

РАСПОЗНАВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОГО ГПУ

П.Ю. Якимов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет) (СГАУ), Самара, Россия

В статье предлагается эффективная реализация алгоритма для обнаружения дорожных знаков в видео, полученного с помощью камеры, установленной в автомобиле. Обнаружение и классификация дорожных знаков реализованы с использованием CUDA и работают в режиме реального времени на мобильном графическом процессоре. Скорость автомобиля используется для прогнозирования положения дорожных знаков в соседних кадрах в видеопоследовательности. Экспериментальные результаты подтвердили высокую эффективность разработанной системы обнаружения дорожных знаков.

Ключевые слова: обнаружение дорожных знаков, отслеживание дорожных знаков, обработка изображений, система компьютерного зрения, мобильные графические процессоры

Введение

В последние 10 лет задача обнаружения дорожных знаков решалась многими учеными в разных странах [1], [2], [3]. Актуальность данной задачи обусловлена вопросами безопасности дорожного движения, и первые исследования появились более 30 лет назад. Однако, мощность вычислительного оборудования в то время не позволяла осуществлять обработку кадров в удовлетворительное время. К тому же, цифровые камеры не позволяли получать изображения достаточного размера.

Развитие технического уровня современных мобильных процессоров позволило многим автопроизводителям установить системы технического зрения в серийные автомобили. Среди прочих задач, которые решают такие системы, решается также и задача распознавания дорожных знаков. Однако, основными проблемами таких систем является низкая точность обнаружения, а также невозможность некоторых систем распознавать российский дорожные знаки.

Настоящая статья описывает сквозную технологию детектирования и распознавания дорожных знаков в реальном времени. Созданная система также использует скорость, получаемую от транспортного средства. Это позволяет прогнозировать не только присутствие объекта, но также масштаб и его точные координаты на соседнем кадре. Таким образом, точность обнаружения повышается, в то время как вычислительная сложность остается прежней.

Чтобы обеспечить водителя актуальной информацией о дорожном знаке, система должна распознать локализованный объект. На самом деле, распознавание объекта небольшого размера не вызывает каких-либо трудностей, так как все возможные варианты изображений дорожных знаков известны заранее. Также в случае успешной процедуры локализации становятся известны точные координаты дорожного знака. Таким образом, на этапе классификации используется простой алгоритм сопоставления локализованного изображения с шаблоном. Данный алгоритм показывает хорошие результаты в сочетании с этапом локализации.

Для обучения и тестирования алгоритмов была использована база данных дорожных знаков GTSDDB [4]. На рис. 1 приведены изображения для обучения алгоритмов распознавания дорожных знаков и для тестирования алгоритмов локализации.



Рис. 1. Изображения из немецкой базы данных дорожных знаков

1. Локализация дорожных знаков

Обнаружение дорожных знаков, как правило, выполняется в два этапа: локализация знака и последующая классификация. Большинство из методов обнаружения используют один кадр из видеопоследовательности для обнаружения объекта. Это означает, что они не используют дополнительную информацию о наличии знака в соседних кадрах. Такие подходы обычно сталкиваются с проблемой эксплуатации в режиме реального времени и с точностью обнаружения. С другой стороны, в ряде работ описываются алгоритмы отслеживания, которые пытаются предсказать расположение знаков в последовательности изображений.

В работе [5] авторы показывают, что совмещение обнаружения и отслеживания повышает надежность системы в целом за счет уменьшения количества ложных обнаружений. В статье [6] показано, что отслеживание помогает выполнять обнаружение быстрее. Тем не менее, указанные алгоритмы имеют большую вычислительную сложность и не могут быть использованы в режиме реального времени. В статье [7] был представлен алгоритм обнаружения дорожных знаков в видеопоследовательности при помощи информации о текущей скорости автомобиля, что позволило точно указать область изображения, в которой отслеживаемый дорожный знак появится на следующем кадре.

Разработанная технология обнаружения и различения дорожных знаков состоит из трех этапов: подготовка изображения, локализация дорожного знака и его классификация.

В процессе подготовки изображения цветовое пространство HSV используется для извлечения из изображения красных и синих пикселей. Из-за ошибок матрицы видеокамеры или небольших цветных объектов на изображениях после применения порогового фильтра возникает точечный шум. Для устранения этого точечного шума применяется алгоритм, описанный в работе [7]. В работе [8] показана эффективная реализация алгоритма удаления шума на массивно-многопоточной архитектуре CUDA. Ускорение при использовании графических процессоров достигло 60–80 раз по сравнению с работой на обычном центральном процессоре. Размер кадра в видеопоследовательности 1920x1080 пикселей. Время выполнения обработки изображений на центральном процессоре 0,7-1 сек. Использование CUDA на базе NVIDIA GeForce 335M сократило вре-

мя выполнения до 7–10 мс, что удовлетворяет требованиям обработки видео в режиме реального времени.

