

Детектирование четырехугольников в задаче распознавания дорожных знаков

Виталий Сергеевич Балдеев

Национальный исследовательский университет "МИЭТ" (НИУ МИЭТ)

г. Москва, Российская Федерация

E-Mail: vsbaldeev@mail.ru

На сегодняшний день задача детектирования дорожных знаков довольно актуальна. Многие современные автомобили уже умеют распознавать знаки ограничения скорости, также существуют проекты по разработке полностью автономных автомобилей, которые тоже решают проблему детектирования дорожных знаков. В данной статье рассматривается задача поиска четырехугольников на изображении с целью дальнейшего детектирования прямоугольных дорожных знаков с текстом. Для обнаружения четырехугольников предлагается искать все отрезки, присутствующие на изображении, с помощью алгоритма LSD. Далее для отрезков необходимо составить граф, ребра в котором будут отвечать за смежность, а циклы из четырех вершин будут соответствовать обнаруженным четырехугольникам. По результатам тестирования предложенный алгоритм находит 74% прямоугольных дорожных знаков на выборке из 501 изображения.

Ключевые слова: детектирование дорожных знаков, обнаружение четырехугольников, компьютерное зрение

Detection of quadrangles in traffic sign recognition problem

Vitaly Baldeev

National Research University of Electronic Technology

Moscow, Russia Federation

Nowadays the problem of traffic sign detection methods is quite actual. A large number of modern cars have already learnt how to recognize speed limit signs. There are also some projects on developing totally autonomous vehicles, which also can solve the problem of traffic sign detection. This article is about the problem of searching quadrangles in the image in order to detect the rectangular road signs with the text. It is suggested for detecting the quadrangles to look for all the segments that are present in the image, with the help of LSD algorithm. Then it is necessary to make a graph for segments, in which all the edges will be responsible for the adjacency and the cycles of four vertices will correspond with the detected quadrangles. According to the test results, the proposed algorithm is able to find 74% of rectangular road signs on a sample of 501 images.

The key words: traffic sign detection quadrangle detection, computer vision

Введение

Задача автоматического распознавания дорожных знаков на изображении приобретает все большую актуальность. На сегодняшний день существуют проекты по разработке автономных автомобилей, такие как Google Self-Driving Car Project, AutoNOMOS Labs, а также различные системы помощи водителю. Одно из ключевых требований к подобным системам — это распознавание дорожных знаков.

Важным частным случаем является распознавание информационно-указательных знаков и знаков дополнительной информации. Сложность такой задачи состоит в том, что предварительно знак необходимо обнаружить на изображении, а для данного типа размер и соотношение сторон не фиксирован и зависит от количества присутствующей информации. Например, такой знак может содержать несколько строк текста, одну длинную строку и даже небольшую схему дороги.

В задаче детектирования предполагается, что лицевая сторона дорожного знака ориентирована примерно в сторону камеры, т.е. прямоугольник знака подвергается ограниченному перспективному искажению, а стороны такого прямоугольника имеют определенный угол наклона: для нижней и верхней — от 0° до 45° , для левой и правой — от 45° до 90° . Такие стороны назовем горизонтальными и вертикальными, соответственно. Поскольку детектирование четырехугольника знака является лишь первым этапом, к нему в первую очередь предъявляется требование минимизации пропуска присутствующих в кадре знаков, в то время как ложные срабатывания не представляют столь серьезной проблемы, т.к. они могут быть отсеены на последующих этапах обработки.

На сегодняшний день существует много методов детектирования дорожных знаков. В [6] для поиска знаков, имеющих форму правильного многоугольника, используется преобразование Хафа, в котором голосование проводится за возможный центр многоугольника. Хорошие результаты показывают методы машинного обучения. В [7] используется подход, похожий на тот, что использовался для детектирования пешеходов в [2], а именно — HOG + SVM. Помимо градиента в качестве признаков изображения авторы используют несколько фильтров Габора и каналы изображения в цветовом пространстве LUV. Такой подход носит название — Integral channel features [4]. В результате авторам удалось достичь 90% точности детектирования.

