УДК 621-039-542

EDN XBCPDY

Методы распознавания дорожной информации с поступающего видеопотока и построения траектории движения беспилотного транспортного средства

Е.В. Ларионов

Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

Аннотация. Создание системы управления беспилотным транспортным средством является сложной и трудоёмкой задачей. Внедрение беспилотных систем поспособствует улучшению качества ситуации на дороге, а также уменьшению материального ущерба в случае аварии. Существование беспилотного автомобиля невозможна без умения правильно и быстро распознавать дорожную информацию. Для сбора информации об окружении автомобили использует видеокамеры, радарные датчики, а также технологию оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. Для распознавания дорожной информации чаще всего используются обученные нейронные сети, такие как YOLO, SSD или Faster R-CNN. Построение пути выполняется с использованием метода построения карты окружающей среды и оценивания своего местоположение для локализации и алгоритмов для построения глобального или локального оптимального пути. В данной статье проводиться исследование, направленное на изучение и обобщение методов для распознавания дорожной информации, и построения траектории движения беспилотного транспорта. Также формулируются выводы о том, что необходимо дальнейшее исследование в области разработки системы для построения траектории движения беспилотных транспортных средств.

Ключевые слова: Беспилотный автомобиль, Машинное обучение, Распознавание дорожных знаков, Планирование траектории движения

Methods of recognizing traffic information from a video stream and plotting the path of a self-driving vehicle

E.V. Larionov

Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

Abstract. Creating a self-driving vehicle control system is a complex and time-consuming task. The introduction of self-driving systems will contribute to improving the quality of the situation on the road, as well as reducing material damage in the event of an accident. The existence of a self-driving vehicle is impossible without the ability to correctly and quickly recognize traffic information. To collect information about the environment, cars use video cameras, radar sensors, as well as optical system technology that uses the phenomena of light reflection and scattering in transparent and translucent media. Trained neural networks such as YOLO, SSD or Faster R-CNN are most often used to recognize traffic information. The path construction is performed using the method of building a map of the environment and estimating its location for localization and algorithms for constructing a global or local optimal path. This article conducts research aimed at studying and generalizing methods for recognizing traffic information and plotting the trajectory of unmanned vehicles. The conclusions are also formulated that further research is needed in the field of developing a system for building the trajectory of self-driving vehicles.

Keywords: Self-driving car, Machine Learning, Traffic-sign recognition, Path planning

1. Введение

На текущий момент в России, а также во многих других странах, актуальна такая проблема как ДТП, а также затраты на ущерб от них. Из-за таких происшествий, страдают не только люди, но также окружающая среда и экономика. Внедрение беспилотных систем, не только должно улучшить качество ситуации на дороге, но и уменьшить материальный ущерб.

Задачи управления беспилотными автомобилями, которые можно рассматривать как часть класса задач автоматизированного управления транспортом, в настоящее время являются актуальными, и их решению придается большое значение.

Первые системы управления беспилотными автомобилями предполагали использование автоматизированных дорог, оснащенных радиоуправляемым контролем скорости и руления автомобиля [1]. Данное решение было слишком дорогим и сложным в реализации.

В статье [2] представлен обзор современных методов для построения траекторий движения беспилотных средств. Рассматриваются такие методы как метод ячеек, геометрический метод, метод оптимизированной траектории, метод потенциального поля, гистограмма векторного поля (VFH) и рандомизированные деревья случайного исследования (RRT).

В работах [3-4], проводится сравнительный анализ современных математических моделей, методов и программных средств планирования движения для систематизации и объектной концептуализации теории планирования движения.

В работах [5-6] авторы представили алгоритмы для распознавания дорожных знаков. Приводятся проблемы, связанных с видимостью и точностью распознавания дорожных знаков, а также в некорректном определении цифр.

2. Постановка задачи

Благодаря исследованиям в области машинного обучения и развитию беспилотных транспортных средств, становиться возможным спроектировать и реализовать систему для полноценного управления беспилотными автомобилями. Использование моделей машинного обучения поможет сделать данную систему более умной, что поспособствует улучшению качества дорожных ситуаций и минимизирует риск возникновения ДТП.

