

«ПАРК-АССИСТЕНТ» — СИСТЕМА ПОМОЩИ ПРИ ПАРКОВКЕ ДЛЯ АВТОПОЕЗДА

“PARK-ASSISTANT” — PARKING ASSISTANCE SYSTEM FOR A ROAD TRAIN

Водителям автопоездов (АП) практически ежедневно приходится маневрировать в стесненных условиях, в том числе двигаясь задним ходом, что представляет значительную сложность. Существующие электронные системы парктроники реализованы только для одиночных автомобилей. Имеющиеся публикации, касающиеся АП, посвящены поискам оптимальных алгоритмов управления без участия водителя. Целью данного исследования является разработка системы «Парк ассистента» (ПА), помогающей водителю выполнить маневрирование АП задним ходом в сложных условиях. Для этого с помощью «навигационной системы» оценивается и моделируется текущая ситуация, определяются начальные координаты АП и планируемое место парковки. Используя математическую модель АП, рассчитывается траектория «оптимального движения тягача и полуприцепа». Оптимальная траектория движения АП задним ходом и алгоритм поворота рулевого колеса рассчитываются с помощью специально разработанной программы. Действия водителя для выполнения маневра парковки АП сводятся к выполнению «рекомендаций» на экране ПА. Полученные теоретические и практические результаты вносят вклад в развитие перспективного автономного автомобильного транспорта.

Ключевые слова: автопоезд, маневрирование, парковка, оптимальная траектория, алгоритм, парк-ассистент.

Almost daily drivers of road trains (RT) have to maneuver in cramped conditions, including moving in reverse, which is a significant difficulty. The existing electronic parking sensors systems are implemented only for single cars. The available publications concerning the RT are devoted to the search for optimal control algorithms without the driver participation. The purpose of this study is to develop «Park Assistant» (PA) system that helps the driver to maneuver the RT in reverse in difficult conditions. To do this, using the «navigation system», the current situation is estimated and modeled, the initial coordinates of the RT and the planned parking place are determined. Using the mathematical model of the RT, the trajectory of the «optimal movement of the tractor and semi-trailer» is calculated. The optimal trajectory of the RT in reverse and the steering wheel rotation algorithm are calculated using a specially developed program. The actions of the driver to perform the parking maneuver of the RT are reduced to the implementation of recommendations on the screen of the PA. The theoretical and practical results obtained contribute to the development of promising autonomous motor transport.

Keywords: road train, car manoeuvring, parking, optimal trajectory, algorithm, Park-Assistant.

Введение

Практически ежедневно водителям сельских автопоездов (АП) приходится маневрировать в стесненных условиях, в том числе двигаясь задним ходом. Совершение

маневра АП в таких условиях даже для опытных водителей представляет значительную сложность.

Существующие сегодня электронные системы автоматической парковки (САП) се-

рийно реализованы только для одиночных автомобилей [1–3].

Большое количество статей, касающихся САП одиночных ТС, посвящены поискам оптимальных алгоритмов, проектирующих траекторию движения, и разработке контроллеров, обеспечивающих следование ТС по выбранной траектории [4–7].

Разрабатываемые автоматические парковочные системы для большегрузных транспортных средств, которые являются новой областью применения для такого рода систем, состоят из трех основных подсистем, выполняющих следующие задачи [8, 9]:

- создание карты окружающей среды на основе измерений различных датчиков (акустических, лидарных и GPS-навигации);
- создание оптимальной траектории без столкновений от исходного положения до места парковки;
- управление траекторией ТС, следующего по сгенерированной оптимальной траектории.

Сбор информации с различных датчиков позволяет получить оценку окружающей среды и положение ТС — позиционирование в этой среде для планирования будущих действий. В настоящее время существует много исследований в этой области и различных алгоритмов картографирования [10].

Алгоритм планирования траектории, генерирующий оптимальный путь без столкновений от заданного места старта до требуемого положения парковки ТС в пределах парковочного пространства, удовлетворяющий всем кинематическим ограничениям, является центральным компонентом системы парковки [11].

