

# Проектирование и реализация системы распознавания дорожных знаков с использованием компьютерного зрения и кластеризации

М. О. Соколов, Н. А. Лобазев, А. О. Федоркова

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

**Аннотация.** Статья центрируется вокруг задачи разработки и внедрения системы, способной идентифицировать шесть предписывающих знаков дорожного движения. Вместо подробного обсуждения уже существующих подходов к распознаванию дорожных знаков, статья уделяет особое внимание методологии и алгоритмам, использованным при разработке предложенной системы. Рассматривается влияние различных внешних условий на точность системы через серию экспериментов. Статья охватывает обзор соответствующих теоретических концепций, описание процесса создания алгоритма с применением библиотеки OpenCV, а также оценку эффективности и работоспособности системы.

**Ключевые слова:** система распознавания; компьютерное зрение; знаки дорожного движения; кластеризация

## I. МЕТОДЫ РАСПОЗНАВАНИЯ

Существует множество подходов распознавания знаков дорожного движения на основе как классических методов компьютерного зрения, так и на основе методов машинного обучения.

Классические методы распознавания знаков дорожного движения используют набор признаков, которые определяют уникальные характеристики знаков. Эти признаки могут быть извлечены из изображения знака дорожного движения с помощью фильтров, морфологических операций и пороговых преобразований.

Они имеют ряд преимуществ, таких как простота реализации и скорость функционирования. Однако из-за необходимости настройки параметров для каждой задачи отдельно, они могут демонстрировать высокую погрешность при работе.

Методы на основе машинного обучения показывают более высокую точность в распознавании дорожных знаков, однако они требуют большего количества данных для обучения модели, и они более затратны в реализации.

Система создавалась для распознавания 6 знаков дорожного движения, изображенных на рис. 1: Знак 3.1. Въезд запрещен; знак 4.1.1. Движение прямо; знак 4.1.2. Движение направо; знак 4.1.3. Движение налево; знак 4.1.4. Движение прямо или направо; знак 4.1.5. Движение прямо или налево.

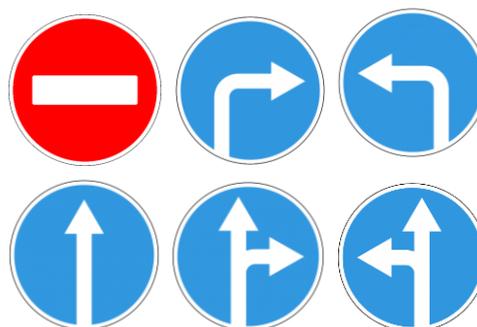


Рис. 1. Объекты детектирования

В работе предложен алгоритм, в основе которого классические подходы компьютерного зрения для детектирования знаков, а на этапе классификации применяется кластеризация. Метод машинного обучения, который позволяет группировать схожие объекты в отдельные группы на основе их общих характеристик. Таким образом, предлагается создание системы с меньшей погрешностью работы при отсутствии большого объема обучающих данных.

## II. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА

При создании системы можно выделить 4 этапа:

- считывание изображения с камеры;
- преобразование полученных данных;
- распознавание окружностей;
- классификация и вывод результатов.

Для получения изображения использовалась стереокамера RealSense D435i, главная особенность которой заключается в передаче точных данных расстояния от камеры до необходимого объекта на устройство, к которому она подключена.

После считывания с камеры видеопотока его необходимо обработать. При разработке тестировалось множество преобразований изображения, включая пороговые и морфологические, фильтр Гаусса, бинаризацию и медианный фильтр. В итоге для необходимой точности достаточно перевести полученные данные в оттенки серого, а затем применить медианный фильтр. Перевод в оттенки серого – это промежуточный этап, главная задача которого сократить размерность изображения, улучшить выделение контуров, снизить потребление вычислительных

ресурсов и упростить дальнейшую обработку изображения. Следующим этапом применяется медианная фильтрация, благодаря которой на изображении происходит устранение шума и сглаживание, сохраняя при это границы объектов и текстур.