Описанные выше методы ориентированы на конкретный тип дорожных знаков. Они имеют один и тот же цвет и размер, что очень удобно для методов машинного обучения. Однако, для решаемой задачи требуются методы, работающие независимо от размера объекта и, позволяющие находить произвольные выпуклые четырехугольники на изображении.

В данной статье, для поиска четырёхугольников, предлагается использовать подход, предложенный в [1], но с некоторыми изменениями. В указанной статье предлагается построить граф для обнаруженных отрезков и искать четырёхугольники как всевозможные циклы из 4-х вершин в этом графе. В данной же статье, с учетом ограничений на угол наклона сторон дорожного знака, предлагается искать те циклы, которые содержат ровно два вертикальных и два горизонтальных отрезка. Таким образом, результатом работы алгоритма станут не всевозможные четырёхугольники, а лишь те, что удовлетворяют заданному условию.

Поиск четырёхугольников

Задачу поиска четырёхугольников предлагается решать при следующих ограничениях:

- знаки не имеют повреждений и деформаций,
- не закрыты посторонними объектами,
- верхняя и нижняя стороны имеют угол наклона менее 45° , а левая и правая — более.

Далее, предлагается разбить его на составные части и находить его как совокупность четырёх отрезков.

Поиск отрезков

Для поиска отрезков можно использовать алгоритм line segment detector (LSD) [5]. Он обладает достаточной точностью для исследуемой задачи, а также отличается хорошей скоростью работы, т.к. имеет линейную сложность относительно количества пикселей изображения. Ещё одним плюсом является общедоступная реализация в библиотеке OpenCV. Результат работы такого алгоритма можно видеть на рисунке Рисунок.



а

б

Рисунок 1: Пример работы алгоритма поиска отрезков: а) оригинальное изображение, б) обнаруженные отрезки

Поиск замкнутых областей

Теперь необходимо найти наборы из четырёх отрезков, составляющих четырёхугольник. Количество всевозможных вариантов равно $C_N^4 = \frac{N!}{(N-4)!4!} = \frac{N(N-1)(N-2)(N-3)}{4!}$, где N — количество отрезков. Таким образом, простой перебор даёт сложность алгоритма $O(N^4)$, что неприемлемо. Учитывая ограничения, которые были наложены на задачу, предлагается разделить все отрезки на вертикальные и горизонтальные. Матрицу смежности вертикальных и горизонтальных отрезков A_S размерами $N_h \cdot N_v$, где N_h — количество горизонтальных отрезков и N_v — количество вертикальных отрезков, необходимо заполнить следующим образом:

- если i -ый горизонтальный и j -ый вертикальный отрезок смежны, то точка пересечения добавляется в массив угловых точек C , а ячейке $A_S(i, j)$ присваивается индекс этой точки,
- иначе $A_S(i, j) = 0$.

Два отрезка называются смежными, если расстояние от точки пересечения прямых, на которых они лежат, до концов отрезков меньше, чем их длина, умноженная на положительный параметр α . Чем больше этот параметр, тем больше отрезков будут считаться смежными и тем больше четырёхугольников обнаружится на изображении.

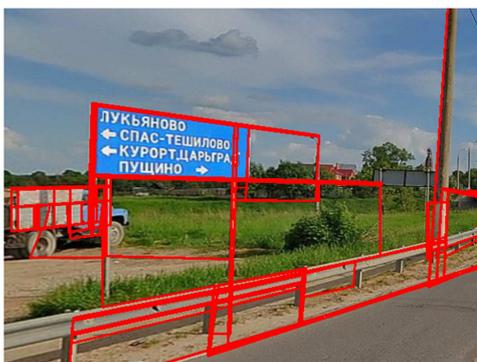
Если в матрице A_S найдутся четыре ненулевых элемента с индексами $(i, j), (i, j + Dj), (i + Di, j), (i + Di, j + Dj)$, то соответствующие точки $C(A_S(i, j)), \dots, C(A_S(i + Di, j + Dj))$ являются точками четырёхугольника.

При таком подходе предполагается, что контур знака не имеет разрывов. В противном случае необходимо определять какие отрезки лежат на одной прямой. На рисунке Рисунок приведён пример работы алгоритма.