Планирование пути состоит из двух этапов. На первом этапе, используя кинематическую модель ТС и соответствующую геометрию, создается путь для парковки транспортного средства за один или несколько маневров — это зависит от размеров парковочного места [12, 13]. На втором этапе этот

путь преобразуется в путь непрерывной кривизны, то есть строится оптимальная траектория, соответствующая определенным требованиям: минимальная длина, отсутствие точек перегиба, требующих резкого изменения угла поворота управляемых колес ТС, отсутствие контакта с препятствиями на пути следования ТС [14].

В методологии построения оптимальной траектории можно выделить две группы подходов: геометрические подходы и подходы математической оптимизации. Метод планирования траектории, основанный на геометрии, обладает высокой вычислительной эффективностью в режиме реального времени и удобен для инженерной реализации [15]. Траектории непрерывной кривизны с ограниченным значением кривизны и скоростью ее изменения могут быть отслежены с высокой точностью реальными транспортными средствами [16].

Подходы, использующие математическую оптимизацию [17], формулируют проблемы парковки в нелинейных программах и решают задачи на оптимизацию целевой функции [18].

Построение алгоритма или контроллера, отслеживающего реальное положение ТС относительно оптимальной траектории его движения к месту парковки, является заключительным этапом. При разработке контроллеров используется управление с контуром обратной связи, работающим в режиме онлайн [19–20].

Создание систем автоматической парковки для автопоезда требует глубокой интеграции электронных систем, расположенных как на тягаче, так и на полуприцепе, что в настоящее время крайне затруднительно в силу разобщенности производств тягачей и прицепов.

Методы

Авторами статьи предлагается полуавтоматическая система помощи водителю «Парк-ассистент» (ПА) при выполнении маневрирования АП задним ходом в сложных условиях.

Разработанная система в виде дополнительной функции может быть установлена на автопоезде, находящемся в эксплуатации.

В системе ПА, структурная схема которой изображена на рис. 1, с помощью «навигационной системы», состоящей из лидара, GPS навигатора и бортового микропроцессора, оценивается и моделируется текущая ситуация, определяются начальные координаты АП и планируемое место парковки. Используя математическую модель АП, его текущее положение, место парковки, препятствия, рассчитываются траектории оптимального движения тягача и полуприцепа. В качестве математической модели используется одноколейная модель АП. В ПА используются датчики угла поворота рулевого колеса и угла складывания звеньев автопоезда, что позволяет однозначно определять координаты характерных точек полуприцепа относительно тягача.

Оптимальная траектория движения АП задним ходом и алгоритм поворота рулевого колеса рассчитывается с помощью специально разработанной программы.

Реализуемые действия водителя в виде угла поворота рулевого колеса и снимаемая с датчиков информация — угол складывания АП и скорость движения V позволяют с помощью математической модели АП рассчитать реальное положение тягача и полуприцепа, наложить их на рассчитанную оптимальную

траекторию и выработать рекомендации водителю для его дальнейших действий.

Действия водителя для выполнения маневра парковки АП сводятся к выполнению «рекомендаций» на экране ПА.

Математическая модель автопоезда

Расчетная математическая модель автопоезда состоит из двух сочлененных звеньев: тягача с управляемой передней осью и полуприцепа. Каждое звено имеет три степени свободы: линейные продольные и поперечные перемещения в плоскости дороги и поворот звеньев относительно их вертикальных осей.

Для возможности реализации алгоритма расчета траектории АП на микроконтроллере в режиме реального времени используется плоская одноколейная математическая модель, не учитывающая углы увода осей (рис. 2) [21].

Учитывая, что «Парк-ассистент» — система помощи водителю при парковке автопоезда — подразумевает использование датчиков угла поворота рулевого колеса θ и угла складывания γ звеньев автопоезда, параметры характерных точек полуприцепа могут быть однозначно определены относительно координат тягача (рис. 3).

