

**РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ*****Буйвол П.А., Жданова О.А., Тихонов Д.П.****Набережночелнинский институт ФГАОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет,**423812, г. Набережные Челны, пр. Суюмбике, д.10а.**e-mail: skyeyes@mail.ru**поступила в редакцию 30 октября 2013 года***Аннотация**

В работе приведены существующие методы и алгоритмы для распознавания дорожных знаков. Описан алгоритм, использующий сегментацию изображения с вычислением морфометрических признаков и нейросетевой классификатор, а также основанное на нем приложение, способное решать задачу распознавания дорожных знаков. Представлены результаты экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** интеллектуальный автомобиль, распознавание объектов, обработка изображений, нейросетевой классификатор.

**Введение.** Одной из серьезнейших проблем настоящего времени в Российской Федерации является рост аварийности и увеличение числа дорожно-транспортных происшествий, которые уносят жизни сотен тысяч людей. Такие тенденции сохраняются на протяжении последних лет, даже, несмотря на принимаемые меры по обеспечению безопасности на транспорте. Учитывая, что во многих ситуациях решающим является так называемый «человеческий фактор», когда водитель не успевает среагировать на внезапное появление пешехода или препятствия на дороге, не замечает предупреждающий знак, то один из способов решения проблемы видится в интеллектуализации процесса управления автомобилем. В связи с этим разработка алгоритмов распознавания объектов на дороге и их реализация в виде информационной системы являются актуальными задачами.

В дальнейшем, такие системы распознавания объектов могут быть установлены на так называемых E-Car'ах, интеллектуальных автомобилях, которые способны перевозить пассажиров без водителя [1]. Рано или поздно автомобили будут оборудованы интеллектуальными системами и смогут взять на себя управление передвижением. А их современное технологическое оснащение лишь подтверждает, что эпоха «умных» машин уже началась и быстро набирает обороты. Интеллектуальный автомобиль в настоящее время уже представляется неотъемлемой частью интеллектуальной транспортной системы. В июне 2005 года прошла конференция Европейской комиссии «i2010: European Information Society 2010 for growth and employment» [2], на которой была озвучена «Инициатива интеллектуального автомобиля» для обеспечения умного, безопасного и чистого транспорта. Информационные и коммуникационные технологии, встроенные в интеллектуальные транспортные средства, обеспечат новые решения ключевых транспортных проблем, таких как: обновление информации о состоянии улично-дорожной сети, помощь водителю в предотвращении аварийных ситуаций, избежание заторов и оптимизация маршрута передвижения. Это предполагает комплексный подход, при котором происходит взаимодействие автомобиля, водителя и дорожной инфраструктуры, а бортовая система дополняется коммуникационными технологиями – V2V (автомобиль – автомобиль), V2I (автомобиль – инфраструктура).

Концептуальное решение систем поддержки вождения (DSS – Driver Support System или DAS – Driver Assistance Systems) было описано Nagel Н.-Н. [3]. Работа над проектами по разработке технологий для интеллектуальных автомобилей сейчас стоит на повестке дня во многих центрах автомобильных исследований, университетах и международных

ассоциациях. Однако говорить о полноценном «беспилотном» управлении автомобилем пока рано.

**Основная часть.** Задачами информационной системы интеллектуального автомобиля является распознавание и своевременное предоставление информации о следующих объектах на дороге:

- прерывистые или сплошные разделительные полосы дорожного полотна справа и слева от полосы движения – для контроля направления движения;
- транспортные средства на соседних полосах – должны обнаруживаться и отслеживаться для оценки окружающего пространства на наличие потенциальных угроз при смене полосы или обгоне транспортных средств;
- перекрестки дорог;
- дорожная разметка, дорожные знаки и светофоры;
- транспортные средства и другие стационарные или движущиеся препятствия – для выбора подходящего способа объезда;
- расстояние до впереди идущего транспортного средства – должно быть оценено для возможного экстренного торможения;
- пешеходы, велосипедисты или животные на дороге – для предотвращения столкновения;
- дорожные указатели – в целях уточнения рекомендаций навигационных устройств.

