed to be used in GAZ Group's light commercial vehicles.

Key words: advanced driver assistance system, automatic parking, light commercial vehicles, parking space search, trajectory generation.