

ЛОКАЛИЗАЦИЯ КОНТУРОВ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ ВАРИАЦИЯХ МАСШТАБА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА

Фурсов В.А., Бибииков С.А., Якимов П.Ю.

Институт систем обработки изображений РАН,
Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Аннотация

Рассматривается задача локализации объектов на изображениях в ситуациях, когда масштаб искомого объекта на изображении несколько отличается от масштаба эталонного изображения объекта. Используется свойство преобразования Хафа формировать в аккумуляторном пространстве отклик в виде прямых линий, соответствующих участкам прямых линий контура объекта. Приводятся результаты исследования формирования в аккумуляторном пространстве откликов для некоторых простейших геометрических фигур. Рассматривается основанная на указанных свойствах технология локализации предупреждающих дорожных знаков в системе анализа дорожной ситуации.

Ключевые слова: локализация объектов на изображениях, масштаб изображения, обработка изображений, преобразование Хафа.

Введение

Для детектирования и распознавания объектов на изображениях широко используются процедуры голосования в накопительном пространстве (accumulator space), основанные на вычислении трансформации Хафа [1]. Например, в простейшей задаче обнаружения прямых в аккумуляторном пространстве непосредственно формируются значения параметров аналитического описания искомой прямой [2], [3]. Обобщённое преобразование Хафа [4] позволяет также решать задачу детектирования объектов произвольной формы, не имеющих аналитического описания. В наиболее простом, в вычислительном отношении, варианте обобщённого преобразования Хафа предполагается, что форма объекта задана в виде эталонного изображения контура фиксированного масштаба. Вместе с тем в задачах технического зрения регистрация объектов (например, ориентиров, указателей и др.) обычно осуществляется при некоторых вариациях параметров движения носителя блока регистрации, вследствие чего масштабы объектов на кадрах изображений имеют некоторые различия. Поэтому представляет интерес исследование возможности применения обычных, достаточно простых в вычислительном отношении процедур детектирования объектов, применяемых в случае фиксированного масштаба изображения, в ситуации, когда масштабы регистрируемых объектов имеют вариации относительно эталонного изображения.

Постановка задачи

Пусть $\tilde{C}(x, y)$ – некоторый контур, а $\tilde{C}_s(x, y)$ – контур, отличающийся от него параметром масштаба m так, что

$$\tilde{C}(x, y) = m \cdot \tilde{C}_s(x, y), \quad (1)$$

где x, y – пространственные координаты точек контура на плоскости.

Обозначим $C(x_i, y_i)$, $C_s(x_i, y_i)$ – соответствующие дискретные представления этих контуров, полученные с использованием известных процедур, например, фильтра Канни [5] и др. Заметим, если дискретные контурные препараты связать соотношением масштаба (1), то точки (пиксели), принадлежащие контурам $C(x_i, y_i)$ и $m C_s(x_i, y_i)$, не обязаны совпадать. Поэтому здесь и далее, где речь идёт о совпадении контуров или их участков, на самом деле подразумевается совпадение некоторого относительного, определяемого заданным порогом множества точек (пикселей).

В соответствии со сказанным при сопоставлении дискретных компьютерных представлений контуров будем принимать в расчёт только те совпадающие точки, которые присутствуют на обоих контурных препаратах (бинарных изображениях). При совпадении точек в процессе формирования изображений в аккумуляторном пространстве соответствующий отсчёт количественно будем характеризовать числом единиц, равным числу совпавших отсчётов [6], [7].

В настоящей работе рассматривается случай построения процедуры локализации, инвариантной к сдвигу, т.е. предполагается, что ориентация исходных контуров C и C_s на плоскости одинакова и известна. В этом случае аккумуляторное пространство может формироваться непосредственно из точек эталонного контура при последовательном совмещении с точками контурного препарата исследуемого изображения точки, принятой в качестве «центра» эталонного контура. При этом используется эталонное изображение контурного препарата, повернутое на угол 180° .

