

Разработка усовершенствованной системы распознавания сигналов светофора и линий дорожной разметки

Д. И. Кустов, А. А. Клоков, А. О. Федоркова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
danila_kustov@mail.ru

Аннотация. Цель данной статьи заключается в разработке усовершенствованной системы распознавания сигналов светофора и линий дорожной разметки. В рамках данной работы внимание сосредоточено на анализе преимуществ и недостатков существующих подходов, позволяющих улучшить процесс распознавания. Оцениваются различные методы и их эффективность применительно к задачам распознавания сигналов светофора и линий дорожной разметки.

В статье приводится анализ подходов, основанных на использовании цветового пространства HSV и метода преобразования Хафа, и проводится их сравнение с усовершенствованными вариантами этих методов, реализованными с применением библиотеки компьютерного зрения OpenCV.

Особое внимание уделяется оценке качества работы систем в различных условиях освещенности и при наличии внешних воздействий. Основным результатом работы является представление разработанной системы распознавания, которая демонстрирует повышенные показатели точности и надежности по сравнению с существующими методами распознавания.

Ключевые слова: система распознавания; сигналы светофора; линии дорожной разметки; HSV; преобразование Хафа; точность распознавания

I. ВВЕДЕНИЕ

Тема данной статьи актуальна в контексте развития автономного движения автомобилей, где ключевую роль играют системы распознавания сигналов светофора и линий дорожной разметки. Эффективное функционирование этих систем обеспечивает безопасность и плавность движения.

Статья посвящена разработке усовершенствованной системы для распознавания сигналов светофора и линий дорожной разметки. Рассматриваются и анализируются существующие методы и подходы, выявляются их преимущества и недостатки. Особенный акцент делается на методах, основанных на использовании цветового пространства HSV и преобразовании Хафа.

Цель работы – улучшить эти подходы и адаптировать их для повышения эффективности распознавания при внешних воздействиях и различных условиях освещенности. В результате представлена улучшенная система распознавания, реализованная с использованием библиотеки OpenCV, и демонстрирующая повышенные показатели точности и надежности.

II. МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ СВЕТОФОРА

A. Существующий подход (HSV)

В рамках существующих подходов распознавания сигналов светофора активно применяется модель цветового пространства HSV (Hue, Saturation, Value), представляющая собой комбинацию оттенка (Hue), насыщенности (Saturation) и яркости (Value).

Специфика данного подхода заключается в умении модели HSV различать оттенки определенного цвета, что позволяет выделить сигналы светофора на общем фоне изображения. Однако, необходимо отметить, что цвет каждого из сигналов светофора не всегда является «идеальным», его оттенки могут меняться в зависимости от многих факторов. Например, технология изготовления светофора, будь то лампы накаливания или светодиоды, может существенно влиять на конечный цвет сигнала светофора.

Для распознавания определенного сигнала светофора с представленным подходом, ключевым является выбор диапазона цвета. Детальный подбор диапазона области цвета играет критическую роль в задачах распознавания сигналов светофора. Расширение спектра оттенков обеспечивает возможность охвата более широкого диапазона светофоров, особенно в различных погодных условиях. Однако, чрезмерное расширение этой области может привести к ложным срабатываниям системы, что сводит ценность и надежность всей системы на нет. Так, для эффективной работы данного подхода необходимо точно подобрать оптимальный диапазон в цветовой модели HSV для каждого сигнала светофора.

На рис. 1 приведена работа метода распознавания зеленого сигнала светофора на основе цветовой модели HSV:



Рис. 1. Распознавание зеленого сигнала светофора

В процессе тестирования выявлено, что данный подход эффективно справляется с основной задачей распознавания сигналов светофора в оптимальных условиях, когда уровень освещенности стабилен и цвета светофора четко различимы. В то же время, его эффективность заметно снижается в условиях изменяющейся освещенности, что ограничивает его практическую применимость в реальных условиях.

