УДК 621-039-542

EDN RWWXZT

Программная система распознавания дорожной информации с поступающего видеопотока (видеокамеры, лидар) и построения траектории движения беспилотного транспортного средства

В.В. Кривец

Сибирский федеральный университет, пр. Академика Киренского, 26, Красноярск, 660074, Россия

*E-mail: krivets.valerii@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен обзор современных подходов к созданию программных систем, выполняющих распознавание дорожной информации на основе видеопотоков и данных лидаров, а также построению траекторий движения беспилотных транспортных средств (БТС). Проанализированы ключевые направления исследований: методы детекции и сегментации с использованием сверточных нейронных сетей, обработка облаков точек лидаров (PointNet, PointPillars), мультимодальная сенсорная фьюжн, алгоритмы локализации и картографирования (SLAM, LOAM), модели предсказания траекторий на основе RNN/Transformer и методы планирования/отслеживания траектории (MPC, RRT*, Frenet-планы). Проведено сопоставление достоинств и ограничений подходов в контексте устойчивости в неблагоприятных условиях, вычислительной эффективности и применимости в российских условиях. На основании критического анализа сформулированы основные пробелы: недостаточная робастность при сложной погоде, проблемы синхронизации и калибровки мультисенсорных систем, ограниченность локальных датасетов и необходимость интеграции вероятностных предсказаний в планировщик. Предложены направления дальнейших исследований по разработке энергоэффективной мультисенсорной архитектуры и гибридных методов планирования. (Ключевые слова: автономное вождение, лидар, видеопоток, распознавание объектов, предсказание траекторий, MPC).

Ключевые слова: автономное вождение, лидар, видеопоток, распознавание дорожной информации, предсказание траекторий, планирование.

Software system for recognizing road information from the incoming video stream (cameras, lidar) and building the trajectory of an unmanned vehicle

V.V. Krivets

Siberian Federal University, 26 Akademika Kirenskogo Avenue, Krasnoyarsk, 660074, Russia

*E-mail: krivets.valerii@yandex.ru

Abstract. The article provides an overview of modern approaches to creating software systems that perform road information recognition based on video streams and lidar data, as well as building trajectories for unmanned vehicles (UVs). The key research areas have been analyzed: detection and segmentation methods using convolutional neural networks, processing of lidar point clouds (PointNet, PointPillars), multimodal sensor fusion, localization and mapping algorithms (SLAM, LOAM), RNN/Transformer-based trajectory prediction models, and trajectory planning/tracking methods (MPC, RRT*, Frenet plans). The advantages and limitations of the approaches have been compared in terms of their sustainability in adverse conditions, computational efficiency, and applicability in Russian conditions. Based on a critical analysis, the main gaps have been identified: insufficient robustness in challenging weather conditions, synchronization and calibration issues for multi-sensor systems.

Keywords: autonomous driving, lidar, video stream, road information recognition, trajectory prediction, and planning.

1. Введение

Развитие беспилотных транспортных средств (БТС) предъявляет жёсткие требования к подсистемам восприятия окружающей среды и планирования движения. Задача распознавания дорожной информации включает детекцию и классификацию участников движения, распознавание дорожных знаков и разметки, оценку препятствий и построение локальной карты сцены. Для её решения обычно используются комбинации видеокамер и лидаров: видеопоток обеспечивает богатые визуальные признаки (цвет, текстура), лидар — точную трёхмерную геометрию и расстояния до объектов. Последующий этап — предсказание поведения участников и генерация управляемых, динамически достижимых траекторий — критически важен для безопасности и эффективности. Цель данного обзора — критически проанализировать современную литературу по распознаванию дорожной информации и планированию траектории для БТС, выявить основные методологические подходы, преимущества и ограничения, а также наметить направления для дальнейших исследований.

2. Методология обзора

Анализ проведён на основании избранного набора работ, включающего российские исследования по распознаванию дорожных знаков и траекторному планированию [1–8] и ключевые международные публикации и бенчмарки по мультисенсорным датасетам, обработке облаков точек и методам планирования/управления [9–17]. В обзоре сопоставляются методики обработки данных камер и лидаров, подходы к фьюжну, алгоритмы предсказания траекторий и планы их трекинга.

3. Критический анализ источников

3.1. Обнаружение и распознавание объектов (видео)

Современные методы детекции объектов на изображениях базируются на архитектурах сверточных нейросетей (Faster R-CNN, YOLO, SSD) и усовершенствованных сегментаторах (DeepLab, U-Net-производные). Российские работы, посвящённые распознаванию дорожных знаков и разметки, подчёркивают необходимость учета локальных особенностей (вариации знаков, повреждения, загрязнения) и отмечают преимущества мультикадровых подходов (stability via tracking) для повышения надёжности при неблагоприятных условиях [2–5].

Ключевое ограничение камер — уязвимость к плохой видимости и освещению; современные нейросети частично компенсируют это за счёт обучения на разнообразных датасетах и методов аугментации.