В статье [8] рассматриваются алгоритмы обнаружения и отслеживания дорожных знаков. Метод локализации, являющийся модификацией обобщенного преобразования Хафа, разрабатывался с учетом ограничения по времени выполнения обработки одного кадра видеопоследовательности. Разработанный алгоритм показывает эффективные результаты и хорошо работает с предварительно обработанными изображениями. Отслеживание с использованием значения текущей скорости автомобиля позволило улучшить производительность системы, так как область поиска на соседних кадрах может быть значительно уменьшена. Кроме того, наличие знака в последовательности смежных кадров в предсказанных областях значительно повышает уверенность в правильности обнаружения. Классификация локализованных дорожных знаков гарантирует, что вся процедура обнаружения дорожных знаков успешно.

2. Распознавание дорожных знаков

На этапе различения дорожных знаков алгоритм классификации использует специально подготовленные эталонные бинарные изображения, которые являются внутренними областями дорожных знаков. На рис. 2 изображены несколько таких шаблонов



Рис. 2. Шаблоны для алгоритма классификации

Для распознавания знака используется простое вычитание двух изображений и выбор пары с наименьшим значением, которое будет указывать на наибольшую близость эталона. В случае больших значений, алгоритм выдаст сообщение о ложном обнаружении, так как ни одно из эталонных изображений не похоже на локализованную область. А это обозначает, что скорее всего найденная область не содержит дорожный знак.

Время выполнения такого различения в среднем 1-2 мс с использованием 32 типов эталонных изображений. Под типом изображения подразумевается уникальное изображение одного дорожного знака. Эталонных изображений каждого типа может быть неограниченное количество. Так, например, в настоящей реализации данного метода было использовано по 5 изображений каждого типа, то есть всего 160 эталонных изображений.

3. Результаты экспериментов

Для того, чтобы оценить точность алгоритма обнаружения, была использована немецкая база данных аннотированных изображений, содержащих дорожные знаки [9]. Она содержит более 50 000 изображений с дорожными знаками, зарегистрированными в различных условиях. Для оценки качества обнаружения было посчитано количество изображений с правильно локализованными и классифицированными дорожными знаками. При тестировании разработанных алгоритмов использовались только 9987 изоб-

ражений, содержащих дорожные знаки требуемой формы и с красными контурами. Эксперименты показали 97,3% правильно локализованных и классифицированных запрещающих и предупреждающих дорожных знаков. В таблице 1 представлены результаты точности и быстродействия работы алгоритмов из [9] и метода, описанного в настоящей статье.

Табл. 1. Показатели точности и быстродействия алгоритмов обнаружения и различения дорожных знаков

Алгоритм	Точность	Время обработки, кадров в секунду
Обработка скользящим окном + метод опорных векторов	100 %	1
Модифицированный метод ОПХ с предобработкой	97,3 %	43
Модифицированный метод ОПХ без предобработки	89,3 %	25
Метод Виолы-Джонса	90,81 %	15
Метод гистограмм ориентированных градиентов (HOG)	70,33 %	20

Точность всех алгоритмов, указанных в таблице, была получена с использованием аннотированной базы данных изображений GTSDb [9]. Алгоритм обработки скользящим окном [10] демонстрирует наилучший результат по точности обнаружения дорожных знаков – 100 %. Однако, наилучшим результатом по скорости работы является разработанный модифицированный метод ОПХ. Модификация обобщенного преобразования Хафа была также протестирована при отсутствии предобработки и показала не только меньшую точность обнаружения, но и почти вдвое худший результат по скорости обработки одного кадра.

Модифицированный метод ОПХ был реализован при помощи технологии CUDA. Таблица 2 показывает результаты по производительности. Для замера производительности был использован мобильный процессор Nvidia Tegra K1, который содержит 192 графических ядра для вычислений на технологии CUDA и 4 ядра CPU архитектуры ARM.

Табл. 2. Производительность разработанного алгоритма

	Время, мс	Кадров / с
1. CPU, 1920x1080	441	2,27
2. CPU, 1280x720	237	4,22
3. GPU, 1920x1080	33	30,07
4. GPU, 1280x720	23	44,09

В таблице видно, что с применением CUDA удалось достичь реального времени на мобильном ГПУ.

На рисунках представлены обнаруженные дорожные знаки на немецкой базе данных (рис. 3) и на кадрах, снятых в Самаре при помощи камеры GoPro (рис. 4).