В. Улучшенный подход (HSL)

В отличие от предыдущего подхода, применяющего модель цветового пространства HSV, предлагается методика, в которой центральное место занимает цветовое пространство HSL (Hue, Saturation, Lightness). Этот формат отличается заменой показателя яркости (Value) на светлоту (Lightness), что обозначает степень приближенности цвета к белому или черному. Это обеспечивает более точное и стабильное различение цветов светофора при различных условиях освещенности.

Усовершенствование системы распознавания сигналов светофора включает в себя следующие модификации:

1. Замена цветового пространства с HSV на HSL;
2. Применение области интереса (ROI);
3. Интеграция стереокамеры;
4. Внедрение двухэтапной маски.

С помощью области интереса (ROI) достигается повышенная эффективность использования ресурсов и ускорение обработки изображений. Преимущество этого подхода заключается в концентрации обработки исключительно на светофоре, а не на всем изображении в целом.

Интегрированная стереокамера предоставляет возможность выводить информацию о дистанции до светофора, что дает дополнительные возможности для регулирования процесса движения, включая управление ускорением, торможением и поддержкой скорости.

Двухэтапная маска реализована таким образом, что первоначально происходит обнаружение интересующих цветов, а затем – повторное обнаружение уже в рамках области интереса (ROI). Эта модификация снижает вероятность ложных срабатываний, так как обнаружение происходит в области, где ранее был обнаружен цвет сигнала светофора.

Для тестирования усовершенствованной системы был собран макет светофора на основе трех кольцевых светодиодов WCMCU-2812B-12 и платы Arduino Uno. Программа, написанная для эмуляции работы реального светофора в среде разработки Arduino, также была включена в состав макета. Поскольку светодиоды достаточно сильно рассеивают свет, был сделан фильтр с помощью подручных средств. Данный макет представлен на рис. 2:



Рис. 2. Макет светофора

Система распознавания и стереокамера были интегрированы на мобильном роботе, предоставленном университетом. Применение такого типа камеры позволило сгенерировать карту глубины – двумерное изображение, где уровни яркости соответствуют расстоянию до светофора. Таким образом, система может наблюдать и анализировать трехмерные объекты в реальном времени, что критически важно для работы автономного робота. Результаты работы улучшенной системы распознавания сигналов светофора можно увидеть на рис. 3–5:

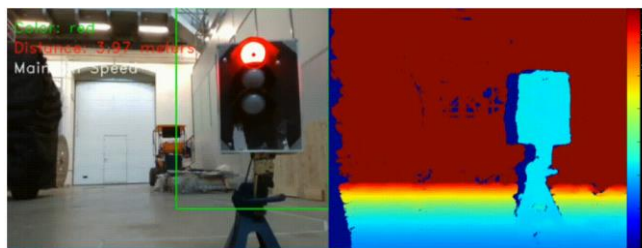


Рис. 3. Распознавание красного сигнала

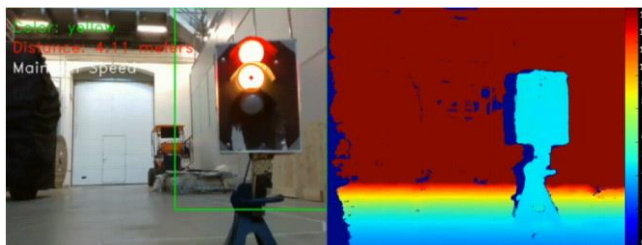


Рис. 4. Распознавание желтого сигнала

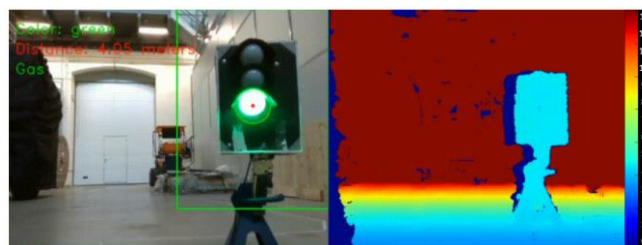


Рис. 5. Распознавание зеленого сигнала

В ходе проведенных испытаний было установлено, что модифицированный подход, включающий описанные усовершенствования, продемонстрировал значительное улучшение в точности обнаружения сигналов светофора. Благодаря использованию области интереса (ROI) и стереокамеры, система обеспечивает повышенную точность и устойчивость к изменению

условий освещенности. Использование стереокамеры также позволяет получить дополнительную информацию о положении светофора в пространстве, что является ценным преимуществом для автономного робота.

III. МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИНИЙ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

A. Существующий подход (Метод преобразования Хафа)

Метод преобразования Хафа является мощным инструментом среди существующих подходов для распознавания геометрических форм, особенно линий, на изображениях. Этот подход весьма эффективен для распознавания дорожной разметки, так как большинство элементов дорожного полотна представляют собой прямые линии.

Данный подход работает совместно с областью интереса (ROI). Он преобразует каждую точку исходного пространства (обычно представленной в декартовых координатах) в линию параметрического пространства, представленного в полярных координатах. Места, где линии пересекаются в параметрическом пространстве, соответствуют линиям на исходном изображении.

Плюсы метода Хафа:

1. Простота. В данном подходе используется всего две главные функции – детектор Кэнни и преобразование Хафа с предварительной фильтрацией;
2. Независимость от положения и ориентации: Алгоритм способен распознавать формы вне зависимости от их положения и ориентации на изображении;
3. Эффективность. Программа может работать в реальном времени на обычном компьютере. С оптимальным подбором параметров, может работать со многими видами разметок.

Минусы метода Хафа:

1. Отсутствие гибкости. Алгоритм показывает неудовлетворительные результаты при работе с изогнутыми линиями. Преимущественно, метод оптимизирован для обработки ситуаций, где дорога имеет прямолинейное направление, и линии разметки не имеют значительных отклонений;
2. Чувствительность к параметрам: Эффективность алгоритма в значительной степени зависит от правильного выбора параметров, таких как пороги голосования и разрешение пространства параметров;
3. Влияние шума: Алгоритм может ошибочно интерпретировать шум или случайные структуры на изображении как целевые формы.

Для иллюстрации работы системы с использованием преобразования Хафа в случаях прямолинейного движения и при выполнении поворота, обратимся к рис. 6 и 7:

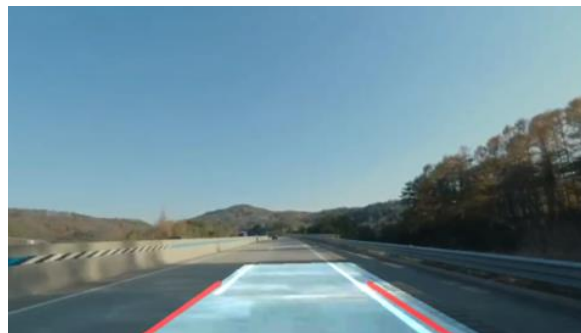


Рис. 6. Результат работы при прямой дороге



Рис. 7. Результат работы при повороте дороги

При условии прямолинейной дороги, метод Хафа эффективно обрабатывает разметку, благодаря своей основной ориентированности на распознавание прямых линий. Однако, при появлении кривых или поворотов на дороге, эффективность метода снижается. Это связано с тем, что преобразование Хафа изначально создавалось для обнаружения прямых линий, и оно может испытывать затруднения в определении криволинейных структур, таких как изогнутые или поворотные линии дорожной разметки

Таким образом, несмотря на значительные преимущества, метод преобразования Хафа не может полностью быть применим на автономных автомобилях в условиях, близких к реальным.

B. Улучшенный подход (Перспективное преобразование Bird's Eye View)

Поскольку стало известно, что метод преобразования Хафа не может быть полностью применим, было принято решение использовать перспективное преобразование Bird's eye view со следующими модификациями:

1. использование гистограмм;
2. использование метода скользящего окна.

Перспективное преобразование, или же Bird's Eye View – это метод, который позволяет изменить точку обзора на «вид с высоты птичьего полета», что предоставит более объективное представление о линиях дорожной разметки. Для начала, определяется область интереса (ROI) на изображении, после чего проводится перспективное преобразование Bird's Eye View, меняющее изображение области интереса (ROI) так, чтобы оно казалось видимым сверху.

