

МЕТОД И АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ МАРКИ И ИЗМЕРЕНИЯ ЕЁ КООРДИНАТ

© 2016 С.А. Кадничанский

ФГБУ «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры
пространственных данных», Москва, Россия

kadnichanskiy_sa@nsdi.rosreestr.ru

Аннотация. Описывается метод и алгоритм автоматического обнаружения изображения марки и высокоточного измерения её координат на цифровом фотоснимке. Приводятся результаты экспериментальной проверки работоспособности и точности метода.

Ключевые слова: цифровой фотоснимок, изображение марки, автоматическое обнаружение, автоматическое измерение, точность автоматического измерения.

METHOD AND ALGORITHM FOR AUTOMATIC DETECTION OF TARGETED POINT AND MEASUREMENT OF ITS IMAGE COORDINATES

© 2016 Kadnichanskiy S.

*FGBU «State Scientific and Technical Research Center of Geodesy, Cartography and Geospatial Data
Infrastructure», Moscow, Russia*

kadnichanskiy_sa@nsdi.rosreestr.ru

Abstract. A method and an algorithm for automatic detection of targeted point and high-precision measurement of its image coordinates are described. The results of experimental verification of the operability and accuracy of the method are also given.

Keywords: digital image, targeted point, automatic detection, automatic measurement, accuracy of automatic measurement

Обнаружение на цифровых фотоснимках маркированных точек объекта и измерение их координат с высокой точностью, является довольно часто встречающейся задачей в различных прикладных областях фотограмметрической обработки [1, 2]. Примером может служить потребность в таком решении при фотограмметрической калибровке фотокамеры путем съемки тест-объекта, состоящего из мно-

гих зафиксированных в пространстве марок с их определенными пространственными координатами. При этом весьма актуальным является вопрос высокой точности измерения координат изображений марок на фотоснимках.

Для решения такой задачи была выбрана конфигурация марки (рис. 1). На рис. 2 представлен пример изображения марки на цифровом снимке.

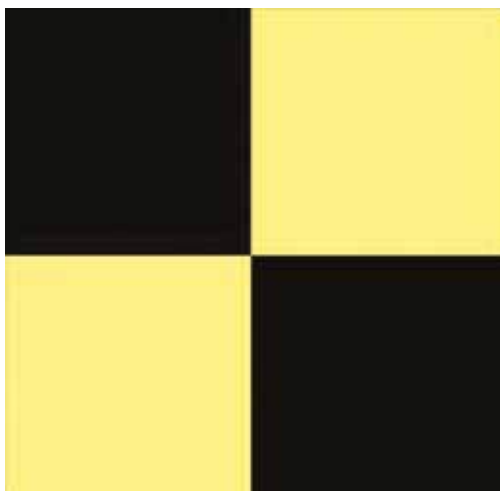


Рис. 1. Конфигурация марки

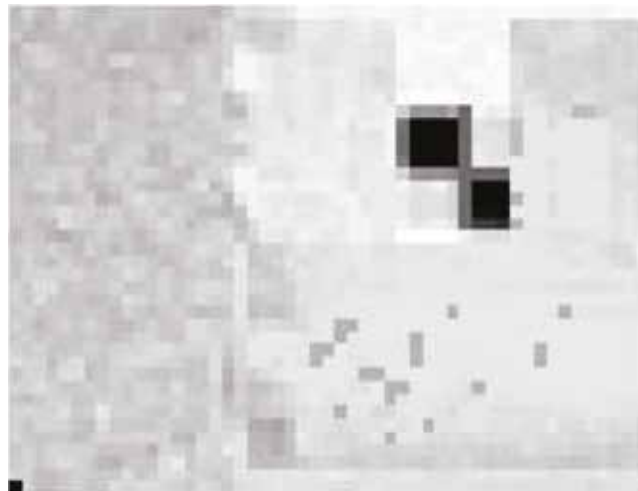


Рис. 2. Пример изображения марки на снимке

Решение задачи обнаружения марки на снимке. Исходные данные для решения задачи:

цифровое изображение объекта с марками;
стороны фигур марки приблизительно параллельны сторонам рамки кадра;

заданная пороговая разность значений сравниваемых пикселей G ;

число марок (если известно).