Для детектирования объектов применяются методы, использующие аппаратуру, работающую на прием определенного вида сигнала (инфракрасные сенсоры, микроволновые и лазерные радары, ультразвуковые датчики, системы видеодетектирования), а также программное обеспечение для обработки поступающей информации.

Однако, нельзя полностью полагаться на данные первых четырех устройств, ввиду существенных недостатков. Так, инфракрасные сенсоры, определяющие присутствие объекта, его скорость и тип транспортного средства на основании излучаемой энергии в зоне детектирования даже в темноте (что является особенно ценным), являются непригодными к суровым климатическим условиям. На ультразвуковые датчики (где используются звуковые волны и звуковая энергия) оказывают значительное влияние температурные режимы и явления турбулентности [4]. Некоторые объекты (меховые и гладкие наклонные поверхности) не могут быть обнаружены ультразвуковым датчиком в силу физических принципов работы [5]. Лазерные радары (лидары), использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах, не работают в плохих погодных условиях [6]. Микроволновые радары, которые позволяют определять скорость движущихся объектов на основании способности электромагнитных волн проникать в оптически непрозрачные среды и частично отражаться от любых неоднородностей на пути распространения, не способны находить статические или близко расположенные друг к другу объекты [7].

Основное ограничение видеодетекторов [8-9] – влияние визуальных условий съемки (освещение, сезонные изменения фона) на качество поиска объектов. Однако, с точки зрения практического использования, они являются наиболее перспективными, поскольку в сравнении с вышеперечисленными аппаратными решениями имеют более низкую стоимость, меньшую сложность внедрения и сопровождения, больший срок службы.

### **Структура системы распознавания**

Общая схема решения задачи обнаружения и распознавания объектов следующая:

1. извлечение кадра из потока видеоданных, перевод изображения в массив;
2. предобработка полученного статического изображения – кадра, в частности преобразование яркости и пространственная фильтрация, восстановление изображения (для изображений плохого качества), сжатие изображения (для повышения быстродействия);
3. поиск положения объекта на изображении и оценка степени достоверности нахождения объекта в данной области;

## 4. анализ результатов поиска.

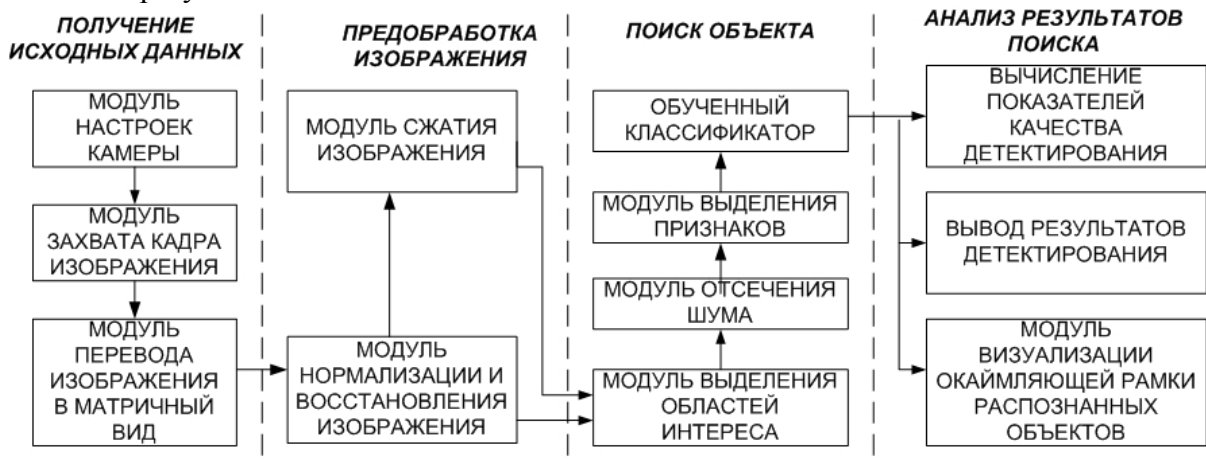


Рисунок 1. – Структура информационной системы распознавания объектов.

