

Быстрое корреляционное совмещение квазирегулярных изображений

П. А. Чочиа

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН, Москва, Россия

Поступила в редколлегию 00.08.2009

Аннотация—Рассматривается корреляционное совмещение изображений, пространственно различающихся сдвигом. Для случая, когда изображения содержат объекты с выраженными структурными особенностями (квазирегулярные изображения), предлагается быстрый алгоритм совмещения.

1. ВВЕДЕНИЕ

При анализе видеоинформации во многих случаях требуется предварительное решение задачи совмещения изображений, пространственно различающихся сдвигом. Типичным примером может служить контроль изделий в дефектоскопии, когда необходимо сопоставление анализируемого изображения с эталоном. В ряде приложений совмещаемые изображения имеют выраженные структурные особенности, например: значительная часть контуров объектов имеет определенную направленность, или же объекты расположены периодически вдоль каких-то направлений. Совокупность подобных особенностей будем называть *квазирегулярной структурой объектов* анализируемых изображений, или просто *квазирегулярностью*. Использование свойства квазирегулярности позволяет разработать быстрый алгоритм корреляционного совмещения изображений.

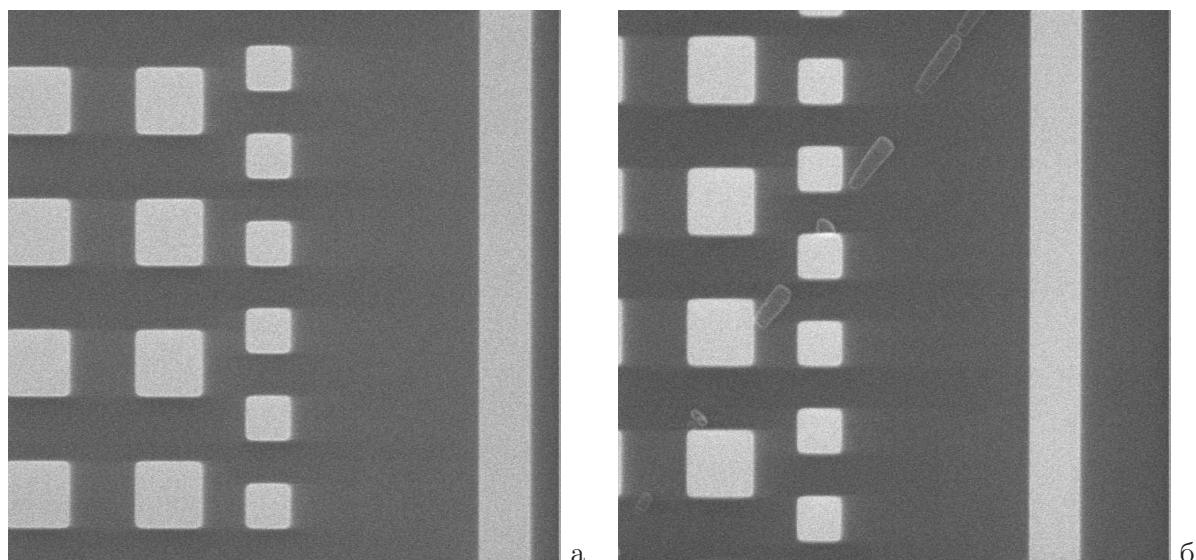


Рис. 1. Пара совмещаемых изображений: эталонное (а) и изображение с дефектом (б).

На фотографиях Рис. 1 показан пример пары таких изображений — эталонного (а) и изображения с дефектом (б). При обнаружении дефектов необходимо выполнить сравнение ана-

лизируемого (дефектного) изображения с эталоном, для чего требуется предварительное совмещение пары изображений. В данном случае контуры объектов имеют горизонтальную и вертикальную направленность, но в принципе задача может быть обобщена на случай любых, в том числе и неортогональных направлений.

2. КОРРЕЛЯЦИОННОЕ СОВМЕЩЕНИЕ

Проблема сокращения объема вычислений при совмещении двумерных сигналов (изображений) известна давно [1-3]. Без использования распознавания и семантической интерпретации объектов, классическим средством является корреляционное совмещение, которое сводится к поиску максимума двумерной функции ковариации анализируемого (S) и эталонного (T) изображений:

$$\text{cov}_{S,T}(v, h) = \frac{1}{W_{v,h}} \sum_{x,y} (b_S(x, y) - \bar{b}_S)(b_T(x - v, y - h) - \bar{b}_T). \quad (1)$$

Здесь $b_S(x, y)$ и $b_T(x, y)$ — значения элементов в точке (x, y) ; \bar{b}_S и \bar{b}_T — средние значения изображений S и T ; (v, h) — величина относительного сдвига изображений по вертикали и горизонтали; $W_{v,h}$ — число точек в данном пересечении изображений. Для подсчета ковариационной функции по всему множеству возможных параметров (v, h) требуется порядка X^2Y^2 количества операций, где XY — размеры изображений.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВА КВАЗИРЕГУЛЯРНОСТИ

