

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»  
Кафедра «Цифровые технологии»

НАУЧНЫЙ ДОКЛАД  
Об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)  
«Распознавание изображений дорожных знаков на основе алгоритма  
сегментации»

по направлению 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника»  
научная направленность: «Системы автоматизации проектирования»

Аспирант



Хирьянов Евгений Викторович

Допустить к защите научного доклада:

И.о. заведующего кафедрой «ЦТ»



к.п.н. С.Ю. Пестова

Научный руководитель



д.ф.-м.н., проф. С.В. Белим

Нормоконтроль



А.В. Козлова

Омск – 2024

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Автомобильная безопасность играет ключевую роль в современном мире. Системы распознавания дорожных знаков на основе нейронных сетей могут помочь улучшить безопасность на дорогах, предотвращая возможные аварии и обеспечивая более эффективное управление транспортом.

Алгоритмы сверточных нейронных сетей позволяют автоматически обнаруживать и классифицировать дорожные знаки на изображениях, что может быть полезно для водителей, систем навигации и управления транспортом. Такие системы могут помочь предотвратить опасные ситуации на дороге, например, предупреждая о превышении скорости, разметке дороги или опасности на дороге.

Благодаря использованию алгоритмов нейронных сетей для распознавания дорожных знаков, можно повысить эффективность и безопасность дорожного движения, сократить количество аварий и улучшить общую обстановку на дороге. Таким образом, данная тема имеет большой практический потенциал и может активно развиваться в будущем.

**Степень разработанности темы исследования.** Работы в области распознавания знаков дорожного движения ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как ТУСУР, ИТМО, МАДИ и других организациях. Распознаванием дорожных знаков с использованием обучающих выборок занимались Конушин А.С., Сичкар В.Н., Колубин С.А. Ларионов А.В., Шахуро В.И., Шемарулин И.А., Карпычев В.Ю и др.; обнаружением знаков дорожного движения с помощью нейросетей занимались Девяткник А.В., Филатов Д.М, Якимов П.Ю., Никонров А.Д., Кочан М.А., Чейн С.Ю., Бибииков С.А., Никонов А.В., Фусуров В.А., Самарев Р.С., Варошин Г.Я.. В результате выполненных исследований сложился ряд методов, способов позволяющих достаточно эффективно работать с детектированием и распознаванием знаков дорожного движения.

Множество исследований и работ уже посвящены использованию сверточной нейронной сети для распознавания дорожных знаков. Были разработаны различные модели нейронных сетей, оптимизированные под задачу распознавания дорожных знаков, проведены эксперименты и тестирования на различных наборах данных. Такие исследования позволили значительно улучшить точность и эффективность распознавания дорожных знаков, что делает данную тему весьма разработанной и перспективной. Однако в научных работах не затрагивается вопрос производительности системы, которая будет заниматься обработкой.

**Объектом исследования** являются фотографии дорожных сцен, содержащие изображения знаков дорожного движения.

**Предмет исследования** – выделение и распознавание знаков дорожного движения на фотографиях дорожных сцен.

**Цель работы** – разработка метода выделения и распознавания знаков дорожного движения.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. реализована искусственная нейронная сеть распознавания дорожных знаков;
2. сформировано обучающее множество и обучена искусственная нейронная сеть распознавания дорожных знаков;
3. разработан алгоритм обнаружения знака на изображении дорожной сцены с использованием краевого сегмента знака дорожного движения;
4. разработана классификация дорожного знака по локализованному изображению;
5. осуществлена оценка качества распознавания дорожных знаков.

**Методы и модели исследования.** Разработанный в диссертационном исследовании теоретико-методический подход, позволяющий определить необходимые показатели, позволяет применить передовые методы глубокого обучения для решения задач распознавания и классификации объектов на изображениях. Сверточные нейронные сети обладают способностью автоматически извлекать признаки из изображений на различных уровнях абстракции, что делает их эффективными для распознавания сложных объектов, таких как дорожные знаки.

Результаты исследования имеют прикладной характер и могут быть использованы при реализации задач создания автоматизированных систем компьютерного зрения, способных улучшить безопасность на дорогах путем распознавания и анализа дорожных знаков на изображениях. Это может применяться в различных сферах, таких как автономные транспортные средства, управление дорожным движением, или при реализации проектов интеллектуальных транспортных систем.

#### **Научная новизна.**

1. Предложен новый метод выделения контуров знаков дорожного движения на основе алгоритма кластеризации изображения.
2. Предложен новый метод разделения знака дорожного движения на фрагменты для распознавания его на основе шаблонов.
3. Предложена новая иерархическая система распознавания знаков дорожного движения.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Показатели оценки результативности системы распознавания дорожных знаков.
2. Система иерархической классификации изображений дорожных знаков.

3. Алгоритм поиска сегмента дорожного знака на локализованном изображении.

4. Методика распознавания формы дорожных знаков с использованием шаблонов.

**Область исследований** соответствует п.4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта» паспорта научной специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

**Достоверность и обоснование выводов и рекомендаций** обеспечивается использованием апробированных научных методов исследования, соответствием порядка проведения исследований вышеперечисленным методом, описанным в научных трудах, достоверностью исходных данных, апробацией при обсуждении результатов на научных конференциях, при выполнении научно-исследовательской работы.

**Апробация и реализация результатов работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались на:

1. Международной научно-технической конференция «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск 2021).

2. VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. (Омск 2022)

**Публикации.** По материалам научной работы получен Патент № 2023618451 «Программа распознавания формы дорожных знаков».

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** раскрывается актуальность темы диссертационной работы, представлены цель и задачи научного исследования, излагается теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, осуществляется выбор объекта исследования и предмета исследования, обосновывается научная новизна работы, формулируются положения, выносимые на защиту диссертационной работы.

**В первой главе** диссертационной работы «Использование алгоритмов сверточной нейронной сети для определения изображений дорожных знаков» проведён анализ теоретических исследований и практического опыта по распознаванию дорожных знаков с помощью различных видов искусственного интеллекта. Проработан терминологический аппарат в области сверточных нейронных сетей.

**Во второй главе** проведен анализ проблем, возникающих при использовании нейросети с целью распознавания дорожных знаков. Рассмотрены решения снижения чувствительности к неконтролируемой окружающей среде при распознавании дорожных знаков, а именно выбран алгоритм сегментации для обнаружения дорожных знаков. Так же разработано дерево классификаторов дорожных знаков на разных уровнях.

Для повышения эффективности классификации изображения дорожных знаков и снижения объема входных данных необходимо провести предварительную обработку изображения. Целью предобработки является получение внешнего контура дорожного знака. Для этого используем тот факт, что все изображения дорожных знаков имеют либо сплошную заливку одним цветом основного фона, либо широкую полосу одного цвета вдоль внешней границы. Алгоритм сегментации позволяет выделить эти элементы дорожного знака. Сегмент дорожного знака, имеющий внешнюю границу, совпадающую с границей знака, будем в дальнейшем называть краевым сегментом. Краевой сегмент используется как на первом уровне иерархии классификации, так и на более низких уровнях.

На первом уровне классификаторов выбираются основные 6 классов дорожных знаков, представленных на рисунке 1.

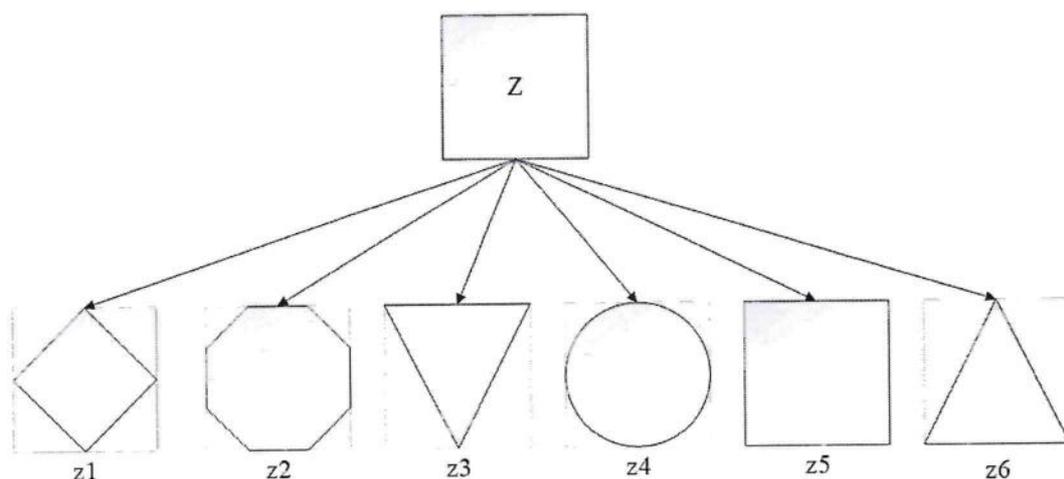


Рисунок 1 – Первый уровень иерархии классификации дорожных знаков

Некоторые классы второго уровня не содержат классификаторы следующего уровня. Классы  $z_2$  и  $z_3$  включают по одному дорожному знаку и представлены на рисунке 2.

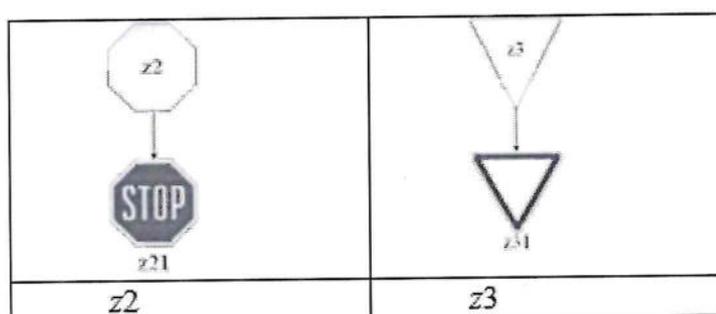


Рисунок 2 – Классы  $z_2$  и  $z_3$ , включающие один дорожный знак

Эти вершины являются листовыми в иерархическом дереве. Если классификатор  $Z$  относит дорожный знак к одному из этих классов, то задача распознавания решена.

Класс  $z_1$  содержит только два дорожных знака и представлен на рисунке 3.

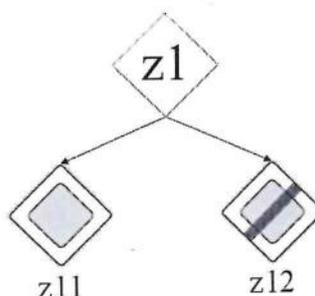


Рисунок 3 – Класс  $z_1$  с двумя дорожными знаками

Идентификация дорожных знаков класса  $z_1$  требует одного дополнительного шага. Распознавание в этом классе также может быть выполнено на основе выделения контура знака.

