УДК 004.932-022.215

ВЫБОР ДЕСКРИПТОРОВ ПРИ ПРЕДСТАВЛЕНИИ И ОПИСАНИИ ГРАНИЦЫ БИНАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

МИТЮХИН А. И.

Институт информационных технологий БГУИР
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: mityuhin@bsuir.by

Аннотация. Решается задача эффективного представления и описания объектов на изображениях с целью, например, их быстрого распознавания. Рассматривается алгоритм представления и описания границы на основе применения процедуры кодирования и процедуры выбора дескрипторов с использованием декоррелирующего линейного ортогонального преобразования в системе координат собственных векторов ковариационной матрицы изображения объекта.

Abstract. The problem of effectively presenting and describing objects in images is solved for the purpose of, for example, their rapid recognition. The algorithm of presenting and describing the boundary is considered based on the application of the coding procedure and the procedure of selecting the handles using the decorating linear orthogonal transformation in the system of coordinates of the own vectors of the kovaritic matrix of the image of the object.

Введение

В ряде приложений, связанных с обработкой сигналов и изображений, ставится задача распознавания интересующей области изображения. Задача распознавания области существенно упрощается, если процесс получения изображения области и ее представления внешней характеристикой (границей) описывается упорядоченной последовательностью целых чисел. Применяя надежный алгоритм сегментации, множеству пикселей, отражающих границу на сетке, можно сопоставить цепной код [1]. Отличительной особенностью этого кода является запись кодового слова в виде целочисленной последовательности. Если изображение границы имеет сравнительно плавные очертания, можно утверждать, что кодовая последовательность цепного кода имеет высокую степень коррелированности. Учитывая это свойство, распознавание области по форме границы предлагается реализовать на основе подхода, где используются спектральные дескрипторы. Высокая степень коррелированности исходных данных и описание их в спектральной области позволяет повысить уровень дифференциации существенных дескрипторов образов. С точки зрения эффективности обработки изображения, это особенно важно при аппаратно- программой реализации классификатора образов.

Теоретические принципы

Пусть 2D цифровое бинарное изображение формируется с применением равномерной пространственной дискретизации и регистрации на сетке с равномерным шагом. Исходный сигнал изображения $g(m,n)$ отображается матрицей размером $N \times N$. Обозначение m соответствует положению пикселя в строке матрицы, n обозначает положение пикселя в столбце матрицы. Если M обозначает число пикселей отражающих границу, то для представления границы в виде координатных пар потребуется $K = 2M$ десятичных чисел. Разрядность чисел зависит от параметров дискретизации и размера $N \times N$ матрицы. Рассмотрим предлагаемые этапы обработки сигнала изображения.

П е р в ы й   э т а п. Вместо использования для представления границы всех значений координат (m,n) декартова произведения Z^2, более эффективная запись границы достигается посредством кодирования изображения 8-связным цепным кодом. В этом случае кодовое слово $x = (x_0, x_1, ..., x_{M-1})$ записывается в виде последовательности одноразрядных десятичных чисел определяемых на множестве $\{0,1,...,7\}$. Представление границы 8-связным цепным кодом потребует использования $\tilde{K} = M$ чисел. Для быстрого декодирования кода, синхронизации по началу кодового слова указываются координаты (m_0, n_0) начального (стартового) пикселя. На приемной стороне значения

(m_0, n_0) априори известны. Если изображения получены методом прогрессивной (построчной) развертки, точка (m_0, n_0) соответствуют самому верхнему левому пикселю границы. Для многих реальных задач представления границы бинарного изображения выполняется очевидное неравенство $\tilde{K} \ll K$, позволяющее иметь вычислительный выигрыш при обработке сигнала изображения.

Второй этап. Число дескрипторов, представляющих объект еще более можно сократить, если применить кодовому к слову $x = (x_0, x_1, ..., x_{M-1})$ линейное ортогональное преобразование, т.е. осуществить процесс декорреляции. В общем виде операция декорреляции сигнала определяется выражением

$$\hat{x}(v) = \sum_{m=0}^{M-1} x(m)h(m,v), 0 \le v \le M-1, \tag{1}$$

где $\hat{x}(v)$ – значения спектральных дескрипторов, $h(m,v)$ – ортонормированные базисные функции с соответствующими частотными параметрами v.