Основная идея сокращения объема вычислений заключается в том, что в случае квазирегулярных изображений удастся ограничиться вычислением ковариации не для всех возможных значений сдвига (v, h) , а только для множества точек на некоторой сетке. Чтобы выбрать эти точки, предварительно осуществим некоторые преобразования. Для простоты будем считать, что контуры объектов на изображениях имеют преимущественно горизонтальную и вертикальную направленность. Вычислим массивы средних значений по строкам и столбцам для совмещаемых изображений S и T :

$$V_S(x) = \frac{1}{N} \sum_{y=1}^N b_S(x, y) \quad \text{и} \quad V_T(x) = \frac{1}{N} \sum_{y=1}^N b_T(x, y) \quad \text{— массивы средних по строкам, а}$$

$$H_S(y) = \frac{1}{M} \sum_{x=1}^M b_S(x, y) \quad \text{и} \quad H_T(y) = \frac{1}{M} \sum_{x=1}^M b_T(x, y) \quad \text{— массивы средних по столбцам.}$$

Для подавления влияния несущественных яркостных различий, но при этом сохранения контурных перепадов, каждый из полученных массивов $V_S(x)$, $V_T(x)$, $H_S(y)$, $H_T(y)$ подвергается операции фильтрации верхних пространственных частот. Удобным фильтром может служить линейный оператор нерезкого маскирования [4, 5], который для одномерного случая описывается следующей простой формулой:

$$\tilde{f}(x) = f(x) - \frac{1}{2n+1} \sum_{y=x-n}^{x+n} f(y).$$

В результате этих операций получают интегральные проекции контурных перепадов, расположенных перпендикулярно направлениям усреднений, причем среднее значение каждой из

полученных функций равно нулю: $M\{\tilde{f}(x)\} = 0$. По вертикальным $\tilde{V}_S(x)$, $\tilde{V}_T(x)$ и горизонтальным $\tilde{H}_S(y)$, $\tilde{H}_T(y)$ парам массивов подсчитываются одномерные ковариационные функции для соответствующих направлений:

$$\text{cov}_V(v) = \frac{1}{W} \sum_{x \in W} \tilde{V}_S(x) \tilde{V}_T(x - v) \quad \text{— ковариационная функция по вертикали и}$$

$$\text{cov}_H(h) = \frac{1}{W} \sum_{y \in W} \tilde{H}_S(y) \tilde{H}_T(y - h) \quad \text{— ковариационная функция по горизонтали.}$$

Ковариационные функции по вертикальному и горизонтальному направлениям для изображений на Рис. 1 показаны в виде графиков на Рис. 2 (а) и (б). Локальные максимумы $\text{cov}_V(v)$ и $\text{cov}_H(h)$ соответствуют совпадению проекций контурных перепадов на изображениях S и T , перпендикулярных направлениям усреднений.