Каждая точка исследуемого контурного препарата при этом голосует за множество точек, составляющих эталонный контур. Точкам в аккумуляторном пространстве, за которые проголосовало большее количество точек исследуемого препарата, при визуализации будут соответствовать более яркие участки. Очевидно, что при совпадении масштабов анализируемой

и эталонной фигуры максимум отклика в аккумуляторном пространстве будет в точке, выбранной в качестве «центра» фигуры. Далее будем называть эту точку «точкой максимума отклика», даже в случае различающихся масштабов, когда в действительности в этой точке отклик не является максимальным. Например, в случае, когда эталонный контур меньше исследуемого, в точку максимума отклика не попадёт ни одной точки эталонного дискретного препарата контура.

Основные вопросы, исследованию которых посвящена настоящая работа, сводятся к следующим (для краткости далее употребляется термин «контур», имея в виду дискретный контурный препарат):

- Возможно ли для указанного выше способа заполнения аккумуляторного пространства формирование в аккумуляторном пространстве множества точек, обеспечивающего возможность детектирования и распознавания объекта на изображении при различных масштабах текущего и эталонного контура объекта?
- Зависят ли характеристики аккумулятора, имеющие значение для качества детектирования объектов, от параметра масштаба и формы контура?

Для ответа на эти вопросы рассмотрим более детально общую схему формирования множества точек аккумуляторного пространства при различных масштабах контура произвольной формы и фиксированной ориентации.

Анализ формирования откликов в аккумуляторном пространстве

Для того чтобы ответить на указанные выше вопросы, рассмотрим схему формирования отсчётов в аккумуляторном пространстве для фигуры произвольной формы. Для этого будем использовать модель последовательного формирования отклика путём обхода анализируемого (текущего) контура с шагом в один пиксел, при этом точку на рассматриваемом шаге обхода будем называть *текущей*. В рамках этой модели для каждой текущей точки будем также рассматривать соответствующую ей точку на эталонном контуре, ближайшую к прямой, проведённой через текущую точку и точку максимума отклика. В случае, когда масштабы текущего и эталонного изображений совпадают, а их дискретные контурные препараты получены одним и тем же алгоритмом и содержат по N совпадающих отсчётов, каждая соответствующая точка эталонного изображения будет лежать на этой прямой и совпадать с точкой максимума отклика. При обходе всех точек текущего контура в точке максимума отклика произойдёт наложение N точек.

Пусть теперь масштабы этих контуров различаются и текущий контур C представляется набором N точек, а контур эталонного изображения C_s – набором M точек. При обходе всех точек текущего контура M точек эталонного контура в окрестности точки максимума отклика образуют некий контур, размеры которого определяются различиями в масштабах. Например, если

масштабы различаются на величину, равную расстоянию между соседними пикселями, все точки (за исключением некоторого числа, определяемого выбранным порогом для критерия близости) сосредоточатся в четырёх, ближайших к точке максимума отклика. Таким образом, в аккумуляторном пространстве на некотором расстоянии от точки максимума отклика, зависящем от разницы масштабов, будет формироваться отклик в виде некоторого контура. Сходство этого контура (в указанном ранее смысле) с текущим контуром будет тем больше, чем сильнее различаются масштабы текущего и эталонного контуров.

Примем теперь в рассмотрение две точки: произвольную точку на текущем контуре и соответствующую ей точку эталонного контура. Для каждой из этих двух точек будем рассматривать также две соседние точки. Все возможные шесть вариантов взаимного расположения рассматриваемой точки и двух её соседних точек показаны на рис. 1.

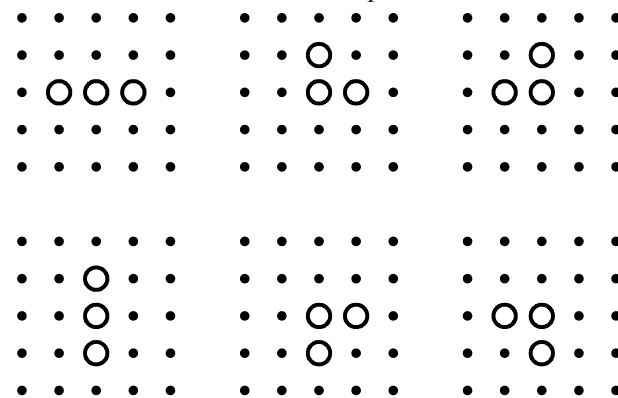


Рис. 1. Варианты взаимного расположения соседних точек эталонного контура

Конкретный вариант на текущем контуре определяет возможные направления перехода. Нетрудно заметить, что при переходе из текущего в соседний пиксел возможно четыре направления перехода: «вверх», «вниз» и «влево», «вправо». Переход в соседнюю точку на текущем контуре влечёт за собой переход в соседнюю точку на эталонном контуре (соответствующая точка на эталонном контуре может остаться той же). В зависимости от направления перехода и варианта взаимного расположения соседних точек соответствующей точки на эталонном контуре в аккумуляторном пространстве возможно наложение откликов в одной или двух точках.