Класс z4, показанный на рисунке 4, включает пять подклассов.

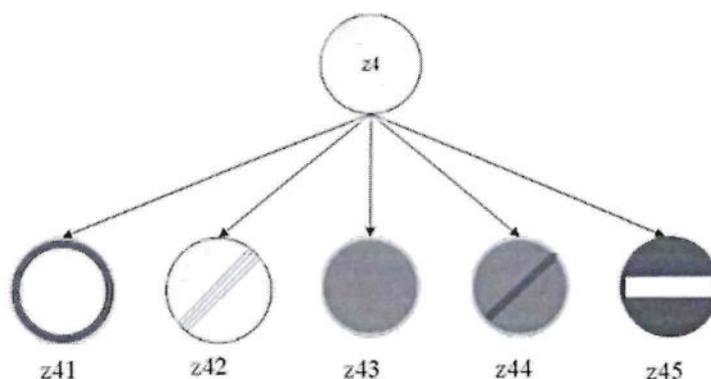


Рисунок 4 – Подклассы класса z4

Подклассы z41 и z45 могут быть отделены от других по красному цвету вдоль контура. Подкласс z45 отличается от подкласса z41 по количеству пикселей красного цвета. Вершина z45 является листовой. Класс z41 включает 32 дорожных знака. Эти знаки имеют различное изображение черного цвета на белом фоне. Если дорожный знак отнесен к этому классу, то задача распознавания решена.

Классы z43 и z44 выделяются наличием пикселей синего цвета. Класс z44 отделяется от класса z43 полосой красного цвета. Класс z43 включает 18 дорожных знаков. Эти дорожные знаки содержат белое изображение на синем фоне.

Класс z42 включает девять дорожных знаков. Семь дорожных знаков в этом классе содержат изображения цифр.

Дополнительный уровень иерархии в классе z4 упрощает задачу классификации. Мы вводим три дополнительных класса представленных рисунке 5.

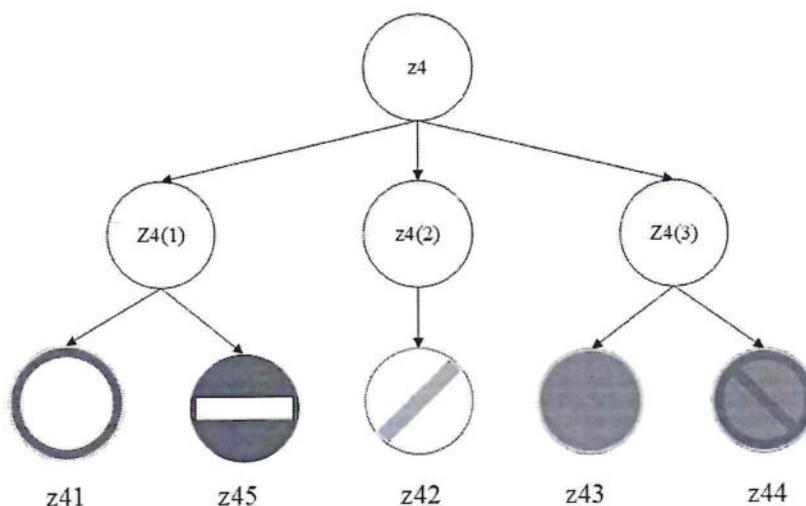


Рисунок 5 – Дополнительный уровень иерархии в классе z4

Класс z4(1) объединяет подклассы z41 и z45. Класс z4(2) включает только подкласс z42. Класс z4(3) объединяет подклассы z43 и z44.

Разбиение класса  $z4(1)$  на два класса  $z41$  и  $z45$  выполняется легко. Площадь краевого сегмента в классе  $z45$  больше площади краевого сегмента в классе  $z41$  более, чем в два раза. Класс  $z45$  является листовым. Если дорожный знак относится к классу  $z45$ , то задача распознавания решена.

Для распознавания дорожных знаков в классе  $z41$  необходимо удалить из изображения краевой сегмент и все изображение вне знака. Внутренняя часть знака представляет собой черно-белое изображение без градаций серого. Операция бинаризации применяется к внутреннему сегменту дорожного знака. Бинарная форма изображения легко сравнивается с эталоном.

Класс  $z5$  включает три подкласса показанных рисунке 6.

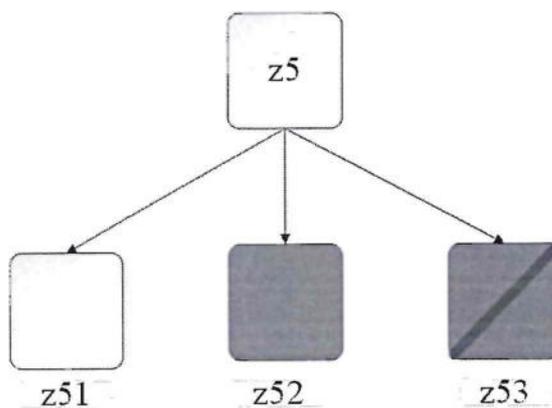


Рисунок 6 – Подклассы класса  $z5$

Главное отличие этих классов состоит в используемых цветах. Подкласс  $z51$  включает 6 дорожных знаков. Эти знаки определяют направление главной дороги. Внутренний сегмент этих классов состоит из линий черного цвета. Подкласс  $z52$  содержит 33 дорожных знака. Подкласс  $z53$  содержит 7 дорожных знаков.

