

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

С. В. Барвиненко, Е. И. Шабakov, Использование обобщенного иерархического спектра Хоуга в задаче поиска объекта произвольной формы на полутоновом изображении, *Автомат. и телемех.*, 1998, выпуск 7, 185–189

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.170

19 февраля 2025 г., 22:30:26



УДК 62-50

© 1998 г. С.В. БАРВИНЕНКО,
Е.И. ШАБАКОВ, канд. техн. наук
(ВИКА им. А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННОГО ИЕРАРХИЧЕСКОГО СПЕКТРА ХОУГА В ЗАДАЧЕ ПОИСКА ОБЪЕКТА ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА ПОЛУТОНОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

В статье рассматривается задача поиска эталонного объекта на изображении с использованием обобщенного иерархического спектра Хоуга. Предлагается ввести показатель качества спектра. Данный показатель позволяет разделить ситуации присутствия и отсутствия эталонного объекта на изображении.

1. Введение

В теории распознавания изображений важное место занимает задача поиска объектов. Наиболее популярным методом ее решения благодаря устойчивости работы и низким вычислительным затратам является подход, основанный на вычислении спектра Хоуга.

Данный спектр был предложен в 1962 г. и предназначен для аппроксимации множества точек на плоскости прямыми линиями [1]. В 1972 г. он был использован для поиска любых аналитически задаваемых кривых и получил название модифицированного [2]. В работе [3] спектр был обобщен на случай объектов произвольной формы.

2. Обобщенный спектр Хоуга

Пусть P и Q некоторые подмножества точек плоскости R^2 . Введем булеву функцию $\chi(x, y | P)$, называемую бинарным изображением P [4]:

$$(1) \quad \chi(x, y | P) = \begin{cases} 1, & \forall x, y \in P \\ 0, & \forall x, y \notin P \end{cases}.$$

Аналогично, введем бинарное изображение Q , которое назовем эталонным (или эталоном):

$$(2) \quad \chi(x, y | Q) = \begin{cases} 1, & \forall x, y \in Q \\ 0, & \forall x, y \notin Q \end{cases}.$$

Обозначим через $A(\vec{a}) : R^2 \rightarrow R^2$ аффинное преобразование координат точки (x, y) , где вектор $\vec{a} = \{b_x, b_y, \beta, z_x, z_y\}$ включает смещение b_x и b_y , поворот β , масштабирование z_x и z_y и запишем его в следующем виде:

$$(3) \quad A(\vec{a}) = \begin{pmatrix} z_x & 0 \\ 0 & z_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_x \\ b_y \end{pmatrix}.$$

Преобразование координат всех точек эталона Q с помощью преобразования $A(\vec{a})$ даст нам новый эталон, который мы будем обозначать $\vec{a}Q$.

Рассмотрим задачу, получившую в теории распознавания изображений название задачи поиска. Надо найти такое значение вектора параметров \vec{a} , которое обеспечивает максимум функции $\nu(\vec{a})$:

$$(4) \quad \nu(\vec{a}) = |P \cap \vec{a}Q|,$$

где $|S|$ — количество элементов множества S .

Для ее решения Хоуг предложил строить пространство параметров, каждое значение $S_Q(\vec{a})$ которого вычисляется по формуле (5):

$$(5) \quad S_Q(\vec{a}) = \sum_x \sum_y \chi(x, y | P) \chi(x, y | \vec{a}Q).$$

Обозначим через R множество допустимых значений аргумента \vec{a} и пусть спектр $S_Q(\vec{a})$ принимает максимальное значение s^{\max} при значении аргумента равном $\vec{a}^{\max} \in R$:

$$(6) \quad s^{\max} = S_Q(\vec{a}^{\max}) = \max_{\vec{a} \in R} [S_Q(\vec{a})].$$

В работе [3] было показано, что \vec{a}^{\max} будет соответствовать искомому значению вектора параметров, при котором обеспечивается максимум выражения (4).

3. Иерархический подход к спектру Хоуга

Недостатком изложенного подхода, является то, что все точки подмножества имеют одинаковое влияние на конечный результат. Вместе с тем, эталон обычно включает изображения нескольких объектов. И поиск должен заключаться в поиске всех возможных положений каждого такого объекта и определении наиболее полной комбинации найденных объектов. Пример, иллюстрирующий такой подход, показан на рис. 1. На рис. 1,а представлен искомый эталон. На рис. 1,б и 1,в показаны возможные варианты изображений, на которых необходимо найти эталон. Использование спектра Хоуга даст одинаковый результат для обоих вариантов. Вместе с тем, интуитивно понятно, что рис. 1,б более соответствует эталону чем рис. 1,в, так как на нем есть целиком изображенный прямоугольник.

Необходимо отметить, что каждый объект, составляющий эталон, также можно рассматривать как совокупность еще более элементарных объектов и этот процесс можно продолжать до уровня пикселей.