Радиус поворота тягача R_{12} определяется через угол поворота рулевого колеса θ и передаточное отношение рулевого управления U_{st} :

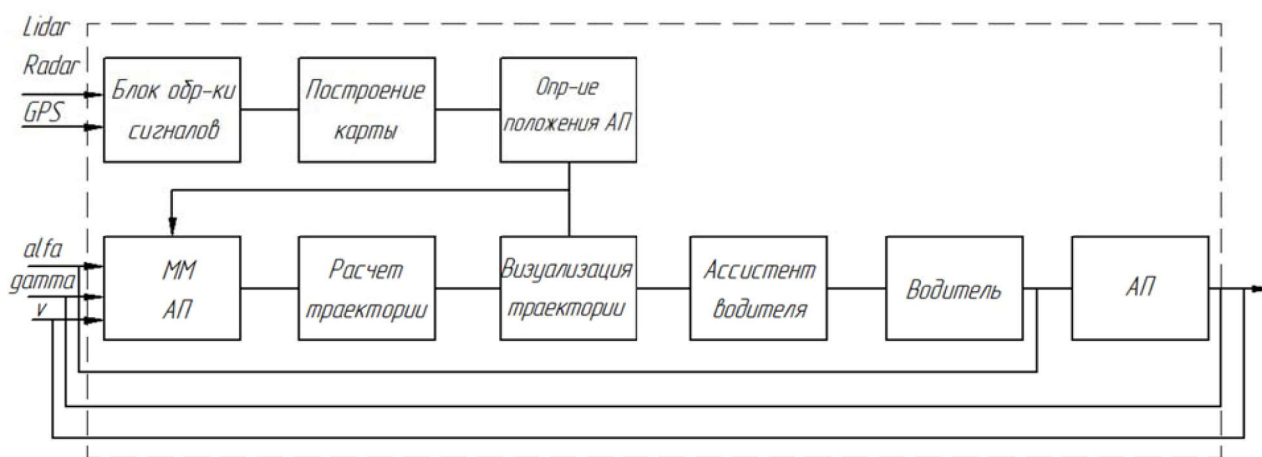


Рис. 1. Структурная схема «Парк-ассистента»