Тип краевого сегмента требует введения дополнительного уровня иерархии для класса  $z5$ . Первый подкласс  $z5(1)$  содержит дорожные знаки с белым краевым сегментом. Второй подкласс  $z5(2)$  включает дорожные знаки с синим краевым сегментом представлен на рисунке 7.

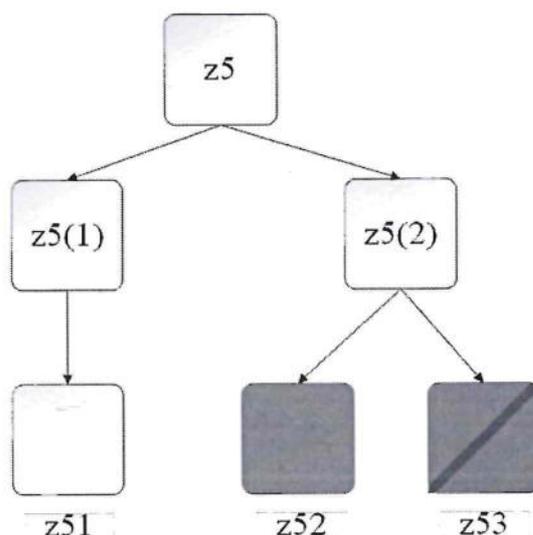


Рисунок 7 – Дополнительный уровень иерархии в классе z5

Отличить один цвет краевого сегмента от другого легко в модели RGB.

Все дорожные знаки класса z6 имеют одинаковую форму и краевой сегмент, представленный на рисунке 8.



Рисунок 8 – Класс z6

Класс z61 включает 42 дорожных знака.

Цвет краевого сегмента в классе z61 не влияет на распознавание дорожного знака. Алгоритм должен определить форму дорожного знака. Краевой сегмент и все внешнее окружение удаляется из изображения. Внутренний сегмент дорожного знака представляет собой черно-белое изображение без градаций серого. Содержимое внутреннего сегмента может быть определено на основе сравнения с шаблоном.

Анализ иерархии изображений дорожных знаков показывает, что распознавание дорожных знаков на основе их сегментации включает пять алгоритмов:

1. алгоритм получения краевого сегмента и определения его цвета (красный, синий, белый);
2. алгоритм определения площади краевого сегмента;

3. алгоритм определения формы дорожного знака по его краевому сегменту;

4. алгоритм получения внутреннего сегмента дорожного знака и его бинаризация;

5. алгоритм идентификации внутреннего изображения дорожного знака.

Такой классификатор позволяет провести классификацию не только первого уровня, но и второго уровня для класса  $z11$  и  $z12$ . Также однозначно до листовых вершин классифицируются знаки  $z2$  и  $z3$ .

**В третьей главе** описан алгоритм поиска краевого сегмента для локализованного дорожного знака. Алгоритм сегментации основан на методе выращивания областей. Зерном алгоритма является один пиксель. Размеры окна локализации дорожного знака равны  $N \times N$  пикселей. Мы выбираем начальный пиксель сегмента в точке с координатами  $p_0 = (N/2, b)$ . Координаты точки определяются от верхнего левого угла. Значение первой координаты основано на симметричности всех дорожных знаков относительно вертикальной оси через их центр. Алгоритм локализации дорожного знака определяет вторую координату  $b$ . Значение этой координаты зависит от точности нахождения границ знака. Эта координата не должна иметь большое значение, иначе выделение узкой красной полосы запрещающих знаков является невозможным.

Каждому изображению может быть сопоставлен неориентированный взвешенный граф. Вершины этого графа – это пиксели изображения.  $V$  – это множество вершин графа. Дуги графа соединяют вершины. Мы рассматриваем полносвязный граф в начале построения алгоритма. Вес дуги определяет разность цветов пикселей изображения, соответствующих вершинам графа. Модель RGB используется для цветового представления пикселей. Пять координат сопоставляется каждому пикселю. Две координаты  $(x, y)$  определяют его положение на изображении. Три координаты  $(r(x, y), g(x, y), b(x, y))$  определяют его цветовые характеристики.  $r(x, y)$  – это интенсивность красного цвета.  $g(x, y)$  – это интенсивность зеленого цвета.  $b(x, y)$  – это интенсивность синего цвета. Вес дуги графа  $d(p, p')$  между вершинами  $p = (x, y, r, g, b)$  и  $p' = (x', y', r', g', b')$  определяем с помощью расстояния между пикселями в пятимерном пространстве.

$$d(p, p') = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \left( \exp(\sqrt{(r - r')^2 + (g - g')^2 + (b - b')^2}) - 1 \right). \quad (1)$$

Расстояние между пикселями увеличивается, если растет расстояние между пикселями или увеличивается различие в их цвете.