Рис. 3. Обнаруженные дорожные знаки

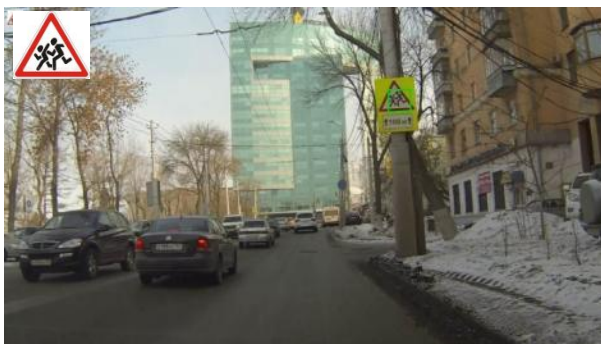


Рис. 4. Обнаруженные и распознанные дорожные знаки

Заключение

В статье описывается сквозная технология детектирования и распознавания дорожных знаков. Метод локализации, являющийся модификацией обобщенного преобразования Хафа, разрабатывался с учетом ограничения по времени выполнения обработки одного кадра видеопоследовательности. Разработанный алгоритм показывает эффективные результаты и хорошо работает с предварительно обработанными изображениями. Отслеживание с использованием значения текущей скорости автомобиля позволило улучшить производительность системы, так как область поиска на соседних кадрах может быть значительно уменьшена. Кроме того, наличие знака в последовательности смежных кадров в предсказанных областях значительно повышает уверенность в правильности обнаружения. Классификация локализованных дорожных знаков гарантирует, что вся процедура обнаружения дорожных знаков успешно.

Тестирование описанных алгоритмов на видеопоследовательностях, полученных при съёмке реальных дорожных знаков, подтвердило возможность обрабатывать видеопоток высокого разрешения в реальном времени. Дальность обнаружения дорожных знаков при использовании FullHD видекамеры достигает 50 м. Для получения численной оценки точности обнаружения и различения дорожных знаков в видеопотоке необходимо создать аннотированную базу данных с локализованными и классифицированными дорожными знаками в ручном режиме.

Для ускорения выполнения описанных методов были использованы графические процессоры и технология массивно-многопоточного программирования CUDA.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-37-60106 мол_а_дк и 16-37-00362 мол_а.

Литература

1. Shneier, M. Road sign detection and recognition // Proc. IEEE Computer Society Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2005 – P. 215–222.
2. Ruta, A. A New Approach for In-Vehicle Camera Traffic Sign Detection and Recognition / A. Ruta, F. Porikli, Y. Li, S. Watanabe, H. Kage, K. Sumi // IAPR Conference on Machine vision Applications (MVA), Session 15: Machine Vision for Transportation. – 2005.
3. Belaroussi, R. Road Sign Detection in Images / R. Belaroussi, P. Foucher, J.P. Tarel, B. Soheilian, P. Charbonnier, N. Paparoditis // A Case Study, 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). – 2010. – P. 484-488.
4. Houben, S. Detection of Traffic Signs in Real-World Images: The German Traffic Sign Detection Benchmark / S. Houben, J. Stallkamp, J. Salmen, M. Schlipsing, C. Igel // International Joint Conference on Neural Networks. – 2013.
5. Lafuente-Arroyo, S. Road sign tracking with a predictive filter solution / S. Lafuente-Arroyo, S. Maldonado-Bascon, P. Gil-Jimenez, H. Gomez-Moreno, F. Lopez-Ferreras // IEEE 32nd Annual Conference on Industrial Electronics. – 2006. – P. 3314-3319.
6. Lopez, L. Color-based road sign detection and tracking. Image Analysis and Recognition / L. Lopez, O. Fuentes // Lecture Notes in Computer Science. – Springer. – 2007. – P. 1138-1147.
7. Якимов, П.Ю. Предварительная обработка цифровых изображений в системах локализации и распознавания дорожных знаков // Компьютерная оптика. – 2013. – Том 37. - № 3. – С. 401-405.
8. Фурсов, В.А. Локализация контуров объектов на изображениях при вариациях масштаба с использованием преобразования Хафа / С.А. Бибиков, В.А. Фурсов, П.Ю. Якимов // Компьютерная оптика. – 2013. – Т. 37, № 4. – С. 502-508.
9. Якимов, П.Ю. Отслеживание дорожных знаков в видеопоследовательности с использованием скорости автомобиля / П.Ю. Якимов // Компьютерная оптика. – 2015. – Т. 39, № 5. – С. 795-800
10. Mathias, M. Traffic sign recognition - how far are we from the solution? / M. Mathias, R. Timofte, R. Benenson, L. V. Gool // Proceedings of IEEE International Joint Conference on Neural Networks. – 2013. – P. 1-8. – ISSN 2161-4393.