Такой подход упрощает процесс распознавания линий дорожной разметки, обеспечивая более высокую точность и устойчивость к внешним воздействиям, таким как освещенность и погодные условия.

С. Использование гистограмм и метода скользящего окна

После перспективного преобразования Bird's Eye View следует этап обработки изображения, включающий применение гистограмм и метода скользящего окна для распознавания линий дорожной разметки.

Гистограмма применяется к нижней половине изображения после перспективного преобразования Bird's Eye View и используется для определения положения линий дорожной разметки. Гистограмма представляет собой график, показывающий распределение пикселей по уровню яркости на изображении, и помогает определить положение линий на дороге, находя самые яркие участки.

Для наглядности, на рис. 8 представлен пример использования гистограмм для нахождения разметок.

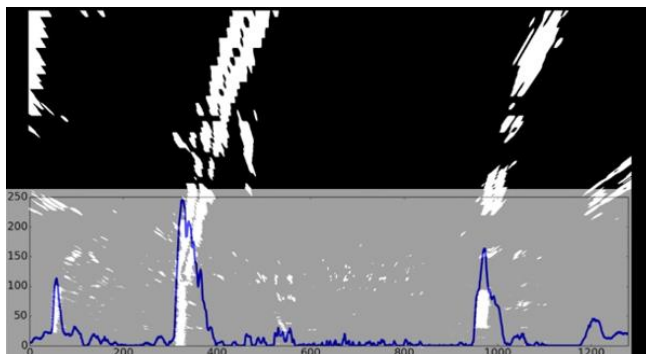


Рис. 8. Использование гистограмм

Далее применяется метод скользящего окна. После получения гистограммы, определяются стартовые точки для линий дорожной разметки на основе пиковых значений в гистограмме. Стартовые точки становятся центром скользящих окон. Затем, полученные окна «скользят» вверх по изображению, обновляя центр окна на основе среднего положения белых пикселей внутри окна. Этот процесс продолжается, пока окна не достигнут верхней части изображения, следуя за линией разметки.

Для наглядности, на рис. 9 представлен пример использования скользящих окон для адаптивного обнаружения полос.

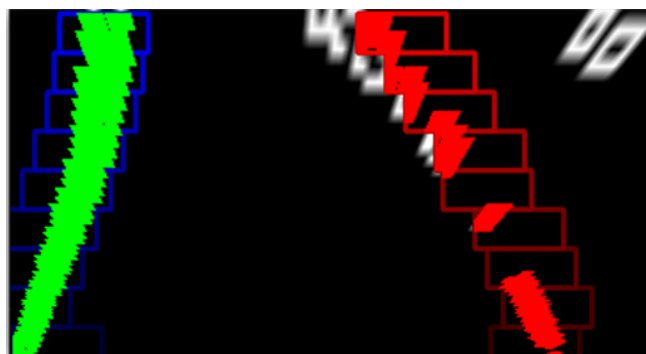


Рис. 9. Метод скользящего окна

Для тестирования улучшенной системы, была собственноручно сделана имитация дорожного движения с макетом светофора и мобильным роботом, описанным ранее. Результат работы представлен на рис. 10.

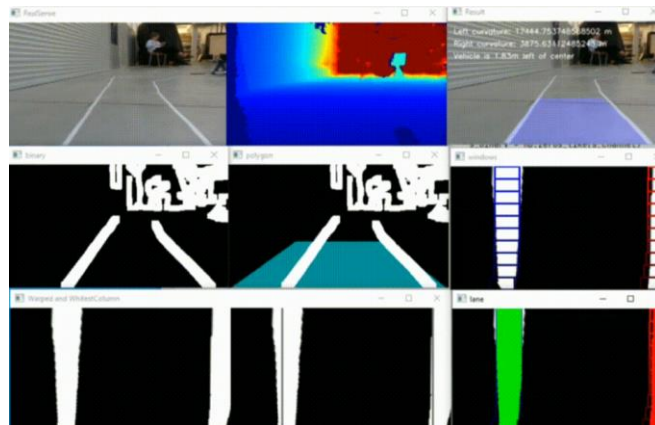


Рис. 10. Результат работы улучшенной системы распознавания линий дорожной разметки

Использование комбинации этих двух модификаций с преобразованием Bird's Eye View способствует достижению высокой точности и надежности при определении линий дорожной разметки, даже в сложных условиях освещения и других внешних факторах. Таким образом, этот подход представляет собой более продвинутую и усовершенствованную систему распознавания линий дорожной разметки.