Задача сегментации изображения эквивалентна разбиению графа на подграфы. Подграф должен включать вершины, пиксели которых расположены на небольшом расстоянии друг от друга и имеют близкий цвет. Малое расстояние является необходимым для связности сегмента. Близкие цвета обеспечивают выделение краевого сегмента. Краевой сегмент дорожного знака имеет один цвет. Вес дуги должен убывать при удалении от пикселя и при резком

изменении цвета. Вес дуги вычисляется на основе расстояния между пикселями  $p$  и  $p'$ . Если вершине  $v$  соответствует пиксель  $p$ , а вершине  $v'$  соответствует пиксель  $p'$ , то вес дуги между вершинами  $v$  и  $v'$  вычисляется по формуле 2:

$$w(v, v') = \frac{1}{1+d(p, p')}. \quad (2)$$

Эта функция для веса ребра равна 1, если цвета пикселей совпадают. Если пиксели имеют различный цвет, то  $w(v, v') < 1$ . Функция  $w(v, v')$  быстро убывает с ростом расстояния между пикселями. Учет дуг между вершинами с пикселями сильно удаленными друг от друга не нужен. Мы вводим радиус корреляции  $R$ . Эта величина показывает наибольшее геометрическое расстояние между пикселями, вершины которых соединены дугой. Дуги между вершинами, удаленными на изображении больше, чем на  $R$  удаляются из графа. Радиус корреляции определяет количество соседей вершины.

Поиск подграфа с сильно связанными вершинами необходим для выделения сегмента. Мы используем алгоритм выращивания областей. Подграф  $H$  с сильно связанными вершинами является результатом работы алгоритма. Подграф  $H$  включает одну вершину на нулевом шаге алгоритма. Эта вершина  $v_0$  соответствует пикселю  $p_0$ . Алгоритм на каждом этапе вычисляет средний вес дуги подграфа  $H$ .

$$w(H) = \frac{1}{n} \sum_{v, v' \in H} w(v, v'), \quad (3)$$

где  $n$  – это количество вершин в подграфе  $H$ .

Шаг алгоритма сводится к перебору всех вершин, связанных ребром хотя бы с одной вершиной подграфа  $H$ . Если вершина  $v_i$  является кандидатом на включение в подграф  $H$ , то вычисляется суммарная связь этой вершины с вершинами подграфа  $H$ .

$$w_i = \sum_{v \in H} w(v_i, v). \quad (4)$$

Если  $w_i$  не превышает пороговое значение  $w_0(H)$ , то вершина включается в подграф  $H$ . Пороговое значение вычисляется на основе среднего веса дуг графа.

$$w_0(H) = hW. \quad (5)$$

Параметр  $h$  определяется из компьютерного эксперимента. Этот параметр зависит от вида изображений. Алгоритм достигает наилучшие результаты для дорожных знаков при  $h = 0.07$ .

Алгоритм прекращает работу, если ни одна вершина не удовлетворяет условию включения в подграф  $H$ . Трудоемкость алгоритма зависит от количества пикселей изображения по квадратичному закону.  $O(N^4)$ . Краевой сегмент  $S$  состоит из пикселей, соответствующих вершинам подграфа  $H$ .

Внешняя граница краевого сегмента является границей дорожного знака. Алгоритм определения границы краевого сегмента сводится к определению количества соседей для каждого пикселя сегмента  $S$ . Если пиксель сегмента  $S$  имеет меньше восьми соседей из этого сегмента, то он является граничным. Внешняя граница краевого сегмента отделяется от внутренней по геометрическим координатам точек. Граница знака в этом алгоритме имеет толщину равную одному пикселю.

Также в главе описан алгоритм распознавания формы знака дорожного движения с помощью шаблонов. Количество различных шаблонов равно шести: ромб ( $t1$ ), восьмиугольник ( $t2$ ), перевернутый треугольник ( $t3$ ), круг ( $t4$ ), квадрат ( $t5$ ), треугольник ( $t6$ ). Контур знака сопоставляется со всеми шаблонами. Решение о форме знака принимается по наибольшей близости к одному из шаблонов.

Первым шагом к определению формы знака является определение его центра. Все геометрические фигуры знаков дорожного движения обладают центральной симметрией. Для всех фигур знаков дорожного движения центр симметрии совпадает с центром масс. Мы вводим обозначение  $D$  для множества точек контура знака дорожного движения, полученного с помощью алгоритма сегментации. Формулы для центра масс  $(x_c, y_c)$  множества точек одинаковой массы используются при нахождении центра изображения знака дорожного движения.

$$x_c = \frac{1}{M} \sum_{(x_i, y_i) \in D} x_i, y_c = \frac{1}{M} \sum_{(x_i, y_i) \in D} y_i, \quad (6)$$

где  $M$  – это количество точек в множестве  $D$ .

Каждый шаблон  $t_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ) описывается некоторым уравнением.

$$P_j(x, y) = 0. (j = 1, 2, 3, 4, 5, 6). \quad (7)$$

Точки множества  $D$  не удовлетворяют ни одному уравнению шаблона. Отклонение  $e_j$  координат точек множества  $D$  от уравнения шаблона  $P_j(x, y)$  определяет близость фигуры к шаблону  $t_j$ .

$$e_j = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{(x_i, y_i) \in D} (\Delta P_j(x_i, y_i))^2}. (j = 1, 2, 3, 4, 5, 6), \quad (8)$$

где  $\Delta P_j(x_i, y_i)$  – отклонение в расположении точки  $(x_i, y_i)$  от кривой шаблона  $P_j(x, y)$ .

Минимальный  $e_j$  определяет шаблон  $t_j$ , к которому относится знак.