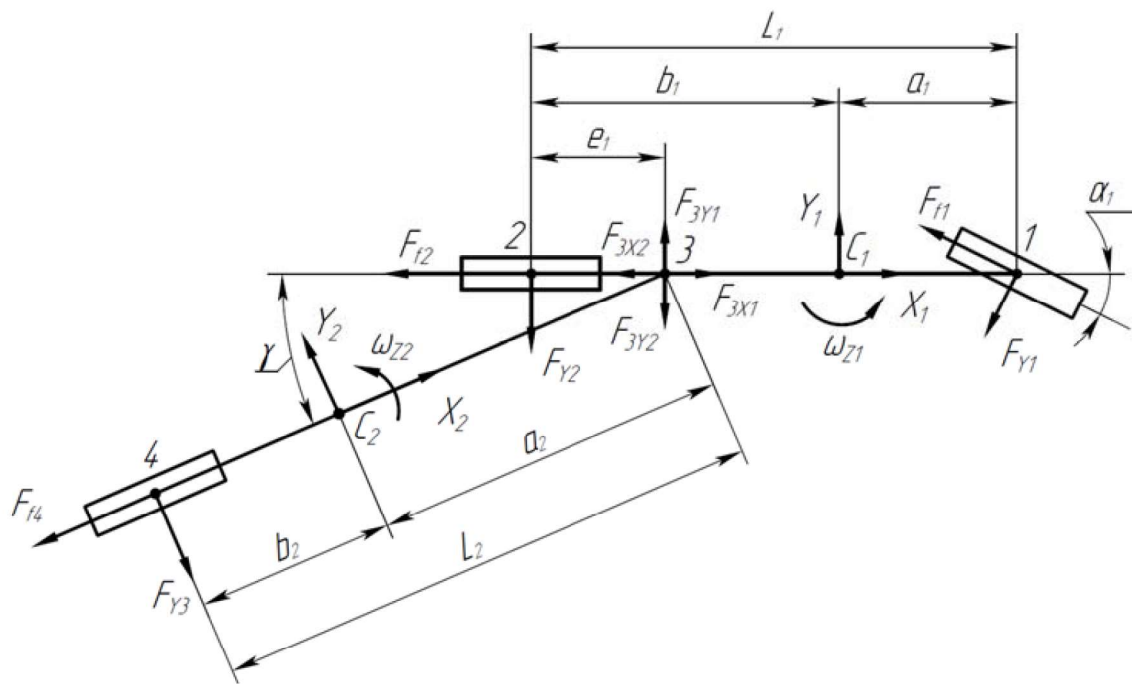


Рис. 2. Расчетная схема одноколейной модели автопоезда

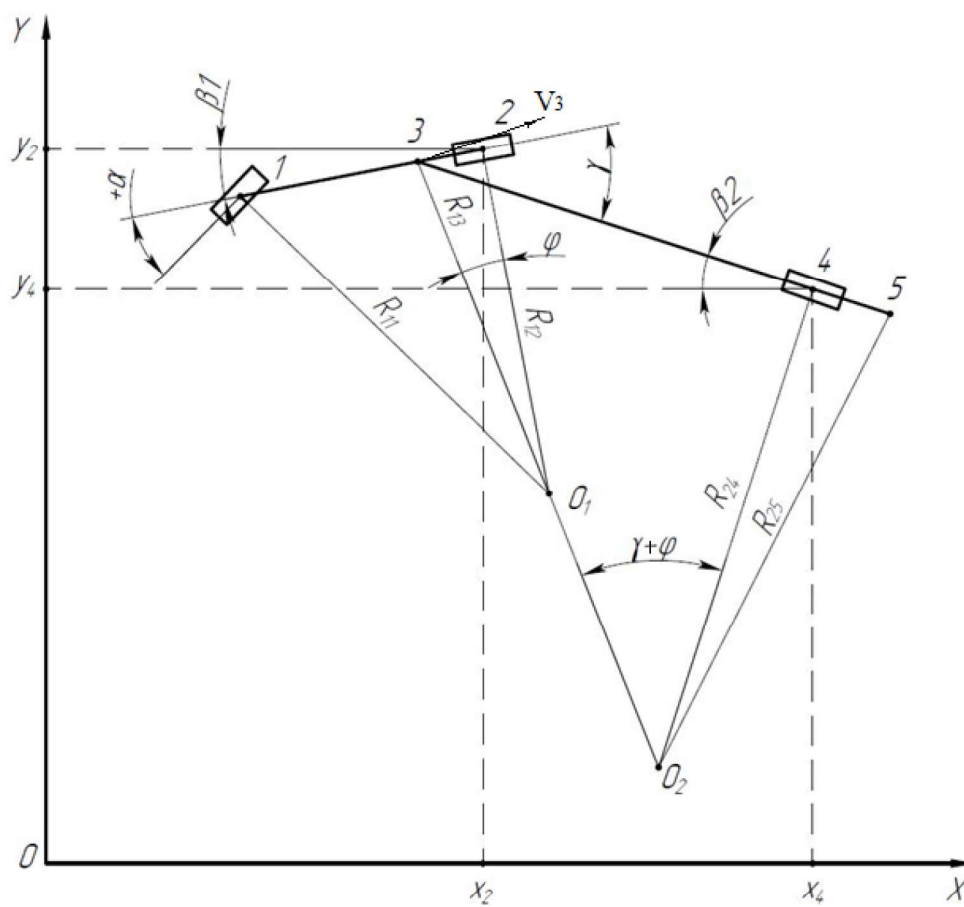


Рис. 3. Расчетная схема расчета основных параметров автопоезда на повороте

$$R_{12} = \frac{L_1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (1)$$

где α — средний угол поворота управляемых колес тягача, $\alpha = \theta \cdot U_{st}$; здесь θ — угол поворота рулевого колеса; U_{st} — передаточное отношение рулевого управления тягача.

В движении средний угол поворота управляемых колес тягача α при заданной угловой скорости поворота рулевого колеса $\dot{\theta}$ будет равен:

$$\alpha = (\dot{\theta} \cdot t \cdot U_{st}). \quad (2)$$

Угловая скорость поворота тягача

$$\omega_1 = \frac{v_2}{R_{12}}, \quad (3)$$

где v_2 — линейная скорость движения базовой точки тягача 2; R_{12} — номинальный радиус поворота тягача.

Радиус поворота полуприцепа R_{24} будет равен:

$$R_{24} = \frac{L_2}{\operatorname{tg}(\gamma + \varphi)}, \quad (4)$$

где L_2 — база полуприцепа; γ — угол складывания автопоезда; φ — угол отклонения опорно-цепного устройства от базовой точки тягача 2.

Радиус поворота точки сцепки 3:

$$R_{23} = \frac{L_2}{\sin(\gamma + \varphi)}. \quad (5)$$

Опорно-цепное устройство на тягаче смещено относительно задней оси вперед (точка 3 на рис. 3). Угол прямоугольного треугольника $\angle O_1 2$ обозначим φ .