Данный обзор направлен на исследование существующих подходов и методов для распознавания дорожной информации, и построения траектории движения беспилотного транспорта. Необходимо исследовать технологии для сбора окружающей информации, способы их распознавания и интерпретации беспилотным автомобилем, а также алгоритмы для визуализации автомобиля в пространстве и планирования оптимального пути.

3. Методы и материалы исследования

Большинство необходимых данных для обзора были собраны из таких источников как: Science Direct и Google Scholar.

Science Direct – это полнотекстовая база данных, ведущая информационная платформа Elsevier для людей из различных областей. Платформа содержит 25% мировых научных публикаций и обеспечивает всесторонний охват литературы из всех областей науки. Science Direct предоставляет доступ к полным текстам в формате PDF и HTML. Исследователь может ознакомиться с полными текстами всех научных статей, которые есть на сайте.

Google Scholar – это бесплатная поисковая система от компании Google, запущенная в ноябре 2004, которая охватывающая широкий спектр научных исследований. Она позволяет пользователям искать цифровые или физические копии статей онлайн или в библиотеках. Результаты поиска генерируются с использованием ссылок из полнотекстовых журнальных статей, технических отчётов, диссертаций, книг и других документов. В системе есть функция «Цитируется в», которая предоставляет доступ к аннотациям статей, в которых процитирована рассматриваемая статья.

Для поиска информации использовались ключевые слова «Traffic-sign recognition», «Self-driving car», «Machine Learning», «Deep Learning». При написании статьи рассматривались современные работы, опубликованные с 2016 года, однако для понимания истории развития методов, рассматривалось несколько статей, опубликованные с 2004 года.

4. Полученные результаты

4.1. Технологии для распознавания дорожной информации

Существование и правильная работоспособность беспилотного автомобиля невозможна, если он не будет уметь распознавать дорожную информацию. Для распознавания информации используются видеокамеры, радары и лидар.

Видеокамеры собирают визуальные данные, которые помогают транспортным средствам интерпретировать и понимать окружающую среду. Камеры необходимы для таких функций, как предупреждение о выходе из полосы движения, обнаружение пешеходов, распознавание дорожных знаков и помощь при парковке. К недостаткам камер можно отнести то, что они могут отслеживать ситуацию только в непосредственной близости от машины.

Радарные датчики используются для получения информации о скорости сближения и расстоянии до объекта перед автомобилем. Радарный датчик излучает электромагнитные волны и регистрирует отражение (эхо) от объектов (автомобили, пешеходы и другие препятствия), находящихся вокруг автомобиля. Скорость едущего впереди автомобиля оценивается по изменению частоты отражённой волны, а расстояние до машины – по времени возвращения сигнала. Главный недостаток радаров – приходится выбирать между дальностью действия и размером наблюдаемой области. Можно получить либо данные об объектах на большом расстоянии, но в маленькой области, либо в большой области, но только вблизи.

Лидар LIDAR (Light Identification Detection and Ranging – световое обнаружение и определение дальности) – технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах [7]. Эта технология эффективна для выявления небольших объектов, таких как пешеходы и велосипедисты, которые могут быть пропущены камерой. Для сканирования дороги и прилегающей территории используется сканирующий лидар с круговым обзором. К недостаткам лидара можно отнести высокую стоимость и большое время анализа поступающих данных.

Совместное использование возможностей радара, лидара и видеокамеры может обеспечить высокую точность получаемых данных, а всестороннее обучение нейронных сетей позволит детектировать различные объекты и определять участников движения, их скорость и направление движения.

4.2. Методы машинного обучения для распознавания дорожной информации

В настоящее время искусственные нейронные сети широко используются при решении самых разнообразных задач особенно там, где обычные алгоритмические решения оказываются неэффективными или вовсе невозможными. В различных исследованиях задача распознавания дорожной информации рассматривается как задача классификации. Однако,

для построения системы детекции поставленную задачу, в первую очередь, необходимо решать, как задачу сегментации.

Сегментация изображений является расширением классификации изображений, где помимо классификации мы выполняем локализацию. Таким образом, сегментация изображения представляет собой надмножество классификации изображений, при этом модель точно определяет, где находится соответствующий объект, очерчивая его границы. Наиболее популярными моделями для решения задачи сегментации являются алгоритм YOLO, алгоритм SSD и алгоритм Faster R-CNN, также в [8] приводится архитектура DeepLab как более сложная и точная модель.