Для шести вариантов взаимного расположения соседних точек общее число возможных переходов в аккумуляторном пространстве составит 24. При этом только в четырёх случаях (при расположении соседних точек вертикально или горизонтально) не будет наложения точек, что составляет $4/24=1/6$ долю всех случаев перехода, а для N переходов доля таких случаев составит $N/6$.

Нетрудно заметить, что наложение наибольшего числа точек в аккумуляторном пространстве происходит, когда соседние точки располагаются на одной прямой, а переход происходит в направлении, совпа-

дающем с этой прямой. Формируемый при этом в аккумуляторном пространстве отклик будет тем заметнее, чем больше длина такого участка на эталонном контуре. Таким образом, в точках контура, образованного в окрестности точки максимума отклика M точками эталонного контура (а возможно, и в некоторой окрестности этого контура), в аккумуляторном пространстве произойдёт дополнительное наложение точек, число которых зависит от формы контура, в частности, от длины прямолинейных участков.

Выясним теперь, чем различаются отклики в случаях, когда масштабы эталонного контура меньше и больше масштаба текущего контура. Рассмотрим вначале случай, когда масштаб контура эталонного изображения S_s меньше текущего контурного изображения S . Ясно, что в этом случае в точку максимума отклика не попадёт ни одной точки. При этом если масштабы различаются незначительно, отклик будет представлять собой некоторое «кольцо», охватывающее точку максимума отклика. По мере уменьшения масштаба эталонного контура граница области отклика будет соответственно удаляться от точки максимума отклика, а форма этой границы будет приближаться к форме исследуемого контура. Сказанное иллюстрируется на рис. 2в. Отсутствие точек в окрестности точки максимума отклика аккумуляторного пространства выполняется только для выпуклых контуров. Подчеркнём, что признаком того, что масштаб эталонного контура меньше масштаба текущего контура в данном случае является перевёрнутое изображение искомого контура.

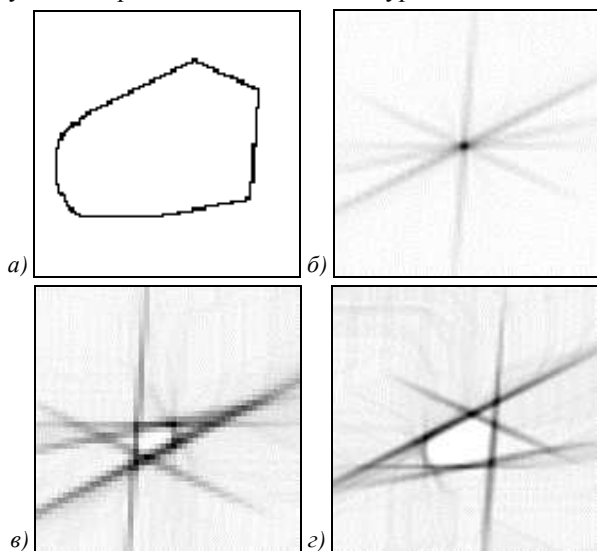


Рис. 2. Результаты поиска контура на изображении: искомый контур (а);

изображения аккумуляторного пространства для случаев: совпадения размеров (б), эталон меньше искомого изображения (в); размер эталона больше (г)

В случае, когда масштаб эталонного контура больше масштаба текущего изображения, контур будет ориентирован аналогично искомому. При этом наибольшее число точек по-прежнему будет попадать на границу, определяемую масштабом эталонного

контура. При достаточно больших различиях в масштабах форма границы также будет близка к форме искомого контура, однако в отличие от предыдущего случая в непосредственной близости от точки максимума отклика и в самой этой точке всегда будет присутствовать некоторое число точек отклика. Описанный случай иллюстрируется рис. 2г.