**Шаблон круга ( $t4$ ).** Круглый знак дорожного движения очень редко имеет форму круга на реальном изображении. Съемка под углом превращает круглый знак в эллипс на изображении. Главные оси эллипса могут быть ориентированы

произвольно. Анализ различных изображений знаков дорожного движения показал, что при съемке из автомобиля положение осей эллипса близко к вертикальному и горизонтальному. Мы используем уравнение эллипса для этого случая.

$$P_4(x, y) = \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1. \quad (9)$$

Длины главных полуосей  $a$  и  $b$  эллипса являются ключевой информацией для этого уравнения. Алгоритм определяет наиболее далекую от центра эллипса  $(x_c, y_c)$  точку множества  $D$ . Расстояние от этой точки до центра равно  $b$ . После этого алгоритм наиболее близкую к центру эллипса точку. Расстояние от этой точки до центра равно  $a$ . Подстановка этих значений в формулу дает уравнение шаблона  $t_4$  для эллипса  $P_4(x, y)$ .

Отклонение расположения точек  $(x_i, y_i)$  от шаблона  $\Delta P_4(x_i, y_i)$  вычисляется подстановкой координат точки в уравнение эллипса  $P_4(x, y)$ .

$$\Delta P_4(x_i, y_i) = P_4(x_i, y_i). \quad (10)$$

**Шаблон треугольника ( $t_3, t_6$ ).** Два шаблона для треугольных знаков дорожного движения  $t_3$  и  $t_6$  отличаются взаимным расположением вершин. Две вершины треугольника имеют близкое значение координаты  $y$ . Третья вершина имеет меньшее значение координаты  $y$  для шаблона  $t_6$ . Третья вершина имеет большее значение координаты  $y$  для шаблона  $t_3$ .

Первый шаг алгоритма определяет координаты вершин треугольника  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ . Окно локализации знака дорожного движения разбивается на 6 областей как показано на рисунке 9.

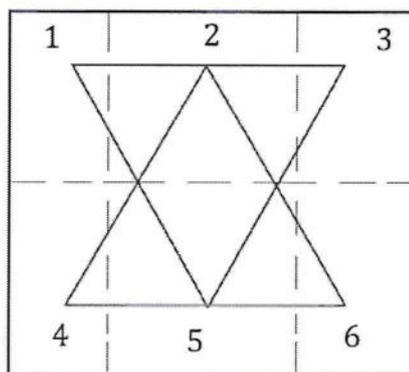


Рисунок 9 – Разбиение окна локализации знака дорожного движения для определения вершин треугольника

Алгоритм определяет точку из множества  $D$  с максимальным удалением от центра контура дорожного знака  $(x_c, y_c)$ . Алгоритм осуществляет поиск в окрестности точки  $(0, 0)$ . Эта точка является первой вершиной треугольника  $(x_1, y_1)$ . Если первая вершина треугольника расположена в области 1, то алгоритм

ищет две другие вершины в областях 3 и 5. Это расположение вершин соответствует шаблону  $t_6$ . Если первая вершина треугольника расположена в области 2, то алгоритм ищет две другие вершины в областях 4 и 6. Это расположение вершин соответствует шаблону  $t_3$ . Точки, наиболее сильно удаленные от центра знака дорожного движения в нужной области, соответствуют вершинам треугольника.

Уравнения сторон треугольника необходимы для вычисления отклонения точек от шаблона. Уравнение прямой записывается через координаты двух вершин, лежащих на этой прямой. Расстояния до этих трех прямых вычисляются для каждой точки  $(x_i, y_i)$  контура  $D$ .

$$d_1(x_i, y_i) = \frac{|(y_1 - y_2)(x_i - x_1) + (y_i - y_1)(x_1 - x_2)|}{\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2}},$$

$$d_2(x_i, y_i) = \frac{|(y_1 - y_3)(x_i - x_1) + (y_i - y_1)(x_1 - x_3)|}{\sqrt{(y_1 - y_3)^2 + (x_1 - x_3)^2}}, \quad (11)$$

$$d_3(x_i, y_i) = \frac{|(y_2 - y_3)(x_i - x_2) + (y_i - y_2)(x_2 - x_3)|}{\sqrt{(y_2 - y_3)^2 + (x_2 - x_3)^2}}.$$

Точку контура надо соотнести с ближайшей стороной треугольного шаблона. Отклонение от шаблона для точки  $(x_i, y_i)$  равно расстоянию до ближайшей стороны шаблона.

$$\Delta P_j(x_i, y_i) = \min(d_1(x_i, y_i), d_2(x_i, y_i), d_3(x_i, y_i)). \quad (j = 3, 6). \quad (12)$$

**Шаблон четырехугольника ( $t_1, t_5$ ).** Два вида четырехугольных шаблонов  $t_1$  и  $t_5$  отличаются друг от друга взаимным расположением вершин. Для ромба  $t_1$  две вершины имеют одинаковые координаты  $y$ . Другие две вершины имеют координату  $y$  больше и меньше этой. Две пары вершин с одинаковой координатой  $y$  есть у квадрата. Первый шаг алгоритма определяет координаты вершин четырехугольника  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$ . Окно локализации знака дорожного движения разбивается на 9 областей. Пример представлен на рисунке 10.