Последние исследования [9-10] в области классификации дорожных знаков показывают высокую точность и производительность, используя немного изменённые существующие архитектуры нейронных сетей. Однако полученная точность достигается путём уменьшения набора для обучения, что приводит к неработоспособности моделей при плохих погодных условиях, или при небольших изменениях знаков.

В работе [11] приведен алгоритм распознавания дорожных знаков, основанный на контурном анализе и вычислении расстояний между списками. Как отмечают авторы, алгоритм подвержен влиянию положения знака, не способен идентифицировать его, а также работает от формы – прямоугольной, треугольной, круглой, что говорит о его низкой универсальности.

4.3. Планирование пути

Одной из ключевых задач, решаемых исследователями и разработчиками при создании беспилотных автомобилей, является прокладка маршрута. Задача планирования траектории движения заключается не только в поиске маршрута от начальной точки до конечной, но также в нахождении оптимального пути среди всех достижимых путей. При создании наилучшего маршрута необходимо учитывать несколько взаимосвязанных вопросов, таких как безопасность, наличие препятствий и время вычисления. Из-за важности данного вопроса многие исследователи разработали множество алгоритмов планирования траектории.

Для построения траектории, в первую очередь, необходимо выполнить локализацию. Под локализацией понимается процесс определения позиции относительно окружения и отображение полученной информации. В [12] описывается использование метода SLAM (simultaneous localization and mapping – одновременная локализация и построение карты).

Принцип его работы заключается в том, что робот или сенсорная система одновременно оценивают своё местоположение в окружающей среде и строят карту окружающей среды.

После локализации для дальнейшего построения пути было разработано множество различных методов. В работах [13-15] описываются методы предотвращения столкновения с помощью оптимизации траектории для полета БПЛА. Данные методы имеют существенные недостатки, одному требуется информация (физические параметры) о препятствии, а второй работает только со статическими препятствиями.

Наиболее эффективные методы описаны в статьях [16-17] – гистограмма векторного поля (VFH) и рандомизированные деревья случайного исследования (RRT). Метод VFH показывает высокую эффективность для локального планирования, но при построении глобального оптимального пути не всегда показывает самый оптимальный путь. Метод RRT напротив хорошо справляется с построением оптимального пути на любую дистанцию, но имеет высокую вычислительную сложность. В работе [18] описывается модификация RRT*FN, которая способствует снижению вычислительной сложности алгоритма.

Задача планирования пути для беспилотного транспортного средства в сложных неизвестных окружениях требует многогранного подхода, в котором необходимо объединить локализацию, планирование пути и предотвращение столкновений с препятствиями [19]. В настоящее время акцент сдвигается на использование компьютерного зрения и моделей глубокого обучения [20].

5. Выводы

Управление беспилотными автомобилями является важной задачей в современном мире. В данной работе был выполнен небольшой обзор исследований в области управления беспилотных автомобилей. На данный момент большинство исследований в распознавании дорожной информации сводятся к использованию и доработке популярных архитектур нейронных сетей. Во многих статьях представляют или эффективную модель нейронной сети, но с низкой производительностью, или модель с высокой производительностью, но не способную эффективно работать при плохих погодных условиях или небольших изменениях в дорожных знаках.

В области прокладывания маршрута беспилотного автомобиля, большинство исследований показывают низкую эффективность или высокую вычислительную сложность

существующих алгоритмов. Наиболее эффективным решением является модификация существующих алгоритмов VFH или RRT.

По итогу анализа публикаций можно сделать вывод, что необходимо дальнейшее исследование в области разработки системы для построения траектории движения беспилотных транспортных средств. Одной из первостепенных задач является создание модели (или объединения нескольких) нейронной сети, которая будет эффективно и точно распознавать дорожную информацию при любых погодных условиях и будет иметь высокую производительность. После чего необходимо заняться задачей прокладывания маршрута, доработав существующие алгоритмы планирования пути.

Дальнейшее изучение существующих публикаций в области обучения нейронных сетей может помочь в улучшении точности распознавания дорожной информации и оптимизации прокладывания маршрута для беспилотных автомобилей.