Точка 3 принадлежит и тягачу, и полуприцепу, т. е. является общей. Из кинематической схемы тягача определим вектор скорости точки 3:

$$\bar{v}_3 = v_2 / \cos \varphi. \quad (6)$$

Угловая скорость полуприцепа определяется по формуле

$$\omega_2 = \frac{v_3}{O_2 3} = \frac{v_2 / \cos \varphi}{R_{23}}. \quad (7)$$

Абсолютная угловая скорость полуприцепа

$$\omega_{аб} = \frac{v_3}{R_{23}}. \quad (8)$$

Величина мгновенной угловой переносной скорости

$$\omega_{п} = \frac{v_3}{R_{13}}. \quad (9)$$

Величина мгновенной относительной скорости определяется через разность угловых скоростей тягача и полуприцепа:

$$\omega_{п} = \gamma = \omega_1 - \omega_2. \quad (10)$$

Угол складывания автопоезда может быть определен как интеграл от разности угловых скоростей тягача и полуприцепа:

$$\gamma = \int_0^t (\omega_1 - \omega_2) dt. \quad (11)$$

Мгновенные центры поворота тягача и полуприцепа определяются начальной точкой отсчета и являются функцией от угла поворота управляемых колес тягача α , угла складывания автопоезда γ и пройденного пути ΔS .

Результаты

Процесс отладки алгоритма работы системы «Парк-ассистент» осуществлялся с помощью симуляционной модели, реализованной в Simulink, что широко применяется в современной практике [22].

Разработанный алгоритм выполнения парковки автопоезда включает следующие этапы (рис. 4):

1) подъезд к предполагаемому месту парковки (точка 1) и определение местоположения АП относительно места парковки и площадки (геолокация);

2) построение траектории к месту Start, от которого возможно выполнение маневра парковки (некое оптимальное местоположение, с которого возможно выполнить маневр парковки);

3) движение АП вперед к месту Start;

4) построение оптимальной траектории к окончательному месту парковки Start – Finish.

При этом первоначально рассчитывается траектория движения АП задним ходом с учетом имеющихся препятствий и ограничений в месте парковки. Затем



Рис. 4. Моделирование траектории движения автопоезда при выполнении вертикальной парковки

осуществляется сглаживание траектории с использованием клотоид. Использование клотоид объясняется тем, что их кривизна наиболее соответствует движению ТС с постоянными параметрами: скоро-

стью движения и угловой скоростью поворота рулевого колеса.

Управляемое движение АП задним ходом осуществляется водителем с учетом рекомендаций, выводимых на экран «Парк-ассистента».

При выполнении парковочных маневров на экране «Парк-ассистента» (рис. 5) отображается следующее: тягач-полуприцеп в его текущем состоянии на фоне оптимальной траектории, рекомендации водителю к управлению рулевым колесом и изображение с камер заднего вида. Реальное движение АП осуществляется вблизи оптимальной траектории.

Обсуждение

Подтвержденная моделированием и экспериментом система «Парк-ассистент» для автопоезда в составе тягача и полуприцепа продемонстрировала свою работоспособность. Математическая модель системы тягач-полуприцеп позволила разработать алгоритм выполнения парковочного маневра, включающий:

- геолокацию с использованием «навигационной системы», состоящей из лидара, GPS навигатора и бортового микропроцессора, позволяющую определить начальные координаты АП и планируемое место парковки;