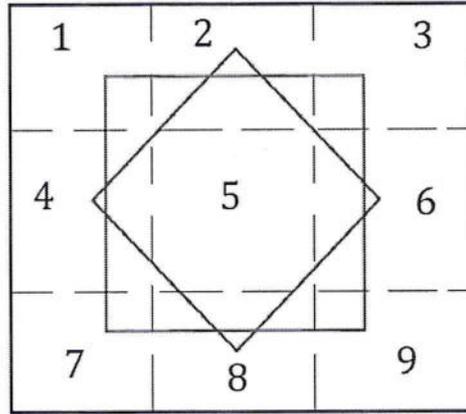


Рисунок 10 – Разбиение окна локализации знака дорожного движения для определения вершин четырехугольника

Алгоритм определяет точку из множества  $D$  с максимальным удалением от центра контура дорожного знака  $(x_c, y_c)$ . Эта точка ищется в окрестности начала координат  $(0,0)$ . Найденная точка является первой вершиной четырехугольника  $(x_1, y_1)$ . Если первая вершина четырехугольника расположена в области 1, то алгоритм ищет три вершины в областях 3, 7 и 9. Это расположение вершин соответствует шаблону  $t_5$ . Если первая вершина четырехугольника расположена в области 2, то алгоритм ищет остальные вершины в областях 4, 6 и 8. Это расположение вершин соответствует шаблону  $t_1$ . Точки, наиболее сильно удаленные от центра знака дорожного движения в нужной области, соответствуют вершинам четырехугольника.

Уравнения сторон четырехугольника используются для вычисления отклонения точек от шаблона. Уравнение прямой записывается через координаты двух вершин, лежащих на этой прямой. Расстояния до этих четырех прямых вычисляются для каждой точки  $(x_i, y_i)$  контура  $D$ .

$$\begin{aligned}
 d_1(x_i, y_i) &= \frac{|(y_1 - y_2)(x_i - x_1) + (y_i - y_1)(x_1 - x_2)|}{\sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2}}, \\
 d_2(x_i, y_i) &= \frac{|(y_1 - y_4)(x_i - x_1) + (y_i - y_1)(x_1 - x_4)|}{\sqrt{(y_1 - y_4)^2 + (x_1 - x_4)^2}}, \\
 d_3(x_i, y_i) &= \frac{|(y_2 - y_3)(x_i - x_2) + (y_i - y_2)(x_2 - x_3)|}{\sqrt{(y_2 - y_3)^2 + (x_2 - x_3)^2}}, \\
 d_4(x_i, y_i) &= \frac{|(y_3 - y_4)(x_i - x_3) + (y_i - y_3)(x_3 - x_4)|}{\sqrt{(y_3 - y_4)^2 + (x_3 - x_4)^2}}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Точку контура надо соотнести с ближайшей стороной четырехугольного шаблона. Отклонение от шаблона для точки  $(x_i, y_i)$  равно расстоянию до ближайшей стороны шаблона.

$$\Delta P_j(x_i, y_i) = \min(d_1(x_i, y_i), d_2(x_i, y_i), d_3(x_i, y_i), d_4(x_i, y_i)). (j = 1,5) \quad (14)$$

**Шаблон восьмиугольника ( $t_1$ ).** Создание адаптивного шаблона восьмиугольника является наиболее трудной задачей. Окно локализации знака дорожного движения разбивается на восемь областей как показано на рисунке 11.

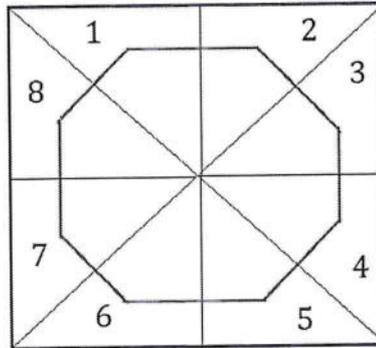


Рисунок 11 – Разбиение окна локализации знака дорожного движения для определения вершин восьмиугольника.

Алгоритм ищет наиболее удаленные от центра  $(x_c, y_c)$  точки контура. Эти точки являются вершинами восьмиугольника  $(x_k, y_k)$  ( $k = 1, \dots, 8$ ).

Уравнения сторон восьмиугольника также записываются через координаты вершин. Расстояния до сторон восьмиугольника вычисляются для каждой точки  $(x_i, y_i)$  контура  $D$ .

$$d_k(x_i, y_i) = \frac{|(y_k - y_l)(x_i - x_k) + (y_l - y_k)(x_k - x_l)|}{\sqrt{(y_k - y_l)^2 + (x_k - x_l)^2}}, \quad (15)$$

где  $l = k \pmod{8} + 1, k = 1, \dots, 8$ .

Точку контура надо соотнести с ближайшей стороной восьмиугольного шаблона. Отклонение от шаблона для точки  $(x_i, y_i)$  равно расстоянию до ближайшей стороны шаблона.

$$\Delta P_2(x_i, y_i) = \min_k(d_k(x_i, y_i)). (k = 1 \dots 8) \quad (16)$$

В главе описывается процесс распознавания внутреннего изображения. выполняем два преобразования знака дорожного движения для распознавания внутреннего изображения. Первое преобразование удаляет краевой сегмент и все изображение в окне локализации. Результатом этой операции является внутреннее изображение дорожного знака. Второе преобразование масштабирует внутреннее изображение до размеров шаблона. Коэффициент масштабирования равен среднему расстоянию между вершинами контура знака к размеру шаблона.