Таким образом, по форме и характеру распределения яркости отклика в аккумуляторном пространстве при вариациях масштаба возможно распознавание объекта и определение величины изменения масштаба эталонного контура по сравнению с детектируемым. Надёжность решения этих задач зависит от числа совпавших точек в аккумуляторном пространстве, которые формируют наиболее яркие участки контуров.

Поскольку число и характер распределения совпавших точек зависит от формы контура объекта, представляется интересным проведение сравнительных экспериментальных исследований свойств аккумуляторных изображений для простейших типов фигур.

Примеры формирования откликов простейших фигур

В настоящем разделе приводятся модельные примеры детектирования трёх типов простейших фигур: треугольника, квадрата и круга. Эталонные и текущие изображения представляются в виде контурных препаратов, полученных путём предварительной обработки с использованием алгоритма Канни. В эксперименте используется инвариантная к сдвигу процедура обнаружения фигур, описанная в постановке задачи.

Использовались 3 типа показанных на рис. 3 контуров фигур. Размеры указанных фигур выбирались так, чтобы они вписывались в квадрат с одинаковым для всех трёх фигур размером стороны. При этом использовались квадраты трёх типоразмеров (с размером стороны 15, 25 и 35 точек (пикселей)). Тестовые изображения фигур, вписанных в квадрат со стороной 25 пикселей, полагались номинальными и использовались в качестве эталонных контуров.

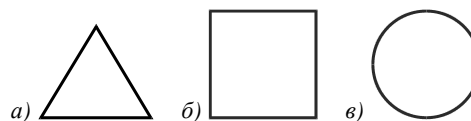


Рис. 3. Фигуры, вписанные в квадрат: треугольник (а); квадрат (б); окружность (в)

В системах распознавания знаков расстояние до знака в момент его регистрации ограничено сверху и снизу. Сверху оно ограничено требованием получения изображения с разрешением, достаточным для последующего надёжного распознавания. Ограничение снизу связано с быстродействием алгоритма локализации и распознавания и определяется требованием получения результата распознавания до момента проезда знака при движении автомобиля с максимальной допустимой скоростью. Следовательно, хотя масштаб текущих изображений знаков заранее неизвестен, диапазон вариаций масштаба обычно оказывается достаточно ограниченным.

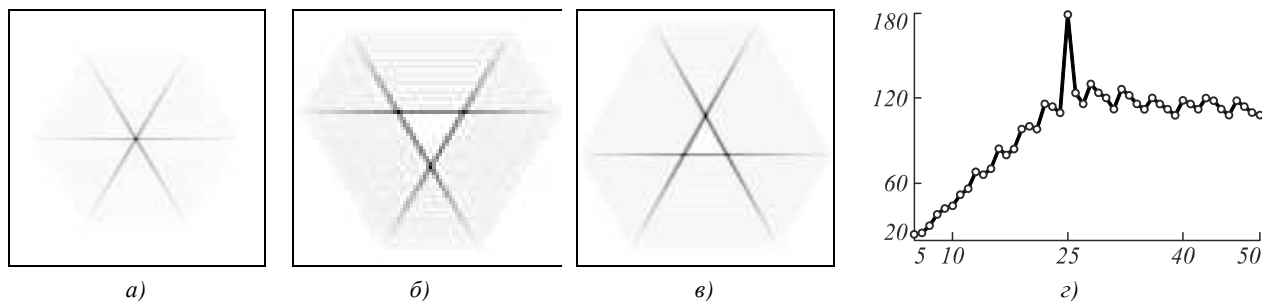


Рис. 4. Отклик в аккумуляторном пространстве для треугольника
 а) при совпадении размеров объекта и эталонного контура; б) эталонный контур меньше объекта; в) эталонный контур больше объекта; з) зависимость максимума отклика от размера эталонного контура