Требуется определить:

массивы I_k и J_k целочисленных координат центров марок, выраженных в пикселях (номер строки и номер столбца матрицы цифрового изображения), $k=1, \dots, C$; C — количество обнаруженных марок.

Метод решения заключается в сканировании цифрового снимка маской 7×7 пикселей, как показано на рис. 3. В каждом углу маски при ее текущем положении вычисляются средние значения a_1, a_2, a_3, a_4 для четырех угловых пикселей, а затем разности средних значений по четырем направлениям:

$$g_1 = a_2 - a_1; g_2 = a_3 - a_2; g_3 = a_4 - a_3; g_4 = a_1 - a_4.$$

Если маска попадает на центр марки, $g_1 > G$; $g_2 < -G$; $g_3 > G$; $g_4 < -G$.

Так как для каждой марки может быть найдено несколько положений маски, удовлетворяющих этим условиям, то все эти положения необходимо запомнить, а затем выбрать наилучшее, удовлетворяющее условию:

$$S = g_1 - g_2 + g_3 - g_4 = S_{\max},$$

где S_{\max} — максимальное значение S из всех положений маски для данной марки, что соответствует условию максимального контраста изображения марки в пределах маски.

Значения целочисленных координат I, J центра марки запоминаются в качестве результата. При этом ведется подсчет обнаруженных марок, т.е. определяется их число, которое при необходимости сравнивается с заданным известным числом марок.

Пороговое значение разности G задается эмпирически на основании измерений значений пикселей на изображениях марок. Типичные диапазоны значений для черного поля марки: 20–45, для светлого поля марки: 140–190. Следовательно, значение $G=90$ удовлетворит данным условиям с некоторым запасом.

Решение задачи измерения координат центра марки. Исходными данными для решения задачи являются:

приближенные значения целочисленных координат центров марок I, J , полученные в результате поиска марок;

пороговая разность значений пикселей D ;

приближенный размер клетки марки, выраженный в пикселях L ;

В результате решения требуется:
определить вещественные (до долей пикселя) координаты центра марки x, y (в пикселях) в системе координат снимка oxy , жестко связанной с фотокамерой;

оценить точность полученных результатов измерений для каждой марки, вычислив средние квадратические погрешности значений координат M_x, M_y .

Система координат oxy (рис. 4), жестко связанная с камерой, имеет начало в геометрическом центре матрицы ПЗС. Ось ox параллельна

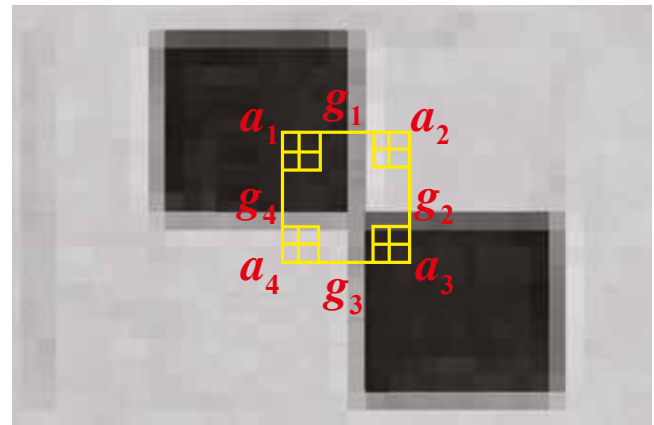


Рис. 3. Сканирование снимка маской 7×7 пикселей и вычисление средних значений пикселей для четырех угловых пикселей