**Распознавание дорожных знаков**

Для первоначального выделения области интереса на основе представлений о форме объекта исследователями используются различные методы: стабильный метод оценки параметров модели на основе случайных выборок (RANSAC) [10], обобщенные преобразования Хафа [11], метод опорных векторов (SVM) [12]. Вторая группа методов использует извлечение таких признаков как вейвлеты Хаара [14], гистограмма ориентированных градиентов (HOG) [15]. Для построения классификатора выбираются нейронные сети [10,16,17], SVM [12], корреляционная функция [13], классификатор Adaboost [14], рандомизированный решающий лес (Random Forest) [15], классификатор на основе линейного дискриминантного анализа [18]. Во многих алгоритмах распознавания так или иначе применялась цветовая предобработка изображения [10-15]. Однако сопоставить результаты исследований в области распознавания знаков трудно, поскольку все алгоритмы апробировались на разных тестовых наборах. Кроме того, некоторые исследователи концентрировались только на определенных подклассах знаков (например, на ограничении по скорости). В сравнении с другими методами распознавания изображений нейронные сети имеют ряд преимуществ: высокий процент распознавания объектов, низкий процент ложного распознавания. Среди недостатков можно выделить необходимость обучения сети под каждый тип задач, вычислительно большой этап обучения.

В основе разработанного алгоритма лежит идея стандартизации внешнего вида и формы дорожного знака, регламентированного ГОСТ Р 52289-2004 и ГОСТ Р 52290-2004. Алгоритм распознавания состоит из следующей последовательности действий:

1. извлечение изображения с веб-камеры стационарного компьютера (также возможна загрузка изображения из файла);
2. бинаризация;
3. сегментация;
4. вычисление морфометрических признаков по полученным сегментам;
5. поворот сегментов;
6. сжатие в матрицу заданного размера шаблона;
7. распознавание матрицы нейросетевым классификатором.

Поскольку для получения изображения используется веб-камера с VGA разрешением, основным недостатком которых является наличие нежелательного шума, рекомендуется использовать линейные и медианные фильтры в качестве методов шумоподавления, как одни из самых простых, но в то же время надёжных и быстро реализуемых.

Основная цель сегментации изображения – поиск непрерывных частей во всём рисунке, захваченном с камеры. Из этих частей создаются объекты, которые изучаются на предмет сходства с имеющимися моделями дорожных знаков.

Выбранный метод для поиска непрерывных частей основан на преобразовании входного цветного изображения в бинарную структуру [13] согласно формуле:

$$f(p_{(x,y)}) = \begin{cases} 0, & \text{если } R_{(x,y)}, G_{(x,y)}, B_{(x,y)} \geq h \\ 1, & \text{если } R_{(x,y)}, G_{(x,y)}, B_{(x,y)} < h \end{cases} \quad (1),$$

где  $p$  – пиксель,  $h$  – цветовой порог,  $R, G, B$  – цветовые компоненты.

После этого осуществляется разметка связных областей путем присвоения меток на основе последовательного сканирования изображения сверху вниз, слева направо и рекурсивного поиска родителей метки [19].

Для того, чтобы полученные образы распознавались инвариантно относительно положения и поворота, необходимо привязаться к их структуре. Для этого вычисляются морфометрические признаки образа: площадь, центр масс, ориентация [20]. После этого, при необходимости, следует повернуть образ относительно центра масс, так, чтобы его ориентация была параллельна оси  $X$ . Таким образом, алгоритм распознавания становится инвариантным относительно возможного начального поворота дорожного знака, связанного с ошибками при его установке или деформацией во время эксплуатации.

Для возможности сравнения с некоторым заданным образцом, размер объектов, выделенных после сегментации, необходимо пересчитать в соответствии с выбранной матрицей.

В качестве классификатора для построения модели используется нейронная сеть обратного распространения ошибки, где первый слой в 1024 нейрона – это входная матрица образа  $32 \times 32$ , скрытый слой содержит 128 элементов, выходной слой – 30 согласно выбранному количеству заученных образцов дорожных знаков. В качестве функции активации выбрана бинарная сигмоидальная функция. Хотя обучение такой сети занимает довольно продолжительное время (56 минут), идентификация на основе полученных весов происходит быстро. Найденные во время обучения веса связей сохраняются в текстовый файл и используются в дальнейшем при распознавании объектов.