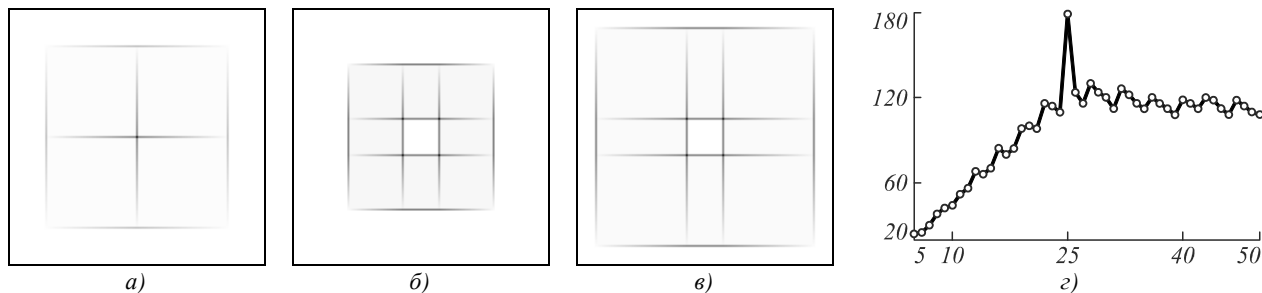


Рис. 5. Отклик в аккумуляторном пространстве для квадрата
 при совпадении размеров объекта и эталонного контура (а); эталонный контур меньше объекта (б); эталонный контур больше объекта (в); зависимость максимума отклика от размера эталонного контура (з)

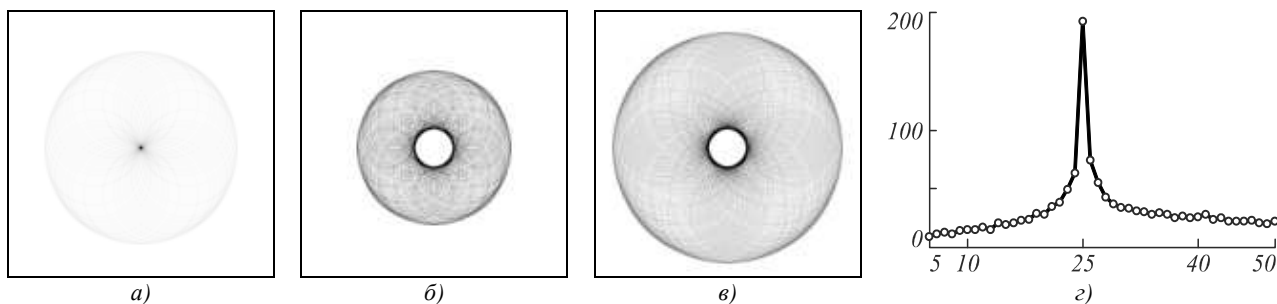


Рис. 6. Отклик в аккумуляторном пространстве для окружности
 при совпадении размеров объекта и эталонного контура (а); эталонный контур меньше объекта (б); эталонный контур больше объекта (в); зависимость максимума отклика от размера эталонного контура (з)

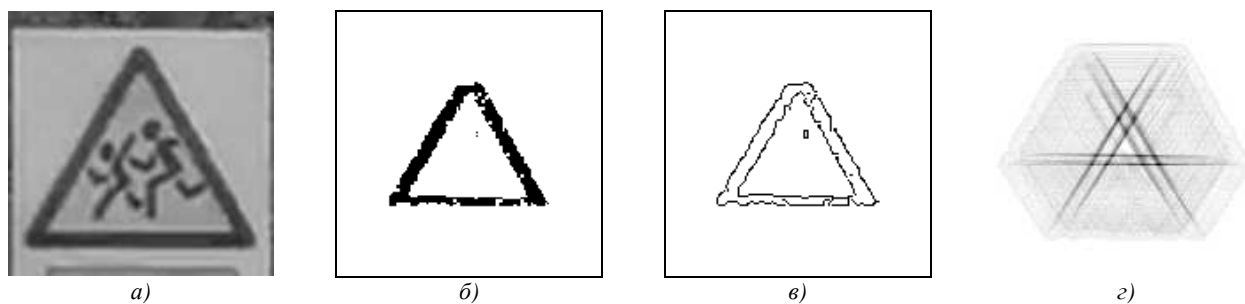


Рис. 7. Этапы технологии: регистрация текущего изображения (а); извлечение цвета (б); получение контурного препарата (в); преобразование Хафа (з)

С учётом свойств аккумуляторного отклика для фигуры «треугольник», показанной на рис. 7, алгоритм локализации указанных предупреждающих знаков строится следующим образом. Для текущего изображения сцены (кадра) с использованием алгоритма Канни создаётся контурный препарат красного компонента и формируется отклик в аккумуляторном пространстве с

использованием эталонного контурного препарата, имеющего заданный (номинальный) масштаб.