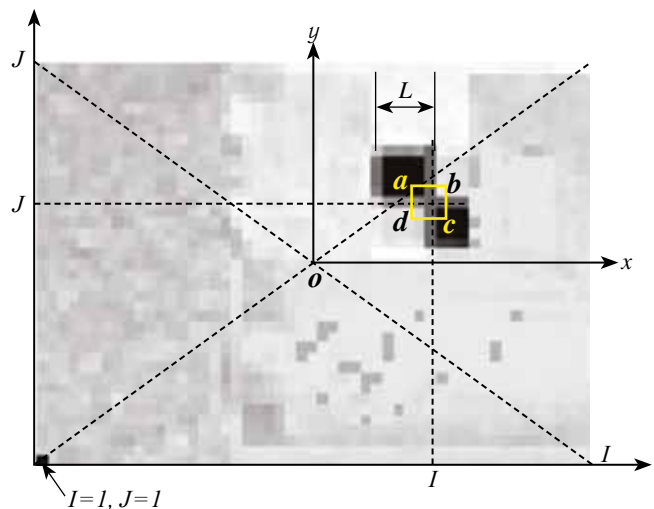


Рис. 4. Уточнение координат центра марки

ряду пикселей и направлена таким образом, что при визуализации изображения на экране она представляется направленной вправо, а ось oy — вверх. Начало системы координат может быть выбрано и иным образом — так, чтобы значения координат были только положительными и изменялись от нуля до максимальных значений, равных размерам матрицы.

На первом этапе решения строятся профили значений a пикселей по направлениям отрезков ab, bc, cd, da для $L-4$ сечений каждого из направлений. Так как в результате поиска марок были определены целочисленные координаты центра марки, т.е. пиксель, содержащий его изображение с погрешностью не более 1 пикселя, то вполне достаточно построить профиль длиной в 7 пикселей.

Вычисляются суммы абсолютных значений разностей смежных пикселей по четырем направлениям (ab, bc, cd, da) (см. рис. 4):

$$S_{ab,j,i} = \text{abs}(a_{I-3+i, J+3+j} - a_{I-5+i, J+3+j}), i=1, \dots, 7;$$

$$S_{cb,j,i} = \text{abs}(a_{I+3+j, J-3+i} - a_{I+3+j, J-5+i}), i=1, \dots, 7;$$

$$S_{dc,j,i} = \text{abs}(a_{I-3+i, J-(3+j)} - a_{I-5+i, J-(3+j)}), i=1, \dots, 7;$$

$$S_{da,j,i} = \text{abs}(a_{I-(3+j), J-3+i} - a_{I-(3+j), J-5+i}), i=1, \dots, 7;$$

$$j=1, \dots, L-4.$$

В каждом сечении каждого направления выбирается пиксель с максимальным значением суммы абсолютных значений разностей смежных пикселей: $S_{ab\max}, S_{bc\max}, S_{cd\max}, S_{da\max}$. Этими пикселями покрываются границы перехода от чёрного поля к светлому. Таким образом определяются целочисленные (пиксельные) координаты I, J переходов от черного к светлому для каждого сечения каждого направления.

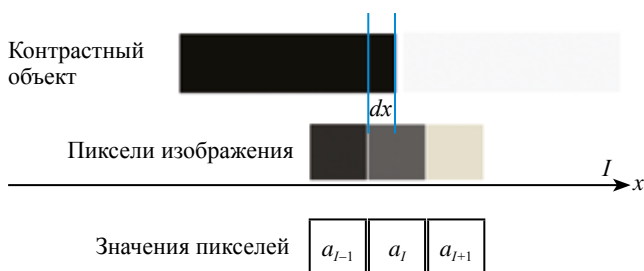


Рис. 5. Вычисление дробных частей координат в пиксельной мере

Вычисление дробной части координат dx, dy в пиксельной мере основано на пропорции

$$dx = 1 - \frac{a_I - a_{I-1}}{a_{I+1} - a_{I-1}}$$

и наглядно поясняется на рис. 5. Таким способом определяются дробные части координат в пиксельной мере для каждого сечения (из $L-4$) каждого из направлений. В результате вычисляются координаты $x_k, y_k (k=1, \dots, 2L-8)$ точек для прямых A и B , проходящих по границам черного и светлого полей, как показано на рис. 6.

Совокупность точек, представленных координатами x, y , позволяет для каждой из прямых A и B составить систему линейных уравнений:

$$Px_1 + Q = y_1;$$

$$Px_2 + Q = y_2;$$

...

$$Px_n + Q = y_n, (n = 2L-8).$$

В виду наличия погрешностей в определении координат x, y , система уравнений в общем случае несовместна. По этой причине неизвестные параметры прямой оцениваются по методу наименьших.