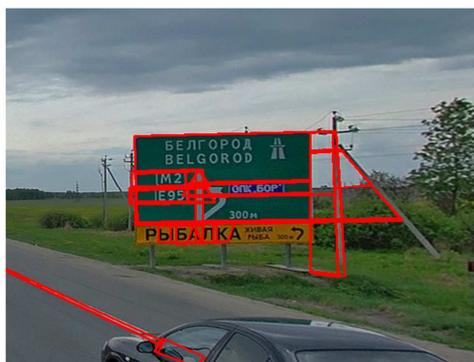
Результаты

Тестирование алгоритма

Для оценки качества алгоритма предлагается свести задачу детектирования к задаче бинарной классификации точек изображения, т.е. оценить точность классификации пикселей, принадлежащих дорожному знаку. Если вычислять точность как отношение количества правильно классифицированных пикселей к общему числу пикселей, то предложенный алгоритм будет работать всегда с высокой точностью. Например, если классифицировать все



а



б

Рисунок 2: Пример детектирования четырёхугольников, четырёхугольники обозначены красным цветом

пиксели как фоновые, то алгоритм будет ошибаться редко, т.к. площадь знака мала по сравнению с площадью фона, а значит даст высокую точность. Проблема возникает из-за того, что выборка пикселей сильно не сбалансирована. В таких случаях для измерения качества классификации предлагается использовать F -метрику [3]. Если ввести следующие обозначения:

- tp — количество верных срабатываний в области, знака (true positive),
- fp — количество неверных срабатываний в области знака (false positive),
- fn — количество неверных срабатываний в области фона (false negative),
- $p = \frac{tp}{tp+fp}$ — точность (precision),
- $r = \frac{tp}{tp+fn}$ — полнота (recall),

то F -метрику можно определить следующим образом $F = \frac{2pr}{p+r}$.

Тестовая выборка

Для тестирования метода детектирования четырёхугольников использовалась выборка из 501 изображения, каждое из которых имеет разрешение 1800×690 . Каждому изображению с дорожным знаком соответствует такое же бинарное, где пиксели принимают значение 255 для области знака и 0 в противном случае. Фрагменты таких изображений приведены на рисунке Рисунок.

Так как интерес представляет качество детектирования дорожных знаков, то из всех четырёхугольников предлагается выбирать тот, что даёт максимальное значение F -метрики. Соответствующая гистограмма приведена на рисунке Рисунок а. Она показывает количество дорожных знаков, которые обнаружены с той или иной точностью, измеряемой с помощью F -метрики. Большое количество дорожных знаков (386 из 521) обнаружено с хорошей

точностью. Значение F-метрики для них превышает 0,9 при максимуме 1,0. На рисунке Рисунок б можно видеть гистограмму, отражающую количество детектируемых четырёхугольников на изображении. Для большинства изображений обнаружилось до 1000 четырёхугольников.