Далее на поле аккумулятора ищется заданное число точек с максимальным откликом (число точек задаётся исходя из условия возможности регистрации на одном изображении двух и более знаков) и фиксируются их координаты. Для локализации предупреждающего

знака, ориентированного острым углом вверх, в качестве первой точки для анализа принимаем точку с максимальным значением координаты по вертикали. Затем проверяем наличие двух точек ниже, симметрично расположенных относительно первой точки. Для трёх найденных таким образом точек проверяется соотношение расстояний между ними, установленное требованиями стандарта к форме знака, и наличие откликов на прямых между этими точками.

Вследствие того, что красная граница предупреждающих знаков имеет заметную «толщину», после выделения контуров красной компоненты обычно препарат треугольника имеет «двойную» границу. Пример такого дискретного контурного препарата приведён на рис. 7б.

В аккумуляторном пространстве при достаточно заметных вариациях масштаба соответствующий отклик будет иметь вид, показанный на рис. 7г. Поэтому в действительности в аккумуляторном пространстве ищутся не точки, а малые фрагменты с суммарным максимальным откликом, образованным вкладом четырёх точек, являющихся точками пересечения «двойных» контуров в угловых точках изображения треугольника.

Далее с использованием координат центров найденных фрагментов определяются координаты центра треугольника и численное значение отклика масштаба текущего изображения от эталонного. Эти данные позволяют осуществить преобразование текущего изображения, обеспечивающее достаточно точное совпадение с «центром» с масштабом эталонного изображения. Описанная технология обладает высокими быстродействием и надёжностью. Это обеспечивается, с одной стороны, свойствами преобразования Хафа, с другой стороны, простой и эффективной процедурой установления положения и масштаба текущего изображения знака. На рис. 7 приведены реальные изображения, иллюстрирующие последовательность операций при реализации описанной технологии.

После приведения центра и масштаба текущего изображения к эталонному распознавание знака, изображённого внутри красной границы, может осуществляться любым из известных способов. В частности, возможно простое «сличение» соответствующих бинарных изображений. Такой простой способ распознавания оказывается весьма эффективным и надёжным при его реализации на вычислителях с графическими процессорами, поскольку «сличение» в данном случае может быть выполнено на одном такте вычислительного устройства.

Описанная технология апробирована в созданном прототипе системы распознавания дорожных знаков [9]. Во время тестирования алгоритмов локализации и распознавания предупреждающих знаков в режиме нормального функционирования системы был зафиксирован лишь один случай отказа в распознавании, связанный с перекрытием части знака листвой рядом растущего дерева. При этом максимальное время обработки одного кадра составило 27 мс. При скорости

автомобиля 60 км/час это позволит регистрировать знак на расстоянии не более 50 м.

Для имитации процедуры локализации тестовые изображения формировались путём размещения на поле изображения контуров указанных фигур с размерами из указанного набора. Соответственно, для каждой фигуры алгоритм локализации применялся для трёх вариантов вариаций масштаба:

1) эталонный и текущий контур имеют одинаковые масштабы (описывающий квадрат обоих контуров со стороной 25 пикселей);

2) эталонный контур меньше текущего контура (описывающий квадрат текущего контура 35×35);

3) эталонный контур больше текущего контура (описывающий квадрат текущего контура 15×15).

Ниже приводятся результаты формирования откликов при описанных условиях экспериментов.

На рис. 4а приведено изображение отклика для треугольника в случае совпадающих масштабов эталонного и текущего контуров. Как и следовало ожидать, отклик представляет собой яркую точку в центре максимума отклика, которая образована наложением (в данном случае 179) точек дискретного контурного препарата. Кроме того, в окрестности этой точки сформировались прямые линии вследствие наложения (цепочек из соседних) точек прямолинейных участков контура.

На рис. 4б, в приведены изображения откликов для треугольника в случаях, когда масштаб эталонного контура меньше и больше масштаба текущего контура соответственно. Отклики имеют форму треугольников с продолжающимися за его пределами линиями сторон.