На основе представленного алгоритма было реализовано приложение в среде Borland Delphi 7 с использованием модулей для быстрого доступа к пикселям изображения Qpixels и библиотеки компонентов для реализации нейронных сетей NeuralBase. Системные требования разработанного приложения: объем места на жестком диске 4 Мб, частота процессора и объем оперативной памяти для получения заявленной скорости распознавания не ниже используемых при тестировании, веб-камера с VGA разрешением  $352 \times 288$  пикселей. Конфигурация системы, на которой проводилось тестирование: ОС Windows 7, процессор Intel Core 2 Duo 2,2 ГГц, ОЗУ 3 Гб.



Рисунок 2. – Интерфейс окна обучения и распознавания дорожных знаков с результатами работы.

В разработанном приложении пользователю доступна настройка размера матрицы образов, параметров веб-камеры (рабочее разрешение, число кадров в секунду, яркость, контрастность) и нейронной сети (скорость обучения, момент, альфа, количество эпох). Бинарные матрицы образов обучающей выборки и веса связей сохраняются в текстовых файлах. По результатам работы программы, область распознанного дорожного знака обозначается на изображении окаймляющей прямоугольной рамкой, а в соответствующем поле выводится его название.

Практическая проверка разработанного программного обеспечения, выполненная на 40 дорожных знаках, показала следующие результаты: на изображениях при ясной погоде распознаны 26 знаков из 30, в дождь или туман – 2 знака из 5, при слабом освещении ночью – 1 из 5. Не было зафиксировано ложных срабатываний системы. Не обнаружены дорожные знаки, отменяющие одностороннее движение, запрещающие повороты, регламентирующие встречный разъезд. Установлено, что расположение знака на фоне деревьев и плакатных щитов является трудным случаем для распознавания. При выбранном разрешении камеры на стационарном компьютере приложение способно обрабатывать 11-16 изображений в секунду в зависимости от сложности фона и количества дорожных знаков, содержащихся на нем. Поскольку эффективность полученного приложения по быстродействию и точности распознавания уступает программным продуктам, установленным на автомобилях BMW 3-й серии и Opel Insignia (процент верных срабатываний 90% и 75% соответственно при любых погодных условиях и времени суток в режиме реального времени [21]), необходимо улучшение его характеристик и проведение дальнейших исследований.

**Заключение.** Приведены существующие методы и алгоритмы для распознавания дорожных знаков. Описан алгоритм, использующий сегментацию с вычислением морфометрических признаков, а также нейронную сеть, и основанное на нем приложение, способное решать задачу распознавания дорожных знаков; представлены результаты экспериментальных исследований. Дальнейшее направление исследования видится в повышении точности распознавания (в частности путем повышения контрастности изображения, введения дополнительных нелинейных пространственных фильтров, использования морфологических методов размыкания и смыкания, преобразования «верх шляпы» в связке с сегментацией) и быстродействия (за счет распараллеливания процессов вычислений и оптимизации кода, а также рассмотрение возможности использования разреженной просеивающей нейронной сети вместо классической).

**Благодарность.** Авторы выражают признательность рецензенту, замечания которого помогли существенно улучшить первоначальный вариант статьи. Работа выполнена в рамках «Программы развития деятельности студенческих объединений КФУ на 2012-2013 гг.» (0613/06.13.02292).

#### Список литературы

- 1) Интернет-ресурс: Интеллектуальный автомобиль. <http://rfcmd.ru/pub/2724> (Дата обращения: 11.01.2013).
- 2) Интернет-ресурс: The i2010 Intelligent Car Initiative. [http://ec.europa.eu/information\\_society/activities/intelligentcar/i2010/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/information_society/activities/intelligentcar/i2010/index_en.htm) (Дата обращения: 01.03.2013).
- 3) Интернет-ресурс: Nagel H. - H. Computer Vision for Support of Road Vehicle Drivers, Institut fur Algorithmen und Kognitive Systeme, Fakultat fur Informatik der Universitat Karlsruhe. <http://euler.fd.cvut.cz/research/rs2/files/automotive.html> (Дата обращения: 06.03.2013).
- 4) Золотых Н.Ю., Кустикова В.Д., Мееров И.Б. Обзор методов поиска и сопровождения транспортных средств на потоке видеоданных // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. 2012. Т.5(2).С.348-356.
- 5) Интернет-ресурс: Ультразвуковой и электромагнитный датчики. <http://parkinghelp.by/index.php/pd1> (Дата обращения: 26.03.2013).