Эта идея была воплощена в работе [5], описывающей построение иерархического обобщенного спектра Хоуга. В данном случае эталон представлен в виде N множеств, соответствующих N уровням иерархии. Элементы множества Q^1 первого (нижнего) уровня совпадают с элементами рассмотренного нами эталонного множества Q . Множество Q^N уровня N имеет всего один элемент Q_1^N , являющийся вершиной иерархии. Остальные множества иерархии имеют M_n элементов, где $n = 1, \dots, N$ — номер уровня множества. Каждый i -й элемент Q_i^n уровня $n > 1$ имеет связи с несколькими элементами уровня $n - 1$. Таким образом, получаем бинарное изображение элемента Q_j^n в терминах элементов множества Q^{n-1} :

$$(7) \quad \chi(Q_i^{n-1} | Q_j^n) = \begin{cases} 1, & Q_i^{n-1} \subseteq Q_j^n \\ 0, & Q_i^{n-1} \not\subseteq Q_j^n \end{cases},$$

где $i = 1, \dots, M_{n-1}$; $j = 1, \dots, M_n$.

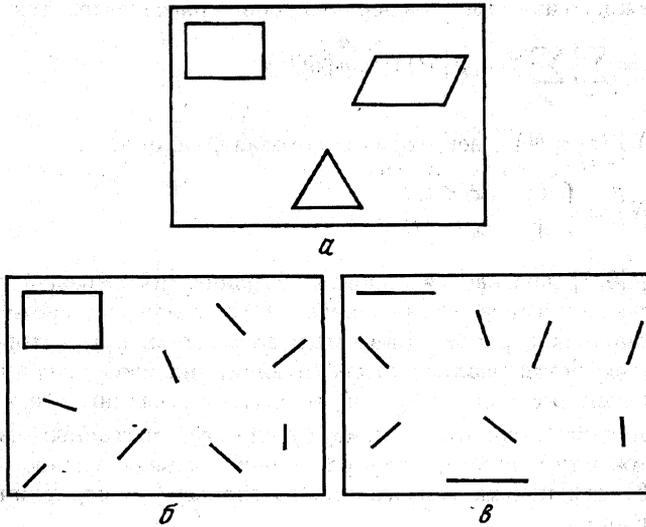


Рис. 1. Различие иерархического и обычного преобразования Хоуга. *a* – эталон; *б* и *б'* – изображения, содержащие фрагменты эталона и шум

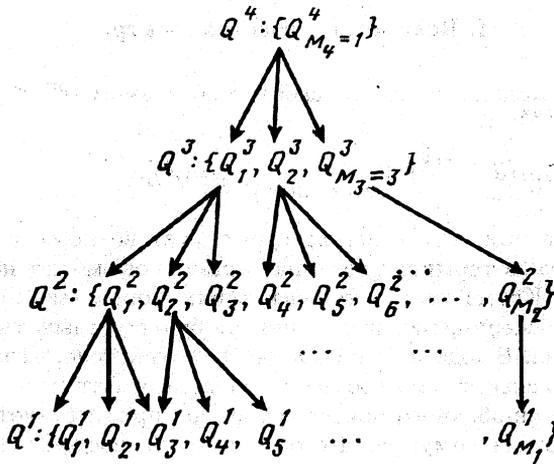


Рис. 2. Возможный вариант иерархического представления эталона, изображенного на рис. 1, *a*

Возможный вариант иерархии из 4 уровней для эталона, изображенного на рис. 1, *a*, показан на рис. 2, где нижний уровень соответствует пикселям исходного изображения. Следующий уровень определяет сегменты линий. Далее данные сегменты объединяются в треугольник, прямоугольник и параллелограмм. Вершина иерархии представляет эталон в целом.

Спектр Хоуга для каждого уровня $n > 1$ можно вычислить через спектры предыдущего уровня:

$$(8) \quad S_{Q_j^n}(\vec{a}) = T \left[\sum_{i=1}^{M_n} S_{Q_i^{n-1}}(\vec{a}) \chi(Q_i^{n-1} | Q_j^n), t, M_n \right].$$

Спектр для каждого из элементов первого уровня рассчитывается по формуле (9):

$$(9) \quad S_{Q_j^1}(\vec{a}) = \sum_x \sum_y \chi(x, y | P) \chi(x, y | \vec{a}Q_j^1).$$

В формуле (7) $T(x, t, N)$ – некоторая пороговая функция:

$$(10) \quad T(x, t, N) = \begin{cases} 0, & \forall x < tN \\ 1, & \forall x \geq tN \end{cases}$$

Величина $t \in [0, 1]$ называется порогом. Физический смысл порога состоит в том, что он определяет такое минимальное число элементов множества предыдущего уровня, связанных с рассматриваемым элементом, при котором рассматриваемый элемент считается реально существующим на изображении. Если $t = 0$, результирующий спектр иерархии $S_{Q_1^N}(\vec{a})$ совпадает с обычным (неиерархическим) спектром S . Если $t = 1$, требуется присутствие всех составных частей искомого эталона на изображении целиком, что в реальных условиях обычно недостижимо.