Максимумы откликов имеют место в вершинах треугольника. Для случая меньшего масштаба эталонного контура (текущий контур вписан в квадрат 35×35) при длине стороны треугольника отклика 20 точек максимумы составили от 65 до 70. Для случая большего масштаба (текущий контур вписан в квадрат 15×15) максимумы составили от 100 до 120. Треугольник при этом перевернут относительно исходного изображения.

На рис. 4г представлен график изменения максимумов откликов в зависимости от масштабов. Максимум на графике, равный 179, характеризует отклик при совпадающих масштабах, слева от максимума – изменение отклика при уменьшении масштаба эталонного контура, справа – при увеличении масштаба.

На рис. 5а–5г приведены результаты аналогичных экспериментов для квадрата. В частности, на рис. 5а приведено изображение отклика в случае совпадающих масштабов эталонного и текущего контуров. Максимум отклика в данном случае образован наложением 200 точек эталонного контурного препарата. Как и в случае треугольника, в окрестности максимума отклика сформировались прямые линии (вертикальная и горизонтальная) вследствие наложения точек прямолинейных сторон квадрата.

На рис. 5б и 5в – изображения откликов для квадрата, когда масштаб эталонного контура соответст-

венно меньше и больше масштаба текущего контура. Отклики имеют форму квадратов с продолжающимися сторонами, при этом в отклике для меньшего масштаба точки внутри квадрата отсутствуют, а максимумы откликов в вершинах квадрата со стороной 20 пикселей для всех 4 «ярких» точек на отклике совпадают и равны 61. В отклике для большего масштаба эталонного контура максимумы откликов в вершинах квадрата со стороной 20 пикселей составили 101. Рис. 5г иллюстрирует изменение максимумов откликов в диапазоне масштабов от 5 до 50 пикселей.

Наконец, для круга отклики на контуре отклика принимают близкие значения, а максимальное значение составляет 19 единиц. При совпадении масштабов максимум отклика составляет 192 единицы. При меньшем масштабе эталонного контура значения на контуре отклика близки, а максимальное значение составляет 29 единиц, при большем масштабе значения также близки, а максимум составляет 29 единиц.

Таким образом, при наличии в контуре фигуры гладких или даже прямолинейных участков в аккумуляторном пространстве за счёт наложения точек этих участков при сдвиге в процессе последовательного голосования появляются соответствующие им участки прямых линий. Число таких точек, а следовательно, и «яркость» соответствующей линии в аккумуляторе напрямую связана с длиной этого участка. Этот эффект не зависит от выбора «центра» фигуры и приводит к появлению дополнительного числа точек на контуре отклика так, что это число точек всегда не менее числа точек, попадающих в точку максимума отклика при совпадающих масштабах.

Заключение

Выявлены некоторые важные свойства преобразования Хафа при формировании в аккумуляторном пространстве изображений контура, отличающегося от эталонного контура масштабом. С использованием выявленных свойств построена эффективная по показателям надёжности и быстродействия технология локализации и распознавания дорожных знаков. Технология апробирована в реальных условиях функ-

ционирования в составе созданного прототипа системы оперативного распознавания дорожных знаков.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства Российской Федерации от 09.04.2010 г. № 218: договор № 02.Г36.31.0001 от 12.02.2013 и РФФИ (13-07-12030, 13-07-97000-р_поволжье_a, 13-07-13166).

Литература (References)

1. **Duda, R.O.** Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures / R.O. Duda, P.E. Hart // Comm. ACM. – 1972. – V. 15. – P. 11-15.
2. **Fernandes, L.** Real-time line detection through an improved Hough transform voting scheme / Leonardo A.F. Fernandes, Manuel M. Oliveira // Pattern Recognition. – 2008. – V. 41, N 1. – P. 299-314. – ISSN 0031-3203.
3. **Stylianiadis, E.** Semi-automatic “interest line” extraction in close range images / E. Stylianiadis, P. Patias // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – Thessaloniki, – 1999. – V. 32. – P. 237-242.
4. **Ballard, D.H.** Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes / Pattern Recognition. – 1981. – V. 13, N 2. – P. 111-122. – ISSN 0031-3203.
5. **Canny, J.** A Computational approach to Edge-Detection / J. Canny // IEEE Transactions on pattern Analysis and Machine Intelligence 8. – 1986. – V. 8, N 6. – P. 679-700.
6. **Kassim, A.A.** A comparative study of efficient generalized Hough transform techniques / A.A. Kassim, T. Tan, K.H. Tan // Image and Vision Computing. – 1999. – V. 17, N 10. – P. 737-748. – ISSN 0262-8856.
7. **Maji, S.** A max-margin Hough transform for object detection / S. Maji, J. Malik. – Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009.
8. **Hardzeyeu, V.** On using the Hough transform for driving assistance applications / V. Hardzeyeu, F. Klefenz // Intelligent Computer Communication and Processing. – 2008. – P. 91-98.
9. **Yakimov, P.** Preprocessing of digital images for fast and robust object detection in traffic signs recognition task // 11th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies. – Samara: IPSI RAS, 2013. – V. 2. – P. 769-772.