- 6) Hasan Md. Nazmul, Didar-Al-Alam S.M, Huq Sikder Rezwanul Intelligent Car Control for a Smart Car // International Journal of Computer Applications. 2011. V.14. P.15-19.
- 7) Интернет-ресурс: International Road Dynamics Inc. [http://www.irdinc.com/products/sensors\\_accessories/on\\_road\\_sensors/](http://www.irdinc.com/products/sensors_accessories/on_road_sensors/) (Дата обращения: 07.03.2013).
- 8) Интернет-ресурс: Система обнаружения пешеходов. [http://systemsauto.ru/active/pedestrian\\_detection.html](http://systemsauto.ru/active/pedestrian_detection.html) (Дата обращения: 7.03.2013).
- 9) Интернет-ресурс: Официальный сайт компании Mobileye. <http://www.mobileye.com/> (Дата обращения: 06.03.2013).
- 10) Eichner M., Breckon T. Integrated speed limit detection and recognition from real-time video // IEEE International Intelligent Vehicles Symposium. 2008. P.626-631.
- 11) Moutarde F., Bargeton A., Herbin A, Chanussot L. Robust on-vehicle real-time visual detection of American and European speed limit signs, with a modular Traffic Signs Recognition system // Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2007. P.1122-1126.
- 12) Maldonado Bascorn, S., Acevedo Rodriguez J., Lafuente Arroyo S., Caballero A., Lopez-Ferreras F. An optimization on pictogram identification for the road-sign recognition task using SVMs // Computer Vision and Image Understanding. 2010. V.114(3). P.373-383.
- 13) Srovnal V.Jr., Machacek Z., Hercik R., Slaby R., Srovnal V. Intelligent Car Control and Recognition Embedded System // Computer Science and Information Technology (IMCSIT), Proceedings of the 2010 International Multiconference on Computer Science and Information Technology. 2010. P.831-836.
- 14) Bahlmann C., Zhu Y., Ramesh V., Pellkofer M., Koehler T. A system for traffic sign detection, tracking, and recognition using color, shape, and motion information // In Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2005. P.255-260.
- 15) Zaklouta F., Stanculescu B., Hamdoun O. Traffic sign classification using k-d trees and random forests // In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks. 2011. P.2151-2155.
- 16) Sermanet P., LeCun Y. Traffic sign recognition with multi-scale convolutional networks // In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks. 2011. P.2809-2813.
- 17) Ciresan D.C., Meier U., Masci J., Schmidhuber J. A committee of neural networks for traffic sign classification // In Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks. 2011. P.1918-1921.
- 18) Stallkamp J., Schlipsing M., Salmen J., Igel C. Man vs. computer: Benchmarking machine learning algorithms for traffic sign recognition // Neural Networks. 2012. V.32. P.323-332.
- 19) Интернет-ресурс: Распознавание образов мобильным роботом. <http://www.ampersant.ru/glaz/> (Дата обращения: 10.09.2013).
- 20) Интернет-ресурс: Список функций Image Processing Toolbox: Поиск объектов и вычисление их признаков. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book3/14/imfeature.php> (Дата обращения: 11.09.2013).
- 21) Интернет-ресурс: Милешкин К., Сачков М. Проверяем системы распознавания знаков в деле // За рулем. 2012. Т.6. [http://www.zr.ru/content/articles/444117-proverajem\\_sistemy\\_raspoznavanija\\_znakov\\_v\\_dele/](http://www.zr.ru/content/articles/444117-proverajem_sistemy_raspoznavanija_znakov_v_dele/) (Дата обращения: 21.09.2013).