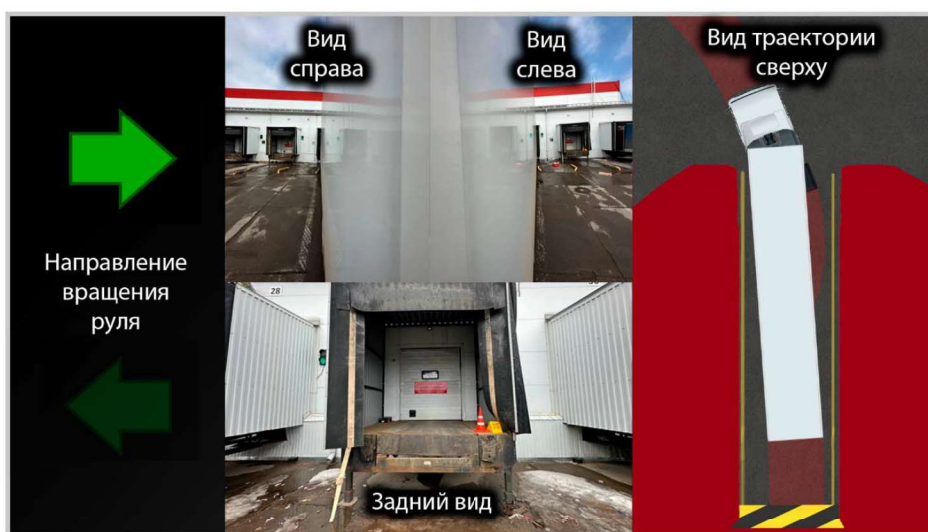


Рис. 5. Экран системы «Парк-ассистент»

– планирование «оптимальной» траектории движения АП при выполнении маневра парковки и выдачу рекомендаций водителю для управления рулевым колесом.

Действия водителя для выполнения маневра при парковке АП сводятся к выполнению «рекомендаций» на дисплее «Парк-ассистента». При этом на дисплее в режиме реального времени отображается: тягач–полуприцеп в его текущем состоянии на фоне оптимальной траектории, рекомендации водителю к управлению рулевым колесом и изображение с камер заднего вида. Реальное движение АП осуществляется водителем вблизи оптимальной траектории.

Выводы

Результаты проведенного моделирования выполнения парковочных маневров АП с использованием системы «Парк-ассистент» показали точность позиционирования АП при выполнении парковочного маневра относительно спланированной траектории 0,05 м, что обеспечивает безопасную эксплуатацию АП.

Подтвержденная экспериментом система «Парк-ассистент» для автопоезда в составе тягача и полуприцепа продемонстрировала свою работоспособность и позволяет неопытному водителю выполнять сложные маневры при парковке АП, сокращая время на выполнение маневра, обеспечивая безопасность движения и снижение психологической нагрузки на водителя.

Библиографический список

1. Boscher T. Development of an Objective Evaluation Method for Manual and Automated Parking Maneuvers / T. Boscher, A. Günther, K. Scheck. // 12th International Munich Chassis Symposium 2021 / P. Pfeffer editor. (eds). Berlin: Springer Vieweg, 2022. Pp. 124–143. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-64550-5_8
2. Park assist. Text: elektronisch // Bosch Mobility: offizielle Website. URL: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/parking/parking-assist/>. 20.03.2023
3. Driving assistance and parking assistance systems for cars. Text: elektronisch // Valeoservice: offizielle Website. URL: <https://www.valeoservice.com/en-com/passenger-car/driving-assistance-and-parking-assistance-systems-cars>. 20.03.2023
4. Vorobieva H., Glaser S., Minoiu-Enache N., Mammar S., “Automatic Parallel Parking in Tiny Spots: Path Planning and Control,” in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 1. Pp. 396–410. Feb. 2015. DOI:10.1109/TITS.2014.2335054.
5. Zhang J., Chen H., Song S., Hu F. (2020) Reinforcement learning-based motion planning for automatic parking System. IEEE Access 8:154485–154501. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3017770>
6. Li C., Jiang H., Shidian M., Jiang S., Li Y. (2020). Automatic Parking Path Planning and Tracking Control Research for Intelligent Vehicles. Applied Sciences. 10. 9100. DOI:10.3390/app10249100.
7. Sun C., Zhang X., Xi L., Tian Y. (2018). Design of a Path-Tracking Steering Controller for Autonomous Vehicles. Energies, 11 (6), p. 1451. URL: <https://doi.org/10.3390/en11061451>
8. Manav A. C., Lazoglu I. (2021). A Novel Cascade Path Planning Algorithm for Autonomous Truck-Trailer Parking. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, [online]. Pp. 1–15. URL: <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3062701>
9. Mörhed J., Östman F. Automatic Parking and Path Following Control for a Heavy-Duty Vehicle. Master of Science Thesis in Electrical Engineering. Department of Electrical Engineering, Linköping University, 2017
10. Thrun S. Exploring artificial intelligence in the new millennium. chapter Robotic Mapping: A Survey, pp. 1–35. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2003. ISBN 1-55860-811-7.
11. Pivtoraiko M., Kelly A. Kinodynamic motion planning with state lattice motion primitives. In 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2172–2179, Sept 2011. DOI: 10.1109/IROS.2011.6094900.
12. Hsieh M. F., Ozguner U. “A parking algorithm for an autonomous vehicle,” in Intelligent Vehicles Symposium, 2008 IEEE, June 2008. Pp. 1155–1160. DOI: 10.1109/IVS.2008.4621317
13. Quan D. M., Liu K.-Z., Ogata A. (2004). Development of auto-parking system for 4-wheeled automobiles: Theory and experiments. IFAC Proceedings Volumes, 37 (13). Pp. 943–948. URL: [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)31347-2](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)31347-2)
14. Melo A. G., Pinto M. F., Marcato A. L. M., Honório L. M. and Coelho F. O. (2021). Dynamic Optimization and Heuristics Based Online Coverage Path Planning in 3D Environment for UAVs. Sensors, 21 (4). P. 1108. URL: <https://doi.org/10.3390/s21041108>.