Для нахождения окружностей, отличительной характеристикой необходимых объектов, в работе используется алгоритм Хафа. Полученное после вышеприведенных преобразований изображение метод преобразует в пространство параметров, рассматривая каждый пиксель изображения, как возможный центр окружности, и вычисляя возможный радиус, затем, создав аккумуляторную таблицу и найдя в ней максимальные значения, применяется пороговая фильтрация, и выделяются найденные окружности. После идентификации всех окружностей происходит сравнение их радиусов, и выбирается та, у которой радиус максимальный, что говорит о ее ближайшем нахождении к камере.

Процесс преобразования переданного на устройство изображения и выделение самой большей найденной окружности изображен на рис. 2.

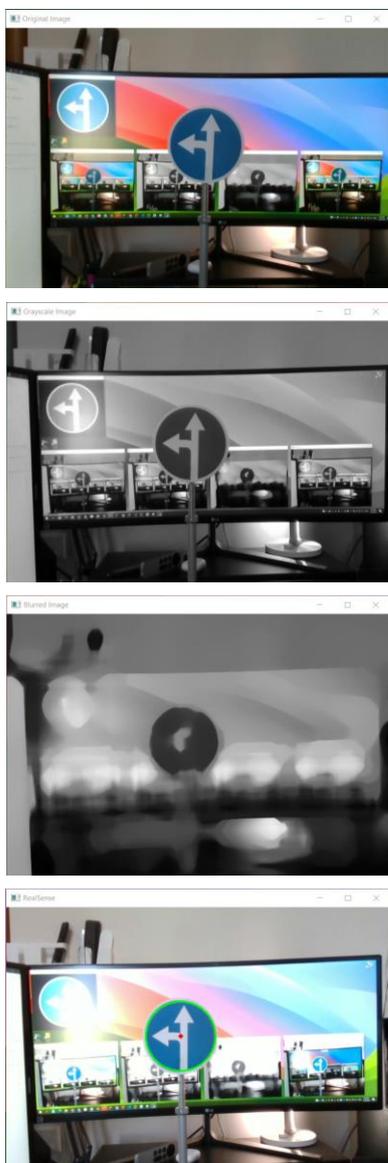


Рис. 2. Преобразование изображение и выделение окружности

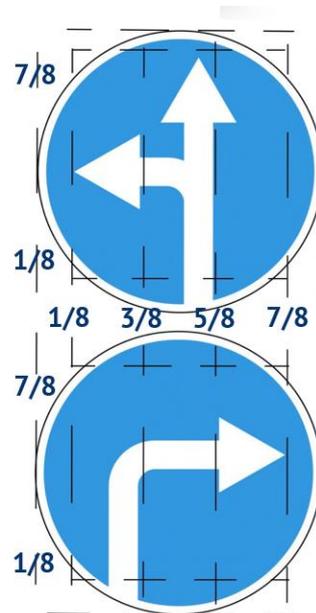


Рис. 3. Деление круга для определения направления

Найденные окружности классифицируются с помощью кластеризации k-средних. Основная идея алгоритма заключается в разделении данных на кластеры таким образом, чтобы объекты внутри каждого кластера были максимально похожи друг на друга, а объекты из разных кластеров – максимально различны. В рамках данной работы кластеризация используется для сегментации выделенного объекта и определение доминирующего цвета. Если доминирующий цвет красный, то в окно вывода пишется, что это знак 3.1. Если цвет синий, то необходимо определить направление знака. После анализа можно выделить три области по горизонтали, в которых может находится стрелка, от  $\frac{1}{8}$  до  $\frac{3}{8}$ , от  $\frac{3}{8}$  до  $\frac{5}{8}$ , от  $\frac{5}{8}$  до  $\frac{7}{8}$ . В этих областях с помощью кластеризации вычисляется интенсивность цвета и сравнивается друг с другом. По вертикали рассматривается область от  $\frac{1}{8}$  до  $\frac{7}{8}$ . Принцип деления полученной окружности продемонстрирован на рис. 3.

В процессе работы программы постоянно транслируется изображение, полученное со стереокамеры, на котором выделяются обнаруженные знаки. После успешного распознавания, алгоритм отображает изображение знака пользователю, выводит полное название знака и предоставляет информацию о расстоянии между камерой и обнаруженным объектом.

### III. ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ

Для проверки работоспособности системы необходимо провести серию тестов, которые учитывают различные условия и сценарии использования.

Выявлено три фактора, которые могут влиять на успешность распознавания:

- условия освещенности;
- угол поворота объекта относительно камеры;
- расстояние от объекта до камеры.

