

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Плекин В.Я., Малышев А.В.

Московский государственный авиационный институт

(технический университет)

125871, Москва, А-80, ГСП, Волоколамское шоссе д. 4.

Распознавание изображений, полученных в результате приема пришедшей от распознаваемого объекта пространственно распределенной электромагнитной энергии, является актуальной задачей современной радиолокации. Один из путей ее решения состоит в создании обработки принимаемых изображений алгоритмов, использующих методы цифровой обработки данных. Однако вследствие трудоемкости известных алгоритмов распознавания возникает проблема обеспечения ее решения в реальном масштабе времени с высокой степенью качества. Предлагается новый алгоритм распознавания, полученный с использованием математического аппарата вейвлет-преобразования, который позволяет найти одно из решений данной задачи.

Информация о принятом кадре изображения (ПКИ) в результате его дискретизации на основе методов цифровой обработки содержится в матрице изображения (МИ). Индексы каждого элемента этой матрицы совпадают со значениями неотрицательных целочисленных координат каждого пикселя ПКИ, а значение данного элемента равно уровню яркости этого пикселя [1].

В случае двумерного изображения алгоритм прямого вейвлет-преобразования изображения (ВПИ) можно представить в виде [2,3]:

$$\begin{aligned}
 BV_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h'(2k-n)h'(2l-m)BV_{j-1}(n, m) \\
 HV_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g'(2k-n)h'(2l-m)BV_{j-1}(n, m) \\
 VH_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h'(2k-n)g'(2l-m)BV_{j-1}(n, m) \\
 HH_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g'(2k-n)g'(2l-m)BV_{j-1}(n, m), \\
 m, n &= 0 \dots 2^j-1, \quad k, l = 0 \dots 2^{j-1}-1, \quad j = 0 \dots J, \\
 L &= 2^j-1, \quad h'(n) = h(L-n-1), \quad g'(n) = g(L-n-1),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где j - степень разрешения (СР), n и m - координаты пикселей изображения BV_{j-1} , k, l - координаты пикселей изображений BV_j, HV_j, VH_j, HH_j , $h(t), g(t)$ - импульсные характеристики пространственных фильтров.

Алгоритм (1) осуществляет разбиение исходного изображения BV_{j-1} на четыре, одно из которых BV_j содержит аппроксимацию исходного изображения BV_{j-1} с уменьшенным в два раза разрешением, а три других, HV_j, VH_j, HH_j , те детали изображения, которые не вошли в полученную аппроксимацию.

Импульсная характеристика (ИХ) фильтра $h(t)$ описывается вейвлетом Хаара $Fh(t)$, а ИХ фильтра $g(t)$ описывается масштабной функцией Хаара $Dh(t)$ [3]:

$$Fh(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq t < 1 \\ 0, & t < 0, t \geq 1, \end{cases} \quad Dh(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } 0 \leq t < 1 \\ 0, & \text{если } t < 0, 1 \leq t \end{cases} \tag{2}$$

Выбор таких функций обусловлен их негладкостью в смысле конечных разрывов, позволяющих лучше выделять области изображения, имеющие уровень яркости, отличающийся от уровня яркости граничащих с ним областей, то есть позволяет связывать пиксели в бинарные изображения.

При выполнении идентификации входного изображения с эталонным используется алгоритм обратного ВПИ, восстанавливающий изображение BV_{j-1} из BV_j, HV_j, VH_j и HH_j [2,3]:

где j - степень разрешения (СР), n и m - координаты пикселей изображений BV_j, HV_j, VH_j, HH_j , k, l - координаты пикселей изображений $BV_{j-1}, HV_{j-1}, VH_{j-1}, HH_{j-1}$, $h(t), g(t)$ - импульсные характеристики пространственных фильтров.