Для вычисления параметров уравнения прямой A используется система координат, ось ox^* которой совпадает с осью oy , а ось oy^* дополняет систему координат до правой.

Остаточные невязки $Dy = y_{\text{изм}} - y_{\text{выч}}$ и $Dy^* = y_{\text{изм}}^* - y_{\text{выч}}^*$ представляют собой отклонения результатов измерения от прямых A и B и характеризуют точность выполненных измере-

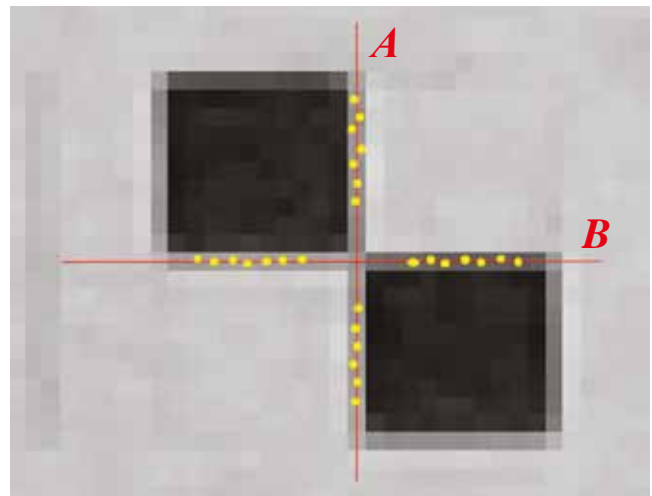


Рис. 6. Определение прямых, проходящих по границе черного и светлого поля

ний. При этом невязки Dy^* характеризуют точность измерений абсцисс x .

После вычисления параметров P^* , Q^* прямой A в системе координат ox^*y^* осуществляется переход к параметрам в системе координат oxy $P=-1/P^*$, $Q=-Q^*/P^*$, и вычисляются координаты x , y точки пересечения прямых A и B , которые принимаются за результат измерения координат центра марки. При этом точность отдельного измерения координат точки границы черного и светлого поля (в одном сечении) характеризуется средними квадратическими погрешностями:

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n Dy^{*2}}{n}}; \quad m_y = \sqrt{\frac{\sum_1^n Dy^2}{n}},$$

а конечный результат характеризуется средними квадратическими погрешностями среднего:

$$M_x = \frac{m_x}{\sqrt{n}}; \quad M_y = \frac{m_y}{\sqrt{n}}.$$

Изложенный алгоритм был реализован в компьютерной программе, предназначенной для фотограмметрической калибровки цифровых фотокамер, и испытан на реальных фотоснимках тест-объекта с марками.

Использовался фотоснимок с 10 марками на сравнительно пёстром фоне. Были обнаружены все марки, а ложных марок не было обнаружено. Для каждой марки в каждом из на-

правлений ($a-b$, $b-c$, $c-d$, $d-a$), были выполнены определения в 10 сечениях ($L=14$), т.е. каждая прямая строилась по двадцати точкам.

Оценка точности результатов измерений в пикселях

Номер марки	m_x	M_x	m_y	M_y
1	0,224	0,05	0,034	0,008
2	0,2	0,045	0,224	0,05
3	0,161	0,036	0,159	0,036
4	0,179	0,04	0,142	0,032
5	0,244	0,054	0,123	0,027
6	0,041	0,009	0,053	0,012
7	0,127	0,028	0,172	0,038
8	0,123	0,027	0,19	0,042
9	0,255	0,057	0,298	0,067
10	0,238	0,053	0,157	0,035
Среднее	0,179	0,04	0,155	0,035

Таким образом, результаты экспериментальной проверки предложенного метода поиска и измерения координат марки показывают, что координаты марки автоматически уверенно могут быть обнаружены на изображении, а их координаты могут быть измерены с оценками точности результата измерений. Точность полученных результатов измерений координат x и y характеризуется средним значением около 0,04 пикселя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. – М.: Мир, 1982.
2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В., Ососков М.В., Моржун А.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: Курс лекций и практических занятий. – М.: Физматкнига, 2010.