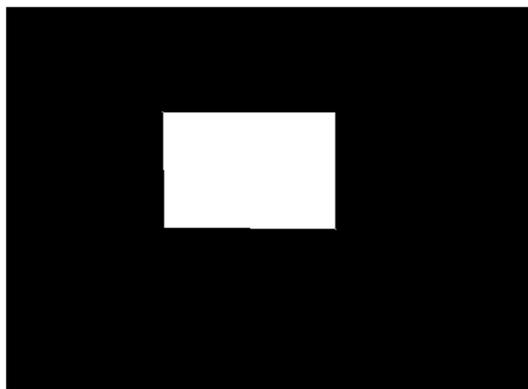
а



б

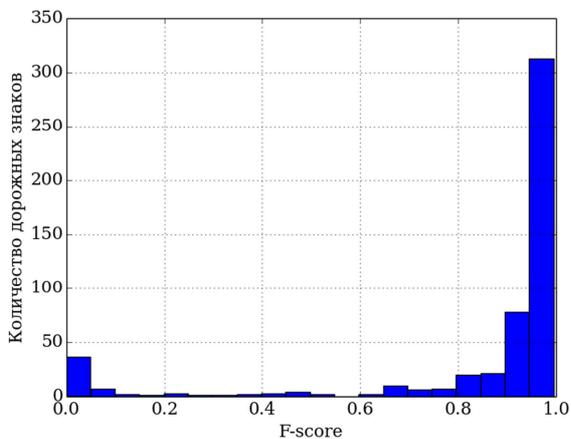


в

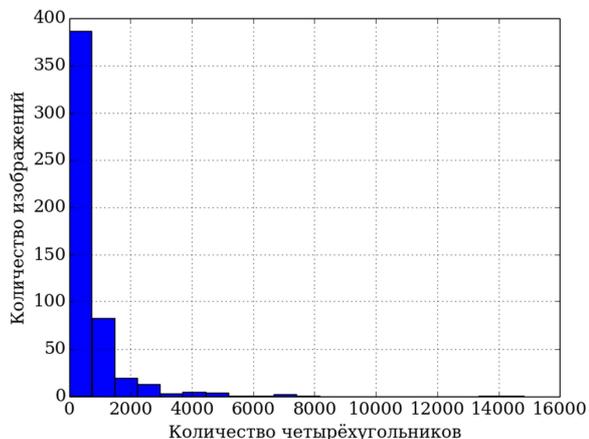


г

Рисунок 3: Пример изображений из размеченной выборки: а), б) изображения с дорожными знаками, в), г) их разметки



а



б

Рисунок 4: Гистограммы распределения а) значений F-метрики, б) количества обнаруженных четырёхугольников



а



б



в



г



д



е



ж



з

Рисунок 5: Примеры поиска четырёхугольных знаков : а), б) $F = 0.965, 0.989$, в), г) $F = 0.678, 0.765$, д), е) $F = 0.643, 0.811$, ж), з) $F = 0, 0$

На рисунке Рисунок приведены примеры детектирования четырёхугольных знаков, где красной рамкой обведена та область изображения, которая считается дорожным знаком. Значения F -метрики достаточно точно отображают ситуацию: значение близко к единице при точном детектировании меньше, если знак обнаружен частично или же знак найден вместе с фоновой областью.

Заключение

В данной статье был предложен способ детектирования информационных дорожных знаков, как четырехугольников на цветном изображении. В основу метода легло предположение о том, что форма знака подвержена ограниченному перспективным искажениям. Также данный подход можно распространить на треугольные знаки и восьмиугольный знак STOP.

Для тестирования предложенного алгоритма была собрана и размечена выборка из 501 изображения, а для измерения качества алгоритма была выбрана F - метрика. В результате проведения эксперимента на 74% изображений было обнаружено не более 1000 четырёхугольников, в числе которых присутствует искомый дорожный знак.

Дальнейшие исследования могут включать в себя отсеивание дорожных знаков по внутреннему содержанию четырехугольников методами машинного обучения.

Список литературы

- [1] Zhukovsky Alexander E., Arlazarov Vladimir V., Postnikov Vasiliy V., Krivtsov Valeriy E. Segments graph-based approach for smartphone document capture.
- [2] Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection // Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. CVPR 2005. IEEE Computer Society Conference on.

— Vol. 1. — 2005. — June. — P. 886–893 vol. 1.

- [3] Flach Peter. Machine Learning: The Art and Science of Algorithms That Make Sense of Data. — New York, NY, USA : Cambridge University Press, 2012. — ISBN: 1107422221,9781107422223.
- [4] Integral Channel Features / Piotr Dollar, Zhuowen Tu, Pietro Perona, Serge Belongie // Proc. BMVC. — 2009. — P. 91.1–91.11. — doi:10.5244/C.23.91.
- [5] LSD: a Line Segment Detector / Rafael Grompone von Gioi, J'ér'emie Jakubowicz, J.-M. Morel, Gregory Randall // Image Processing Online. — 2012. — mar. — URL: <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2012/GJMR12>.
- [6] Loy G., Barnes N. Fast shape-based road sign detection for a driver assistance system // Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on. — Vol. 1. — 2004. — Sept. — P. 70–75 vol.1.
- [7] Traffic sign recognition; How far are we from the solution? / M. Mathias, R. Timofte, R. Benenson, L. Van Gool // Neural Networks (IJCNN), The 2013 International Joint Conference on. — 2013. — Aug. — P. 1–8