Соотношения (3) описывают преобразование исходного изображения BV_j в изображение с увеличенной в два раза степенью разрешения BV_{j-1} путем добавления в BV_j деталей, содержащихся в изображениях HV_j, VH_j, HH_j , что соответствует восстановлению исходного изображения.

$$\begin{aligned}
 BB'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h(2k-n)h(2l-m)BB_j(n, m) \\
 HB'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h(2k-n)h(2l-m)HB_j(n, m) \\
 BH'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h(2k-n)g(2l-m)BH_j(n, m) \\
 HH'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g(2k-n)g(2l-m)HH_j(n, m), \\
 BB_j(k, l) &= BB'_{j-1}(k, l) + HB'_{j-1}(k, l) + BH'_{j-1}(k, l) + HH'_{j-1}(k, l), \\
 j &= 0 \dots J, \quad m, n = 0 \dots 2^j-1, \quad k, l = 0 \dots 2^{j-1}-1,
 \end{aligned} \tag{3}$$

Идентификация исходного изображения на разных уровнях его разрешения при его пошаговом восстановлении в соответствии с алгоритмом (2), определяет процедуру многоуровневой идентификации. Идентификация на каждом уровне разрешения производится путем контурного описания и расфокусировки объектов изображения и получения оценки идентичности, формируемой при свертке полученного контура в исходном изображении с эталонными [1].

Алгоритм идентификации на каждом шаге восстановления имеет вид [1]:

$$Q = \arg \max_j S_{n,i}, \quad S_{n,i} = \max \frac{|(G, G_{эi}(d))|}{\|G\| \|G_{эi}(d)\|}, \tag{5}$$

где Q - оценка идентичности контуров, G - контур распознаваемого изображения, G_{эi} - контур i-ого эталонного изображения, d - количество векторов сдвига, S_{n,i} - скалярное произведение векторов.

Расфокусировка осуществляется фильтром, имеющего ИХ вида [1]:

$$h(x, y) = \exp \{ -(x^2 + y^2) / r_0^2 \} \tag{6}$$

где r₀ - коэффициент расфокусировки, x, y - пространственные координаты.

Окончательное решение об идентичности выносится только после выполнения последнего шага восстановления изображения и является конъюнкцией цепочки подтверждающих друг друга решений об идентичности изображений, полученных на разных шагах восстановления, некоторому эталонному. Так как оценка идентичности производится операцией свертки контуров, а это трудоемкая операция, то идентификация на крупнодетальном разрешении, при котором контуры изображения содержат меньше векторов, процедура идентификации осуществляется значительно быстрее. На мелкодетальном разрешении осуществляется подтверждение выбранного эталона и точная идентификация. Это позволяет решить дилемму между быстротой и качеством идентификации и снизить трудоемкость алгоритма идентификации. С целью оценки производительности разработанного алгоритма идентификации были произведены расчеты его трудоемкости N (количество элементарных операций) с использованием контурных построений, представленные на рис.1, на котором изображены зависимость N от степени разрешения j при идентификации.

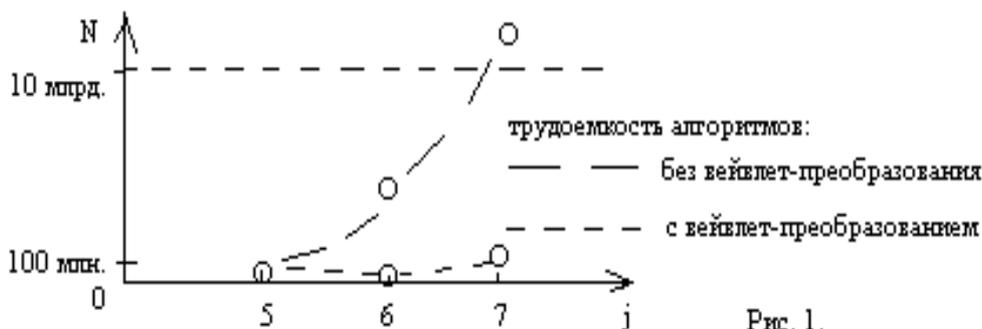


Рис. 1.