Выражение (6) для поиска максимального значения в иерархическом спектре Хоуга принимает вид:

$$(11) \quad s^{\max} = S_{Q_1^N}(\vec{a}^{\max}) = \max_{\vec{a} \in R} [S_{Q_1^N}(\vec{a})].$$

Значение \vec{a}^{\max} для спектра уровня N будет определять искомый вектор параметров.

4. Показатель качества спектра

Следующее максимальное значение спектра обозначим s^{premax} при значении аргумента равном \vec{a}^{premax} :

$$(12) \quad s^{\text{premax}} = S_{Q_1^N}(\vec{a}^{\text{premax}}) = \max_{\vec{a} \in R \setminus \{\vec{a}^{\max}\}} [S_{Q_1^N}(\vec{a})].$$

Вследствие шумов при поиске всегда существует возможность ошибки, и тогда положение объекта (в терминах вектора параметров) может не соответствовать максимуму спектра. Кроме того, в тех ситуациях, когда искомого эталона нет на анализируемом изображении, максимум спектра будет указывать на заведомо ложное положение эталона. В ходе экспериментов было отмечено, что если поиск осуществлен правильно, то спектр, ему соответствующий, имеет один ярко выраженный максимум. В случае ошибочного поиска в спектре присутствует несколько сопоставимых по значению максимумов. Исходя из этого, введем показатель качества спектра V :

$$(13) \quad V = 1 - \frac{s^{\text{premax}}}{s^{\max}}.$$

Данный показатель характеризует соотношение двух максимальных значений спектра. Если V стремится к 0, значит различие между максимумами мало и велика вероятность ошибки. В оптимальном случае V стремится к 1. Исходя из данного свойства, можно предположить, что существует такое пороговое значение V_t показателя качества спектра Хоуга, ниже которого данный спектр нельзя использовать для поиска объекта.

Для определения V_t было проведено два эксперимента, в ходе которых на 32 изображениях строился спектр Хоуга. Для каждого спектра Хоуга рассчитывался показатель качества. В первом эксперименте спектр был ассоциирован с объектом реально имевшимся на анализируемом изображении. Во втором эксперименте спектр

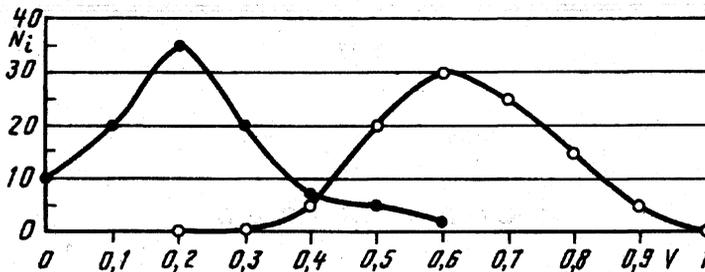


Рис. 3. Зависимость количества правильно и неправильно найденных эталонов от качества спектра. N_i – количество изображений в процентах от общего числа. Диаграмма с закрашенными метками соответствует поиску заведомо отсутствующих объектов

был ассоциирован с объектом, заведомо отсутствовавшим на изображении. Распределение результатов обоих экспериментов представлено на рис. 3.

Из представленных графиков видно, что при поиске заведомо отсутствующих объектов значение показателя качества всегда меньше 0,6, а при поиске объекта, присутствующего на изображении, значение V всегда больше 0,2. Если выбрать значение $V_t = 0,41$, то в 93% случаев можно правильно определить, присутствует ли искомый объект на данном изображении или нет.

В качестве материалов для экспериментов были использованы оптико-электронные изображения участков земной поверхности. В эксперименте применен трехуровневый иерархический спектр. Для построения первого уровня был реализован метод сегментации, основанный на модифицированном преобразовании Хоуга и позволяющий выделить из полутонового изображения прямолинейные сегменты [6]. На втором уровне сегменты объединялись в группы на основании близости их центров друг к другу. Третий уровень объединял эти группы в единый объект.

Результаты работы были использованы для решения задачи регистрации изображений земной поверхности получаемых камерой, местоположение и ориентация которой известны неточно.

Авторы выражают благодарность профессору Калинину В.Н. за помощь в математической постановке задачи, оказанную при подготовке данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hough P.V.C.* Method and means for recognizing complex patterns. U.S. Patent 3069654, 1962.
2. *Duda R.O., Hart P.E.* Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures // *Commun. ACM.* 1972. V. 15. P. 11–15.
3. *Ballard D.H.* Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // *Pattern Recognition.* 1981. V. 13. No. 2. P. 111–122.
4. *Лабунец В.Г., Чернина С.Д.* Теория и применение преобразования Хо // *Зарубежная радиоэлектроника.* 1987. № 10. С. 48–56.
5. *Larry S.D.* Hierarchical generalized Hough transforms and line-based generalized Hough transforms // *Pattern Recognition.* 1982. V. 15. No. 4. P. 277–285.
6. *Барвиненко С.В.* Метод поиска объектов на полутоновом изображении // *Материалы XXV военно-научной конференции ВКА ПВО им. Жукова Г.К.* 1996. С. 471–483.

Поступила в редакцию 09.10.97