15. Metin F., Sezer V. (2021). Analysis and Improvement of Geometric Parallel Parking Methods with Respect to the Minimum Final Lateral Distance to the Parking Spot. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 19 (2). Pp. 441–455. URL: <https://doi.org/10.1007/s13177-021-00256-3>.
 16. Vorobieva H., Glaser S. N. Minoiu-Enache, Mammar S. “Automatic parallel parking with geometric continuous-curvature path planning,” in Proc. IEEE Int. Symp. Intell. Veh., Dearborn, Michigan, USA, Jun. 2014. Pp. 465–471. DOI: 10.1109/IVS.2014.6856443
 17. Zips P., Böck M., Kugi A. “Optimisation based path planning for car parking in narrow environments,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 79, 2015. Pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.robot.2016.02.004
 18. Zeng D., Yu Z., Xiong L. et al. A unified optimal planner for autonomous parking vehicle. *Control Theory Technol.* 17, 2019. Pp. 346–356. URL: <https://doi.org/10.1007/s11768-019-9121-6>
 19. Zheng L., Zeng P., Yang W., Li Y., Zhan Z. Bézier curve-based trajectory planning for autonomous vehicles with collision avoidance, First published: IET Intelligent Transport System, 15 January 2021. Pp. 1882–1891. URL: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2020.0355>
 20. Kelber C. R., Osorio F. S., Becker L. B., “Assistance controller for driving backwards and parking an articulated vehicle,” 2008 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, Netherlands, 2008. Pp. 1045–1049. DOI: 10.1109/IVS.2008.4621220.
 21. Mitschke M., Wallentowitz H. (2014). Zweiachsiges Kraftfahrzeug, Unebenheits-Einspuranregung. In: *Dynamik der Kraftfahrzeuge*. Springer Vieweg, Wiesbaden. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-658-05068-9_14
 22. Frings A., Ewbank D. (2022). Optimizing the Vehicle Development Process by Combining Driving Simulators and Virtual Test Driving. In: Pfeffer, P. (eds) *12th International Munich Chassis Symposium 2021*. Proceedings. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-64550-5_4
- ### References
1. Boscher T. Development of an Objective Evaluation Method for Manual and Automated Parking Maneuvers. *Proceedings of the 12-th International Munich Chassis Symposium 2021*. P. Pfeffer editor. (eds). Berlin, Springer Vieweg Publ., 2022, pp. 124–143. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64550-5_8
 2. Park assist. Text: Elektronisch. *Bosch Mobility*. Offizielle Website. Available at: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/parking/parking-assist/>. (Accessed: 20.03.2023)
 3. *Driving assistance and parking assistance systems for cars*. Valeoservice: offizielle Website. Available at: <https://www.valeoservice.com/en-com/passenger-car/driving-assistance-and-parking-assistance-systems-cars>. (Accessed: 20.03.2023).
 4. Vorobieva H., Glaser S., Minoiu-Enache N., Mammar S. Automatic Parallel Parking in Tiny Spots: Path Planning and Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 1, pp. 396–410, Feb. 2015. DOI: 10.1109/TITS.2014.2335054
 5. Zhang J., Chen H., Song S., Hu F. Reinforcement learning-based motion planning for automatic parking System. (2020) *IEEE Access* 8:154485–154501. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3017770>
 6. Li C., Jiang H., Shidian M., Jiang S., Li Y. (2020). Automatic Parking Path Planning and Tracking Control Research for Intelligent Vehicles. *Applied Sciences*. 10. 9100. DOI: 10.3390/app10249100
 7. Sun C., Zhang X., Xi L., Tian Y. Design of a Path-Tracking Steering Controller for Autonomous Vehicles. *Energies*, 2018, 11 (6), p. 1451. <https://doi.org/10.3390/en11061451>
 8. Manav A. C., Lazoglu I. A. Novel Cascade Path Planning Algorithm for Autonomous Truck-Trailer Parking. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3062701>
 9. Möhrhed J., Östman F. Automatic Parking and Path Following Control for a Heavy-Duty Vehicle. *Master of Science Thesis in Electrical Engineering*. Department of Electrical Engineering, Linköping University, 2017.
 10. Thrun S. *Exploring artificial intelligence in the new millennium. Chapter. Robotic Mapping. A survey*, pp. 1–35. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2003. ISBN 1-55860-811-7.
 11. Pivtoraiko M., Kelly A. Kinodynamic motion planning with state lattice motion primitives. *2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pages 2172–2179, Sept. 2011. DOI: 10.1109/IROS.2011.6094900
 12. Hsieh M. F., Ozguner U. A parking algorithm for an autonomous vehicle. *Intelligent Vehicles Symposium*, IEEE, June 2008, pp. 1155–1160. DOI: 10.1109/IVS.2008.4621317
 13. Quan D.M., Liu K.-Z., Ogata A. Development of auto-parking system for 4-wheeled automobiles: Theory and experiments. *IFAC Proceedings Volumes*, 2004, 37(13), pp. 943–948. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)31347-2](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)31347-2)
 14. Melo A. G., Pinto M. F., Marcato A. L. M., Honório L. M., Coelho F. O. Dynamic Optimization and Heuristics Based Online Coverage Path Planning in 3D Environment for UAVs. *Sensors*, 2021, 21 (4), p. 1108. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21041108>
 15. Metin F., Sezer V. Analysis and Improvement of Geometric Parallel Parking Methods with Respect