Расчеты показали, что, например, при использовании библиотеки из 100 эталонов трудоемкость алгоритма идентификации снижается примерно на два порядка, то есть трудоемкость алгоритма при идентификации со всеми эталонами приблизительно равна трудоемкости алгоритма без использования ВПИ при идентификации только с одним эталоном. Это позволяет существенно снизить время идентификации и приблизить его к реальному масштабу времени, что дает возможность перейти от использования многоканальной по числу эталонов структуры к одноканальной, а это обеспечивает значительное снижение аппаратурных затрат.

Предложенный алгоритм распознавания изображений, использующий аппарат вейвлет-преобразования, может быть применен при распознавании широкого класса объектов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Кревецкий А.В. Обработка изображений в системах ориентации летательных аппаратов. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. - 148 с.
2. Харатишвили Н.Г., Чхеидзе И.М., Ронсен Д., Инджия Ф.И. Пирамидальное кодирование изображений. - М.: Радио и связь, 1996. - 192с.
3. Mulcahy C. Ploting and Scheming with Wavelets // Mathematics Magazine. 1996. Vol. 69. N5. December. P. 323-343.



WAVELET TRANSFORM BASED IMAGE RECOGNITION ALGORITHM

Plekin V.J., Malyshev A.V.

Moscow statement aviation institute (technical university)
125871, Moscow, A-80,GSP, Volokolamskoe shosse, 4.

The wavelet transform is a very effective signal analysis tool for many problems for which other methods have been inapplicable. However, as yet no universal framework for image recognition from wavelet transform has been founded. In this correspondence, we construct wavelet transform based image recognition algorithm from discrete wavelet transform in terms of image decomposition in orthonormal wavelet Haar bases and show how to use the concept of multiresolution representation for digital image approximation with contour object identification in recognized images. This approach is useful for specific images, where other methods can not be applied. Also it is effective for real-time applications, when other methods for image recognition can be applied with difficulty because of its lack of rapidity.

In following, we briefly sketch the ideas behind the construction of wavelet transform based image recognition algorithm. Before note, that for possibility of using the discrete wavelet transform for input original image signal processing it in digital form are contained in image matrix with J degree of 2 dimension [1].

The first step of recognition algorithm is to obtain 2-dimension decomposition of the original image over N octaves from 0 to J-N+1 by recursively filtering N time with highpass filter g(t) and lowpass filter h(t) applied alternately in the x and y directions, giving on each octave images HHj, BHj, HBj and BBj from BBj-1. Each image BBj at octave j is the input original image approximation with 4 in degree j resolution. From j-1 level of resolution to j discrete wavelet transform algorithm for image decomposition are described as [2,3]

where j is the level of resolution, k, l are the coordinates of images HHj, BHj, HBj and BBj, n, m

$$\begin{aligned}
 BB_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h'(2k-n)h'(2l-m)BB_{j-1}(n, m) \\
 HB_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g'(2k-n)h'(2l-m)BB_{j-1}(n, m) \\
 BH_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h'(2k-n)g'(2l-m)BB_{j-1}(n, m) \\
 HH_j(k, l) &= (1/2) \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g'(2k-n)g'(2l-m)BB_{j-1}(n, m), \\
 L &= 2^j - 1, \quad h'(n) = h(L-n-1), \quad g'(n) = g(L-n-1),
 \end{aligned} \tag{1}$$

are the coordinates of image BBj-1, g(t), h(t) are the impulse responses quadrature mirror filters

The filter impulse responses g(t) and h(t) are derived from Haar scaling function and Haar wavelet accordingly [3]:

$$Fh(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } 0 \leq t < 1/2 \\ -1, & \text{if } 1/2 \leq t < 1 \\ 0, & \text{if } t < 0, t \geq 1, \end{cases} \quad Dh(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } 0 \leq t < 1 \\ 0, & \text{if } t < 0, 1 \leq t \end{cases} \tag{2}$$

This functions have been considered because of the theirs superior properties (e. g. locality and not flexibility, simplicity in computer implementation) that make them particularly well suited for construction of binary image and theirs recognition at different levels.