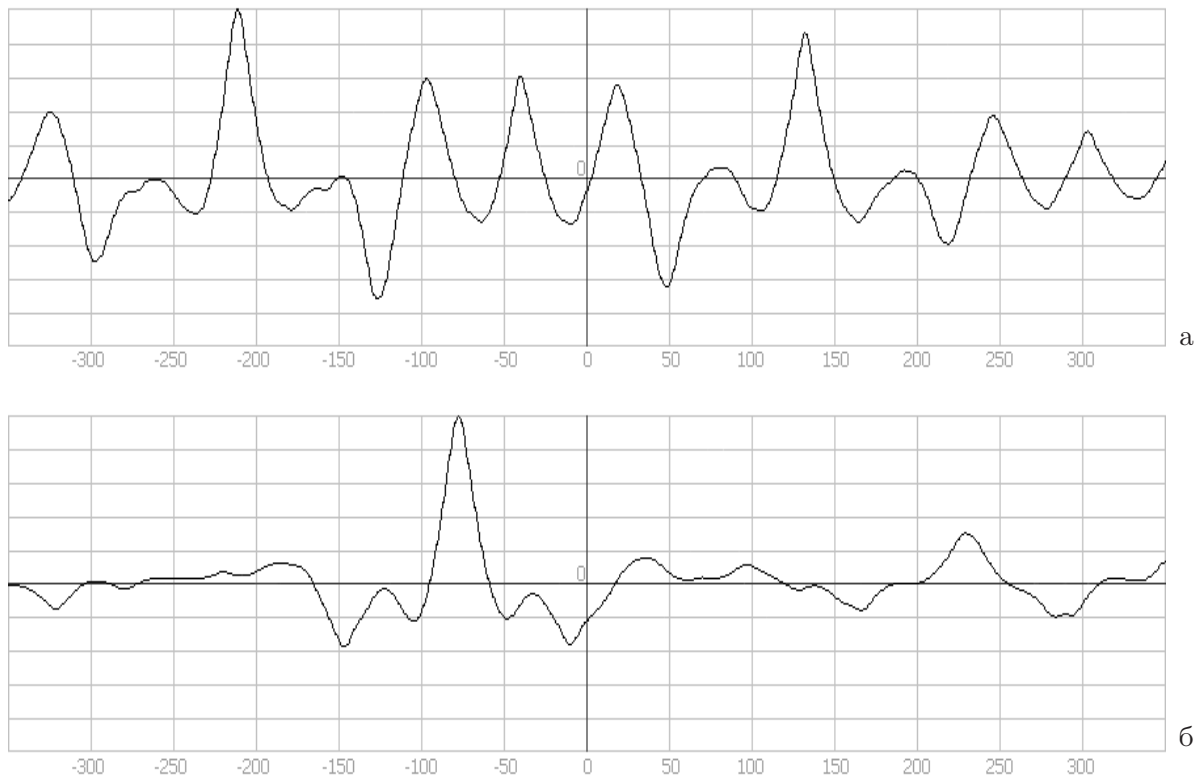


Рис. 1. Ковариационные функции для изображений на Рис. 1 по вертикальному (а) и горизонтальному (б) направлениям.

Искомая точка глобального максимума двумерной ковариации (1) изображений S и T одновременно будет одной из точек локальных максимумов ковариационных функций. Это позволяет искать ее только в точках сетки (v_i, h_j) , составленной из координат локальных максимумов $\text{cov}_V(v)$ и $\text{cov}_H(h)$.

4. АЛГОРИТМ БЫСТРОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО СОВМЕЩЕНИЯ

Таким образом, алгоритм быстрого корреляционного совмещения изображений сводится к следующему. Находятся наборы v_i и h_j — точек локальных максимумов ковариаций по вертикали $\text{cov}_V(v)$ и горизонтали $\text{cov}_H(h)$. Множество точек, по которому будут искаться координаты возможного совмещения изображений, определяется как набор таких пар (v_i, h_j) ,

$\{i = 1, \dots, N_v; j = 1, \dots, N_h\}$, в которых v_i и h_j являются координатами соответствующих локальных максимумов ковариационных функций по вертикали и горизонтали (в список заносятся только положительные по значению точки локальных максимумов). Также разумно ограничить максимально допустимый относительный сдвиг изображений; нами был выбран диапазон $\pm 1/4$ размеров изображения.

В каждом из узлов построенной сетки осуществляется подсчет двумерных ковариаций по формуле (1), после чего выбирается узел с максимальным значением. Необходимо отметить, что совершенно необязательно таковым должен быть узел с координатами глобальных максимумов по каждому из направлений. После выбора оптимального узла, в его окрестности методом малых смещений находится точка локального максимума ковариации. Координаты найденной точки считаются параметрами сдвига, требуемого для совмещения изображений.

Для вышеприведенных на Рис. 1. изображений сетка возможных координат точек совмещения изображений выглядит как множество комбинаций пар (v_i, h_j) из следующих наборов значений: $v_i = \{-97, -40, 18, 78, 130\}$ и $h_j = \{-76, 35, 95\}$. В данном примере оптимальным оказался узел с координатами $(130, -76)$. Отметим также, что точка глобального максимума $\text{cov}_V(v)$, имеющая значение -210 , дает второй приемлемый вариант для совмещения $(-210, -76)$, но она выходит за границы $1/4$ размеров изображения.

5. ОЦЕНКА СКОРОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

По сравнению с обычным алгоритмом, в котором отыскивается глобальный максимум ковариации по формуле (1), рассматриваемый алгоритм быстрого корреляционного совмещения изображений позволяет сократить объем вычислений в $K = XY/(N_i N_j + C)$ раз, где XY — размеры изображения, N_i и N_j — обнаруженное число локальных максимумов ковариационных функций по выбранным направлениям, C — суммарное число анализируемых точек в окрестности при поиске оптимума. Очевидно, что K зависит как от размеров, так и от содержания изображений (в основном от значений N_i и N_j). Для снимков, приведенных в качестве примера, коэффициент сокращения объема вычислений составляет около 16000.

Алгоритм был реализован как часть комплекса диагностики и обнаружения дефектов при изготовлении микроэлектронных приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gruen A. W. Adaptive least squares correlation: a powerful image matching technique. *S. Afr. J. of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography*, 1985, vol. 14, no. 3, pp. 175–187.
2. Ackermann F. Digital image correlation: Performance and potential application in photogrammetry. *Photogrammetric Record*, 1984, vol. 64, no. 11, pp. 429–439.
3. Потапов А. С., Мальшев И. А., Луцив В. Р. Совмещение аэрокосмических изображений с субпиксельной точностью методом локальной корреляции. *Оптический журнал*, 2004, том 71, № 5, стр. 31–36.
4. Jain A. K. *Fundamentals of Digital Image Processing*. N.J.: Prentice–Hall, 1989.
5. Чочиа П. А. Методы преобразования изображений, использующие двухмасштабную модель. В кн.: *Кодирование и обработка изображений*, М.: Наука, 1988, стр. 98–112.

Статью представил к публикации член редколлегии Б. М. Миллер