В рамках проведения экспериментов были созданы уменьшенные модели знаков дорожного движения. Высота этих моделей составляет 0,5 метра с возможностью регулировки, а радиус окружности, описывающей знак, составляет 0,1 метра. Внешний вид знаков, сделанных для тестирования, представлен на рис. 4.



Рис. 4. Модели знаков для тестирования

#### А. Тестирование в различных условиях освещения

При слишком темном или слишком ярком уровне освещенности качество изображения может ухудшаться, что делает процесс распознавания более сложным. Для измерения данного параметра выбраны единицы измерения – люксы, так как они учитывают восприятие человеком освещенности. Кроме того, большинство нормативов, устанавливающих требования на дорогах и в других общественных местах выражены в люксах. Таким образом, использование данной единицы измерения в работе поможет соответствовать практическим требованиям и реальному восприятию.

#### В. Тестирование влияния угла поворота объекта относительно стереокамеры

Угол поворота изменяет геометрию знака со стороны камеры. Так как система заточена на определение окружностей с помощью алгоритма Хафа, поэтому, если угол выходит за пределы допустимого диапазона, искажения формы могут затруднить распознавание. При определении влияния параметра важно определить оптимальный диапазон углов, при котором точность распознавания достаточно высока.

#### С. Тестирование при разном расстоянии от камеры

Также важно провести анализ влияния расстояния между объектами и стереокамерой на эффективность процесса распознавания. Основная цель заключается в определении наиболее благоприятного диапазона расстояний, при котором система с использованием стереокамеры обеспечивает надежное и точное обнаружение знаков. При тестировании используется камера глубины RealSense с возможностью измерения дальности, ограничения камеры: от 0,2 до 10 метров.

#### Д. Результаты тестирования

Проанализируем результаты тестирования системы распознавания дорожных знаков в различных сценариях освещенности, углах съемки и дальности. В каждом сценарии было выбрано 15 значений соответствующих величин, для каждого значения было проведено 10 опытов.

Для проверки влияния освещенности значения выбраны от 2000 до 4 люкс. Результат можно увидеть на гистограмме, изображенной на рис. 5.

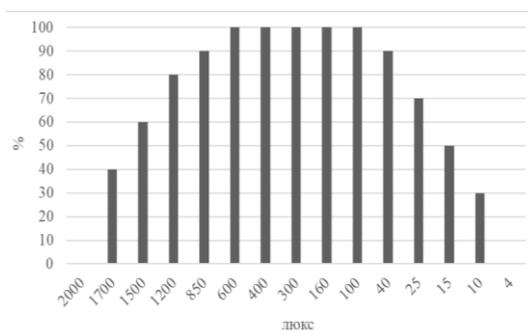


Рис. 5. Результаты влияния освещенности

На основании полученных данных можно сделать выводы, что при уровне освещенности выше 600 люкс система демонстрирует результаты хуже до значения 1500 люкс, так как после этого, она фактически перестает уже обнаруживать необходимые объекты. Аналогично с низкими уровнем, при значении менее 25 люксов алгоритм сталкивается с трудностями распознавания, а после вообще перестает различать знаки. При параметре от 600 до 100 люксов система не допускает ошибок, то есть, данные условия являются оптимальными для ее функционирования.

Для анализа влияния угла наклона объекта на эффективность распознавания выбраны значения угла, варьирующиеся от  $-50^{\circ}$  до  $50^{\circ}$ . Полученные данные продемонстрированы на гистограмме на рис. 6.

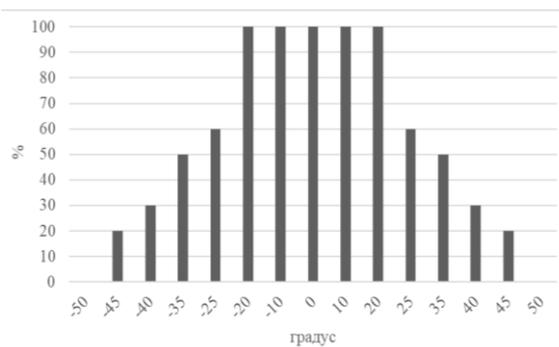


Рис. 6. Результаты влияния угла поворота объекта

Важно уточнить, что угол измерялся относительно перпендикуляра к камере. Из результатов можно сказать, что при угле отклонения выше  $25^{\circ}$  система значительно хуже начинает обнаруживать окружности, а при экстремальном угле  $50^{\circ}$  процент успешности доходит до нуля. Связано это с тем, что обнаружение в программе построено на алгоритме Хафа, который определяет окружности, поэтому при таких углах отклонения геометрия фигуры сильно нарушается, что препятствует распознаванию. Если параметр угла отклонения объекта менее  $20^{\circ}$  система со 100% вероятностью выдает верный результат.