Список литературы

1. Wetmore Jameson M. Driving the Dream – The History and Motivations Behind 60 Years of Automated Highway Systems in America / Jameson M. Wetmore // Automotive History Review. – 2003. – P. 4-19.
2. Методы построения траекторий движения для беспилотных средств // Математические структуры и моделирование. – 2024. – № 4 (72). – С. 125-129.
3. Казаков К.А. Обзор современных методов планирования движения / К.А. Казаков, В.А. Семенов // Труды ИСП РАН. – 2016. – № 28 (4). – С. 241-29
4. Лю В. Методы планирования пути в среде с препятствиями (обзор) / В. Лю // Математика и математическое моделирование. – 2018. – № 01. – С. 15-58.
5. Попов Е.Ю. Алгоритм распознавания дорожных знаков ограничения скорости / Е.Ю. Попов, Д.И. Крыжановский // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 6 [Электронный ресурс]. – URL: https://web.snauka.ru/issues/2012/06/14717
6. Савичева, С. В. Алгоритм распознавания дорожных знаков / С.В. Савичева, В.С. Малыгина // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 4-2(48). – С. 5-8.
7. Демиденко А.Г. Цифровая модель дороги. Технологии создания и применения / А.Г. Демиденко // Математические структуры и моделирование. – 2024.

8. Liang-Chieh Chen, George Papandreou. DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs. // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2016. – № 40.
9. Никитин Д.В. Детектирование дорожных знаков на основе нейросетевой модели YOLO / Д.В. Никитин, И.С. Тараненко, А.В. Катаев // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 7 (103). – С. 91-99.
10. Стахеева А.А. Распознавание дорожных знаков с использованием сверточной нейронной сети / А.А. Стахеева, А.Н. Крайников, Д.А. Вяткин // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2023. – № 4. – С. 1277-1300.
11. Медведев М.В. Детектирование дорожных знаков при помощи компьютерного зрения / М.В. Медведев, А.П. Кирпичников, Т.А. Синичкина // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 18. – С. 143-147.
12. Wang S., Wu Z., Zhang W. An overview of SLAM // Proceedings of 2018 Chinese Intelligent Systems Conference. Springer, Singapore. – 2019. – P. 673-681.
13. Cooperative Sense and Avoid Implementation in Simulation and Real World for Small Unmanned Aerial Vehicles. Armin Strobel, Marc Schwarzbach. s.l.: Research Training Group Cooperative, Adaptive and Responsive Monitoring in Mixed Mode Environments. - 2021.
14. Visual Flight Rules-Based Collision Avoidance Systems for UAV Flying in Civil Aerospace.
15. Ковалев Д.И. Обзор спецификаций системных параметров для анализа микропроцессорной производительности роевого применения БПЛА / Д.И. Ковалев // Современные инновации, системы и технологии. – 2024. Т. 4, № 3. С. 0101–0120. https://doi.org/10.47813/2782-2818-2024-4-3-0101-0120
16. The vector field hostogram – fast obstacle avoidance for mobile robots // IEEE Journal of Robotics and Automation. – 1991. – Vol. 7. – No. 3. – P. 278-288.
17. Jayesh Amin, Jovan Bokovic and Raman Mehra. A Fast and Efficient Approach to Path Planning for Unmanned Vehicles // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit 21 August 2006 - 24 August 2006, Keystone, Colorado. https://doi.org/10.2514/6.2006-6103
18. Олейников К.А. Траекторное управление электромобилем с использованием RRT алгоритма планирования движения в условиях городской среды / К.А. Олейников, В.А. Адиняев // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 4.

19. Тисецкий А. Обзор методов сегментации и обнаружения объектов на изображении в реальном времени для предотвращения аварийных ситуаций РЖД / А. Тисецкий, Д. Ковалев, Т. Мансурова // Современные инновации, системы и технологии. – 2022. – Т. 2. – № 3. – С. 0101–0116. https://www.doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-3-0101-0116
20. Vittorio Mazzia, Francesco Salvetti, Diego Aghi, and Marcello Chiaberge. DeepWay: A Deep Learning Estimator for Unmanned Ground Vehicle Global Path Planning. // arXiv preprint. - 2020.