to the Minimum Final Lateral Distance to the Parking Spot. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 2021, 19 (2), pp. 441–455. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13177-021-00256-3>

16. Vorobieva H., Glaser S. N. Minoiu-Enache, Mammar S. Automatic parallel parking with geometric continuous-curvature path planning. *Proc. IEEE Int. Symp. Intell. Veh.*, Dearborn, Michigan, USA, Jun. 2014, pp. 465–471. DOI: 10.1109/IVS.2014.6856443

17. Zips P., Böck M., Kugi A. Optimisation based path planning for car parking in narrow environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 2015, vol. 79, pp. 1–11. DOI:10.1016/j.robot.2016.02.004

18. Zeng D., Yu Z., Xiong L., et al. A unified optimal planner for autonomous parking vehicle. *Control Theory Technol.* 2019, no. 17, pp. 346–356. URL: <https://doi.org/10.1007/s11768-019-9121-6>

19. Zheng L., Zeng P., Yang W., Li Y., Zhan Z. Bézier curve-based trajectory planning for autonomous vehicles

with collision avoidance. First published. *IET Intelligent Transport System*, 2021, 15 January, pp. 1882–1891. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2020.0355>

20. Kelber C. R., Osorio F. S., Becker L. B. Assistance controller for driving backwards and parking an articulated vehicle. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Eindhoven, Netherlands, 2008, pp. 1045–1049, DOI: 10.1109/IVS.2008.4621220

21. Mitschke M., Wallentowitz H. Zweiachsiges Kraftfahrzeug, Unebenheits-Einspuranregung. *Dynamik der Kraftfahrzeuge*, 2014, Springer Vieweg Publ., Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-05068-9_14

22. Frings A., Ewbank D. Optimizing the Vehicle Development Process by Combining Driving Simulators and Virtual Test Driving. IPfeffer, P. (eds) *Proc. 12-th International Munich Chassis Symposium 2021. Proceedings*, 2022. Springer Vieweg Publ., Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64550-5_4