The second step of recognition algorithm is to reconstruct of the original image over N octaves from J-N+1 to 0 by recursively filtering N time with highpass filter g(t) and lowpass filter h(t) applied alternately in the x and

$$\begin{aligned}
 BB'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h(2k-n)h(2l-m)BB_j(n, m) \\
 HB'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h(2k-n)h(2l-m)HB_j(n, m) \\
 BH'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} h(2k-n)g(2l-m)BH_j(n, m) \\
 HH'_{j-1}(k, l) &= 2 \sum_{n=0}^{2^j-1} \sum_{m=0}^{2^j-1} g(2k-n)g(2l-m)HH_j(n, m), \\
 BB_j(k, l) &= BB'_{j-1}(k, l) + HB'_{j-1}(k, l) + BH'_{j-1}(k, l) + HH'_{j-1}(k, l), \\
 j &= 0 \dots J, \quad m, n = 0 \dots 2^j-1, \quad k, l = 0 \dots 2^{j-1}-1,
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

y directions, giving on each octave images BB_{j-1} from HH_j, HB_j, BH_j and BB_j. The image from j level of resolution to j-1 transformed inverse discrete wavelet transform algorithm are described as [2,3]:

where j is the level of resolution, m, n are the coordinates of images HH_j, HB_j, BH_j and BB_j, k, l are the coordinates of image HH_{j-1}, HB_{j-1}, BH_{j-1} and BB_{j-1}, g(t), h(t) are the impulse responses quadrature mirror filters.

This algorithm reconstructed original image and at each level are performed contour object identification. Estimation of identification are defined as [1]:

$$Q = \arg \max S_{n,i}, \quad S_{n,i} = \max \frac{|(G, G_{\text{эi}}(d))|}{\|G\| \|G_{\text{эi}}(d)\|},
 \tag{4}$$

where Q - is the estimation of identification, G - object contour from original image, G_{эi} - i pattern contour, d - vector shift number, S_{n,i} - vector inner product.

In result, final estimation of identification are obtained as conjunction of giving on each level estimations.

As result of computer estimation of the wavelet transform based image recognition algorithm a number of simple algorithmic operations have been obtained for three level. This results for wavelet transform based and ordinary algorithms are shown in Fig. 1.

This results show that wavelet transform based algorithm permits to solve of a dilemma

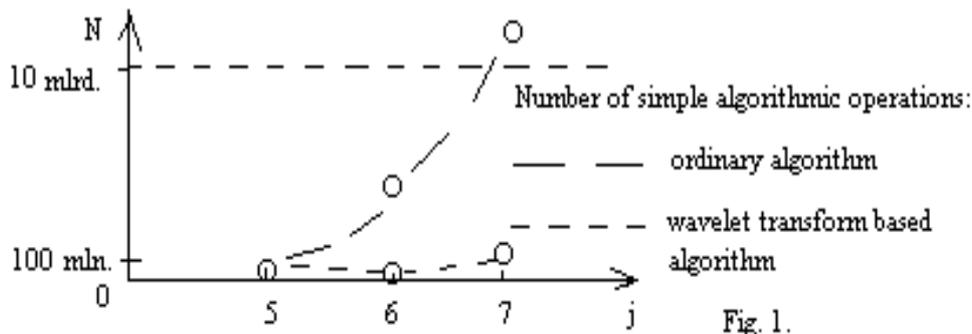


Fig. 1.

between speed and quality of image recognition.

REFERENCES

1. Кревецкий А.В. Обработка изображений в системах ориентации летательных аппаратов. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 1998. - 148с.
2. Харатишвили Н.Г., Чхеидзе И.М., Ронсен Д., Инджия Ф.И. Пирамидальное кодирование изображений. - М: Радио и связь, 1996.- 192с.
3. Mulcahy C. Ploting and Scheming with Wavelets // Mathematics Magazine. 1996. Vol. 69. N5. December. P. 323-343.