Метод с использованием перспективного преобразования позволяет точно определять полосы, улучшая таким образом распознавание линий разметки и проецируя их на исходное изображение, что уменьшает вероятность ошибок в движении автономного транспорта. Дополнительно, система обладает способностью прогнозировать будущую траекторию движения, вычисляя кривизну полосы.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье были подробно проанализированы текущие методы распознавания сигналов светофора и линий дорожной разметки, и на их основе предложены усовершенствованные подходы для повышения точности и эффективности этих систем. Подход к распознаванию сигналов светофора предусматривает использование области интереса (ROI), что способствует снижению вычислительных нагрузок и повышению точности распознавания светофоров. Кроме того, переход от цветового пространства HSV к HSL способствовал увеличению надежности системы, особенно при изменении условий освещенности.

Для распознавания линий дорожной разметки был предложен подход, основанный на применении перспективного преобразования (Bird's Eye View), гистограммы и метода скользящего окна. Эти методики повысили точность распознавания линий, стабильность системы при внешних воздействиях и ее адаптивность к различным условиям освещенности в дорожной обстановке.

Данные исследования могут стать основой для разработки усовершенствованных автоматических систем управления транспортными средствами, обеспечивающих улучшенную безопасность и эффективность движения.

Важно подчеркнуть, что проведенное исследование является лишь первым шагом в разработке продвинутых систем распознавания. В перспективе, с учетом технологического прогресса и усиления вычислительных ресурсов, планируется применить дополнительные

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

исследования и внедрение новых методов, включая глубокое обучение и нейронные сети, для дальнейшего улучшения точности и надежности систем распознавания. Также стоит рассмотреть интеграцию данных методов с другими системами, используемыми в автономных транспортных средствах, такими как навигационные системы, радары и различные датчики, для обеспечения более безопасной и эффективной автономной езды.

Применение разработанных методов в реальных условиях и оценка их эффективности представляет собой важное направление для будущих исследований.

В заключение, результаты данной работы открывают новые горизонты для развития автоматических систем управления транспортными средствами, делая их более безопасными и эффективными, и ставят основу для дальнейших исследований в этой сфере.

- [1] OpenCV Documentation [Electronic resource]. – Available at: https://docs.opencv.org/4.x/df/d9d/tutorial_py_colorspaces.html (Accessed 20 June 2023).
- [2] Color Filtering/Segmentation/Detection – HSV [Electronic resource]. – Available at: <https://cvexplained.wordpress.com/2020/04/28/color-detection-hsv/#:~:text=In%20OpenCV%2C%20Hue%20has%20values,255%2C%200%2D25.> (Accessed 28 June 2023)
- [3] Traffic Light Classifier [Electronic resource]. – Available at: https://alyxion.github.io/Udacity_IntroToSelfDrivingCarsNd/8_2_Project_5_Traffic_Light_Classifier/Traffic_Light_Classifier.html (Accessed 2 July 2023)
- [4] Advanced Lane Detection for Autonomous Vehicles Using Computer Vision Techniques [Electronic resource]. – Available at: <https://towardsdatascience.com/advanced-lane-detection-for-autonomous-vehicles-using-computer-vision-techniques-f229e4245e41> (Accessed 6 July 2023)
- [5] The Principle of Perspective Transformation [Electronic resource]. – Available at: <https://automaticaddison.com/the-ultimate-guide-to-real-time-lane-detection-using-opencv/> (Accessed 6 July 2023)