3.2. Обработка данных лидара

Для облаков точек разработаны специализированные энкодеры: PointNet/PointNet++ подходят для «сырых» облаков, тогда как архитектуры типа PointPillars обеспечивают компромисс между скоростью и точностью и широко используются в практике 3D-детекции в реальном времени [12]. LOAM и его вариации демонстрируют высокую точность лидарной одометрии и картографии, однако чувствительны к плотности и шумам облака точек [11].

3.3. Мультимодальный фьюжн (камера + лидар)

Существует несколько уровней слияния: ранний (raw data fusion), промежуточный (feature fusion) и поздний (decision fusion). Mid-level fusion часто демонстрирует лучшее соотношение точности и устойчивости, объединяя геометрические признаки лидаров и текстурно-семантические признаки изображений [9]. Однако практические проблемы включают синхронизацию, калибровку и несоответствие разрешений/частот сенсоров.

3.4. Локализация и картография (SLAM)

Визуальные SLAM-алгоритмы (ORB-SLAM) хорошо работают при достаточной текстурности сцены; лидарные SLAM (LOAM) — при наличии стабильных геометрических контуров. Гибридные схемы (visual-LiDAR SLAM) повышают устойчивость, но усложняют обработку и требуют аккуратной калибровки и выравнивания временных меток [11].

3.5. Предсказание траекторий и планирование

Предсказания основаны на временных моделях (LSTM, GRU) и трансформерах, а также на графовых нейросетях, учитывающих взаимодействия между участниками и карту сцены. Современные работы подчёркивают мульти-модальность будущих траекторий и необходимость представления альтернативных сценариев с вероятностями [13]. Для планирования применяются как эвристические (Frenet, RRT*), так и оптимизационные (MPC) методы; MPC предоставляет формальное учёт динамических ограничений, но требует точной модели и существенных вычислительных ресурсов [14,16].

4. Сравнение подходов и их применимость

Точность vs скорость. Камерные нейросети дают высокую семантическую информативность, но камеры хуже определяют расстояния; лидар обеспечивает точную геометрию, но требует специализированной обработки. Архитектуры вроде PointPillars позволяют выполнять 3D-детекцию в реальном времени, тогда как «сырые» PointNet++ часто медленнее [12].

Устойчивость к погоде. Лидарные методы более стойки к плохому освещению, но лидар также подвержен негативному влиянию дождя/снега. Комбинация сенсоров с адаптивным весовым фьюжном повышает надёжность [9,11].

Планирование с учётом неопределённости. Методы, генерирующие несколько вероятностных траекторий, требуют интеграции с планировщиком, способным работать с распределением будущих состояний — это остаётся открытой практической задачей [13].

Российские особенности. Много работ отечественных авторов посвящено распознаванию локальных знаков и адаптации моделей к российским дорогам и разметке; однако отсутствуют крупные публичные российские мультисенсорные датасеты, что ограничивает прямую переносимость зарубежных моделей [1–6].

5. Пробелы в исследованиях и проблемные места

На основе анализа выделяются основные незакрытые вопросы:

- Отсутствие стандартизованных локальных датасетов с синхронизированными видео- и лидара-потоками и богатой семантической разметкой российского типа дорожных условий.
- Робастность систем в экстремальных погодных и дорожных ситуациях (гололёд, снегопад, сильный дождь, запылённость).
- Интеграция вероятностных предсказаний в планирование: большинство планировщиков рассчитаны на детерминированную модель — требуется формализация работы с распределениями будущих траекторий.
- Вычислительная эффективность: необходимость оптимизированных архитектур для встраиваемых платформ с ограниченными ресурсами.
- Калибровка и синхронизация мультисенсорных систем в полевых условиях.

6. Проблемно-ориентированные подходы

Разработка отечественного мультисенсорного датасета (видео + лидар + IMU + GPS) с разметкой, учитывающей локальные особенности разметки и знаков.

Исследование гибридных архитектур фьюжна (mid-level), адаптирующих веса сенсоров в зависимости от условий видимости (weather-aware fusion).

Интеграция вероятностных предсказаний (multi-modal trajectory distributions) с планировщиками на базе MPC и стохастической оптимизации.

Оптимизация моделей для встраиваемых платформ: квантование, знание-дистилляция, архитектуры с малой задержкой (latency).

Онлайн-калибровка сенсоров и методы самовосстановления калибровки при тряске/смещении сенсоров.

7. Заключение

Анализ литературы показывает, что современная экосистема методов для распознавания дорожной информации и построения траекторий для БТС стала многообразной: от классических SLAM/LOAM до глубоких нейросетей для детекции и предсказания. Эффективная система требует многомодального подхода и грамотной интеграции модулей восприятия и планирования. Главные вызовы — устойчивость к реальным погодно-дорожным условиям, дефицит локальных данных и необходимость учитывать неопределённость в процессе планирования. Решение этих задач потребует совместных усилий в сборе данных, разработке адаптивных фьюжн-архитектур и создании вычислительно эффективных стохастических планировщиков, пригодных для реальной эксплуатации беспилотных систем.