Для изучения влияния дальности между системой и знаками на процесс распознавания взяты значения немного больше, чем указаны для корректной работы RealSense. Полученные результаты в процентах показывают успешность распознавания при каждом значении дальности и изображены на рис. 7.

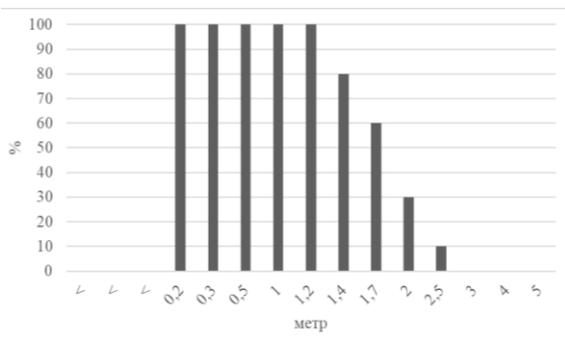


Рис. 7. Результат влияния расстояния от камеры

На основании данных можно сделать выводы, что, ожидаемо, при близком расстоянии (менее 0,2 метра) система не распознает объекты из-за ограничений стереокамеры, также при увеличении параметра выше 2 метров качество обнаружения сильно падает. Идеальной дальностью от камеры до объекта является – от 0,2 до 1,4 метра.

Указанные диаграммы визуализируют полученные результаты и помогают лучше понять зависимость между исследуемыми факторами и эффективностью системы распознавания.

Исходя из полученных результатов, можно заключить, что освещенность, угол съемки и дальность между системой и знаками оказывают влияние на эффективность распознавания системы. Оптимальные условия для 100 % успешности экспериментов обеспечиваются при освещенности, от 600 до 100 люкс, умеренных углах отклонения, до  $20^{\circ}$ , и расстоянии, лежащем в диапазоне от 0,2 до 1,2 метра. Однако, система продемонстрировала способность распознавать знаки и при менее благоприятных условиях, хотя с меньшей точностью и надежностью.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания данной статьи была разработана система распознавания шести знаков дорожного движения, основанная на применении классических методов компьютерного зрения и кластеризации. Система была реализована в виде программы на языке Python, способной в реальном времени обрабатывать данные с камеры и обнаруживать необходимые объекты.

В процессе тестирования можно сделать вывод о том, что при хороших условиях освещения, небольшом угле отклонения и среднем расстоянии система показывает стабильно правильные результаты распознавания дорожных знаков, идентифицируя все шесть целевых знаков. Это подтверждает эффективность выбранных алгоритмов компьютерного зрения и обработки изображений в заданных условиях.

Тем не менее, при ухудшении параметров система сталкивается с трудностями в обнаружении. Это связано с использованием классических методов распознавания, так как им необходима постоянная настройка под разные условия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гонсалес Р.С., Вудс Р.Е. Цифровая обработка изображений, 4-е изд.: Техносфера, 2019. 1022 с.
- [2] OpenCV [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.opencv.org> (дата обращения: 27.06.2023).
- [3] Хуанг Т.С., Ярославский Л.П. Преобразования и медианные фильтры: М.: Радио и связь, 1984. 220 с.
- [4] Суайль П. Морфологический анализ изображений: принципы и приложения, 2-е изд.: Springer-Verlag, 2003. 408 с.
- [5] Дуда Р.О., Харт, П.Е. Использование преобразования Хафа для обнаружения линий и кривых на изображениях: Communications of the ACM, 1972. 15 с.
- [6] Джаин А.К., Мурти М.Н., Флинн П.Д. Кластеризация данных: обзор: ACM Computing Surveys (CSUR), 1999. 60 с.
- [7] Хартли Р.И., Зиссерман А. Многовидовая геометрия в компьютерном зрении: Cambridge University Press, 2003. 672 с.