LOCALIZATION OF OBJECTS CONTOURS WITH DIFFERENT SCALES IN IMAGES USING HOUGH TRANSFORM

V.A. Fursov, S.A. Bibikov, P.Y. Yakimov

*Image Processing Systems Institute of the Russian Academy of Sciences,
S.P. Korolyov Samara State Aerospace University (National Research University)*

Abstract

This paper considers the problem of localization of objects in images, when the scale of the sought for object is different from the scale of the sample object. We use the feature of the Hough transform to form the response in the shape of lines in the accumulator space; these lines correspond to the straight-line sections of the object's contour. The paper contains the results of the formation of the responses in the accumulator space for some simple geometric figures. We introduce the technology of traffic signs localization, based on the considered approach.

Key words: object localization, image scale, image processing, Hough Transform.

Сведения об авторах

Фурсов Владимир Алексеевич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой общей информатики в Самарском государственном аэрокосмическом университете, в.н.с. в Институте систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: теория и методы оценивания по малому числу измерений, методы обработки и распознавания изображений, построение параллельных алгоритмов обработки и распознавания изображений, реализуемых с использованием многопроцессорных вычислительных систем.

Vladimir Alekseyevich Fursov is Doctor of Engineering Science, Professor, head of General informatics sub-department of Samara State Aerospace University and as leading researcher at the Image Processing Systems Institute of the RAS, leading researcher. Research interests are development of the theory of estimation on small number of observations, development of methods of image processing and training to pattern recognition, development of high-performance parallel methods both algorithms of image processing and pattern recognition oriented on application of multiprocessor computing systems.



Бибииков Сергей Алексеевич, родился в 1984. В 2007 году с отличием окончил Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ) по специальности «Прикладная математика и информатика». Работает ассистентом кафедры общей информатики СГАУ, н.с. в Институте систем обработки изображений РАН. Область научных интересов: обработка изображений, цветовая коррекция, устранение технологических артефактов, параметрическая идентификация.

E-mail: bibikov.sergei@gmail.com.

Sergey Alekseyevich Bibikov (b. 1984) graduated from Samara State Aerospace University in 2007, majoring in Applied mathematics and Informatics. Currently he works as an assistant lecturer at SSAU's General informatics sub-department, and as a junior researcher at the Image Processing Systems Institute of the RAS. Research interests are imaging, color correction, technological artifacts removal, identification.



Якимов Павел Юрьевич, родился в 1987 году, в 2011 году окончил магистратуру Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва по специальности «Прикладная математика и информатика». В настоящее время работает стажёром-исследователем в Институте систем обработки изображений РАН и проходит обучение в аспирантуре СГАУ по специальности 05.13.18, работает м.н.с. в СГАУ, имеет 28 опубликованных работ. Область научных интересов: распознавание образов и анализ изображений, параллельные и распределённые вычисления, вычисления с помощью графических процессоров.

E-mail: pavel.yakimov@hotmail.com.

Pavel Yurievich Yakimov, (b. 1987), graduated from SSAU in 2011, received Master's degree, majoring in Applied mathematics and Informatics, currently studies PhD in SSAU, works as a junior researcher in Samara State Aerospace University and Image Processing Systems Institute, has 28 scientific publications. Field of scientific interest: pattern recognition and image analysis, parallel and distributed programming, GPGPU programming.

Поступила в редакцию 29 сентября 2013 г.