Список литературы

1. Егунов В. А. Построение программной траектории движения беспилотного наземного транспортного средства // CyberLeninka, 2019. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-programmnoy-traektorii-dvizheniya-bespilotnogo-nazemnogo-transportnogo-sredstva (дата обращения: 26.10.2025).

2. Гильманов Т. А. Система распознавания дорожных знаков // Science Time, 2014. № 2. С. 25–30. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-raspoznavaniya-dorozhnyh-znakov-1 (дата обращения: 26.10.2025).
3. Стахеева А. С., Иванова В. В. Современные методы распознавания дорожных знаков на основе нейронных сетей // Вестник НГТУ, 2023. № 4. С. 45–54. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-metody-raspoznavaniya-dorozhnyh-znakov-na-osnove-neyronnyh-setey (дата обращения: 26.10.2025).
4. Шульга А. С., Литвиненко К. П. Обнаружение и классификация дорожных знаков на видеопотоке // Молодежь и наука, 2024. № 5. С. 112–118. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obnaruzhenie-i-klassifikatsiya-dorozhnyh-znakov-na-videopoto (дата обращения: 28.10.2025).
5. Якимов А. П., Сидоров И. В. Алгоритмы распознавания дорожных знаков российского образца // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2015. № 3. С. 60–66. URL: https://vestnik.astu.org/ru/nauka/article/82550/view (дата обращения: 28.10.2025).
6. Фадеев А. И. Теоретически обоснованный и практически апробированный алгоритм расчёта фактической траектории движения транспортных средств. Автореф. дис. … канд. техн. наук. Иркутск: ИрГТУ, 2018. 23 с. URL: https://www.istu.edu/upload/iblock/122/Fadeev-AI-_-Avtoreferat.pdf (дата обращения: 29.10.2025).
7. Методика управления движением транспортного средства на поверхности планеты на основе интеллектуального анализа текущих параметров движения. Диссертация. Москва, 2016. URL: https://www.dissercat.com/content/metodika-upravleniya-dvizheniem-transportnogo-sredstva-na-poverkhnosti-planety-na-osnove-int (дата обращения: 29.10.2025).
8. Разработка и исследование методов и алгоритмов адаптивного планирования манёвров беспилотного транспортного средства. Диссертация. СПб., 2017. URL: https://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-issledovanie-metodov-i-algoritmov-adaptivnogo-planirovaniya-manevrov-bespilotno (дата обращения: 29.10.2025).
9. Caesar H., Bankiti V., Lang A., Vora S., Liong V. E., Xu Q., Krishnan A., Pan Y., Baldan G., Beijbom O. nuScenes: A multimodal dataset for autonomous driving // Proceedings of

IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2020. P. 11621–11631. URL: https://arxiv.org/abs/1903.11027 (дата обращения: 30.10.2025).

10. Geiger A., Lenz P., Urtasun R. Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite // Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2012. P. 3354–3361. URL: https://www.cvlibs.net/datasets/kitti (дата обращения: 30.10.2025).
11. Zhang J., Singh S. LOAM: Lidar Odometry and Mapping in Real-time // Robotics: Science and Systems Conference. 2014. P. 1–9. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/6856483 (дата обращения: 01.11.2025).
12. Lang A. H., Vora S., Caesar H., Zhou L., Yang J., Beijbom O. PointPillars: Fast encoders for object detection from point clouds // Proceedings of IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2019. P. 12689–12697. URL: https://arxiv.org/abs/1812.05784 (дата обращения: 01.11.2025).
13. Madjid A., Chen Y., Gupta R. Trajectory Prediction for Autonomous Driving: Progress, Limitations, and Future Directions // arXiv preprint. 2025. URL: https://arxiv.org/abs/2503.03262 (дата обращения: 02.11.2025).
14. Huang C., Li B., Kishida M. Model predictive approach to integrated path planning and tracking for autonomous vehicles // arXiv preprint. 2019. URL: https://arxiv.org/abs/1905.03444 (дата обращения: 02.11.2025).
15. Тисецкий А. Т. Анализ моделей для обработки изображений при реализации системы обнаружения объектов на железнодорожной полосе // Современные инновации, системы и технологии – Modern Innovations, Systems and Technologies. 2021. Т. 1, № 1. С. 43–51. DOI: 10.47813/2782-2818-2021-1-1-43-51.
16. Subosits J. K., Gerdes J. C. From the racetrack to the road: Real-time trajectory replanning for autonomous driving // Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2020. P. 186–192. URL: https://ddl.stanford.edu/publications/racetrack-road-replanning (дата обращения: 02.11.2025).
17. Хроль Е. В., Шаронова К. С. Распознавание изображений с помощью искусственного интеллекта // Современные инновации, системы и технологии. 2023. Т. 3, № 4. С. 0311–0321. DOI: 10.47813/2782-2818-2023-3-4-0311-0321.