Например, для треугольного знака коэффициент масштабирования  $k$  вычисляется на основе длины стороны шаблона  $r$ .

$$k = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3r},$$

$$a_1 = \sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2},$$

$$a_2 = \sqrt{(y_1 - y_3)^2 + (x_1 - x_3)^2},$$

$$a_3 = \sqrt{(y_3 - y_2)^2 + (x_3 - x_2)^2},$$
(17)

где  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$  – координаты вершин адаптивного шаблона при распознавании формы знака.

Используем обозначение  $S$  для множества точек внутреннего изображения знака дорожного движения после масштабирования. Стандартные внутренние изображения знаков дорожного движения являются двухцветными. Черная картинка на белом фоне изображена на большинстве знаков дорожного движения. Отдельные изображения имеют белую картинку на синем фоне. Алгоритм выполняет бинаризацию  $S$  для устранения лишних деталей изображения. Пороговая схема преобразует множество  $S$  в матрицу  $B$ . Бинаризованное изображение имеет размеры  $m \times m$ . Размер матрицы  $B$  выбирается так, чтобы он был минимальным и весь знак дорожного движения помещался в него.

Шаблоны внутренних изображений знаков дорожного движения  $T(l)$  представляют собой квадратные матрицы размером  $m \times m$ .  $l$  – это номер шаблона. Шаблоны  $T(l)$  – это бинарные матрицы. Матрицы  $T(l)$  сформированы на основе эталонных изображений знаков дорожного движения. Расстояние Хэмминга применяется для сопоставления внутреннего изображения знака дорожного движения  $B$  и шаблона  $T(l)$ .

$$b_l = \sum_{i,j=1}^n |B_{ij} - T_{ij}^{(l)}|. \quad (18)$$

Алгоритм проводит сравнение внутреннего изображения со всеми возможными шаблонами. Внутреннее изображение знака дорожного движения соответствует шаблону  $T(l)$ , если  $b_l$  имеет минимальное значение. Примеры работы алгоритма по выделению краевого сегмента и внутреннего изображения представлены на рисунке 12.

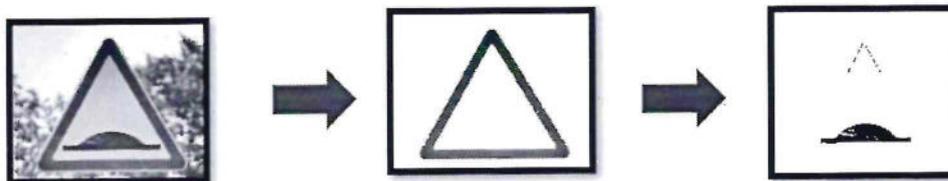


Рисунок 12 – Выделение краевого сегмента и внутреннего изображения

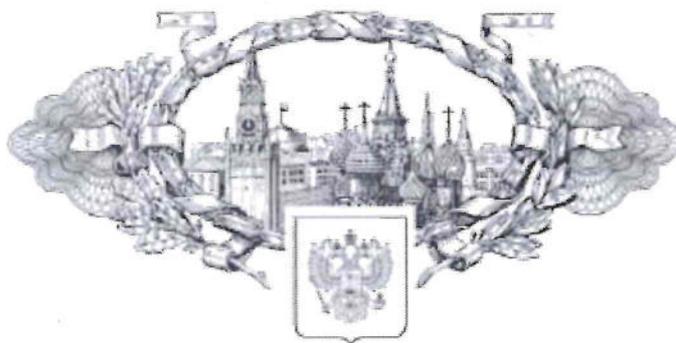
## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Разработана иерархическая система для распознавания дорожных знаков на основе сегментации изображений.
2. Разработан алгоритм сегментации изображений на методе выращивания областей.
3. Проведены эксперименты по распознаванию форм дорожных знаков с помощью деформируемых шаблонов по контурам.
4. Разработана программа по распознаванию форм дорожных знаков.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. Belim S.V., Khiryaynov E.V., Kvashnina P.A., Ostrinskaya L.I. IMAGE PROCESSING FOR AUTOMATIC ROAD INVENTORY. В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 15. Сер. "XV International Scientific and Technical Conference: Applied Mechanics and Systems Dynamics, AMSD 2021" 2022. С. 012015.
2. Хирьянов Е.В. Использование алгоритмов сверхточной нейронной сети для определения изображений дорожных знаков. В сборнике: Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Омск, 2022. С. 427-430.
3. Belim S.V., Belim S.Yu., Khiryaynov E.V. HIERARCHICAL SYSTEM FOR RECOGNITION OF TRAFFIC SIGNS BASED ON SEGMENTATION OF THEIR IMAGES. Information (Switzerland). 2023. Т. 14. № 6. С. 335.
4. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023619899, 17.05.2023. Заявка № 2023618451 от 02.05.2023 «Программа распознавания формы дорожных знаков».
- 5.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023619899

**Программа распознавания формы дорожных знаков**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)" (RU)*

Авторы: *Хирьянов Евгений Викторович (RU), Белим Сергей Викторович (RU)*

Заявка № 2023618451

Дата поступления 02 мая 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 17 мая 2023 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью  
Сертификат 68c89379 | 4-00024468241485c7  
Идентификатор Юридический  
Действителен с 28.05.2022 по 28.05.2023

Ю.С. Зубов