После преобразования коррелированных значений последовательности x часть коэффициентов преобразования $\hat{x} = (\hat{x}_0, \hat{x}_1, ..., \hat{x}_{M-1})$ становятся настолько малыми по величине, что их можно отбросить без практически заметного ухудшения качества восстанавливаемых данных. После фильтрации коэффициентов $\hat{x}$, сохраняются или передаются по каналу связи те спектральные дескрипторы, которые имеют максимальные значения дисперсии. В практических задачах распознавания образов дескрипторы удобно представлять в виде случайных векторов. Эффективное распознавание требует минимизации размера векторов дескрипторов, что эквивалентно уменьшению размера входа классификатора.

В качестве признаков, участвующих в описании и при распознавании классифицируемых изображений, могут выступать коэффициенты ДПФ (Фурье-дескрипторы), также коэффициенты таких действительных преобразований как ДКП, Уолша-Адамара, Хартли и др. Явным недостатком ДПФ является необходимость работы с комплексными числами, что приводит к удвоению вычислений. Кроме того, полной некоррелированности коэффициентов $\hat{x}$, используя названные преобразования, получить сложно.

Минимально возможное количество дескрипторов (полную декорреляцию) можно достичь, если использовать преобразование, где в качестве ядра $h(m,v)$ в выражении (1) используются собственные функции ковариационной матрицы исходных данных [2] .Для удобства запишем (1) в матричном виде.

$$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{H}\mathbf{X}, \tag{2}$$

где $\hat{\mathbf{X}}^T = (\hat{x}_0, \hat{x}_1, ..., \hat{x}_{M-1})$ – вектор дескрипторов, $\mathbf{X}^T = (x_0, x_1, ..., x_{M-1})$ – вектор цепного кода, $\mathbf{H}$ – ортонормированная матрица собственных векторов ковариационной матрицы $\mathbf{C}$ кода.

Обратное преобразование определяется как

$$\mathbf{X} = \mathbf{H}^T \hat{\mathbf{X}}. \tag{3}$$

Фильтрация (отбор) коэффициентов преобразования выполняется на основе дисперсионного критерия с учетом распределения собственных значений $\lambda = (\lambda_0, \lambda_1, ..., \lambda_{M-1})$ ковариационной матрицы

$$\hat{\mathbf{C}} = \mathrm{diag}(\lambda_0, \lambda_1, ..., \lambda_{M-1}) \tag{4}$$

в области преобразований. В этом случае, значение каждого собственного числа λ_i в точности соответствует величине дисперсии σ_i^2 i-го дескриптора. Эффективность описание границы в области преобразований сводится к отбору из множества $\{\hat{x}_0, \hat{x}_1, ..., \hat{x}_{M-1}\}$ дескрипторов, которые дают минимальное значение среднеквадратической ошибки ε после выполнения обратного преобразования (3).

Пример. Уменьшить размер входа обработки изображения границы озера, показанного на рис. 1.

После этапа сегментации данные в виде множество пикселей кодируются 8-связным цепным кодом. Граница представляется 32-точечной последовательностью

$$x = (7,0,1,0,6,6,6,0,0,7,5,4,5,4,4,4,5,3,3,4,4,3,3,4,3,1,1,1,0,0,0,1). \tag{5}$$

В лексикографическом представлении (4) с разверткой по столбцам последовательность x можно записать в виде матрицы $\mathbf{X}_l$

$$\mathbf{X}_l = \begin{pmatrix} 7 & 6 & 0 & 5 & 5 & 4 & 3 & 0 \\ 0 & 6 & 7 & 4 & 3 & 3 & 1 & 0 \\ 1 & 6 & 5 & 4 & 3 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 4 & 4 & 4 & 1 & 1 \end{pmatrix}^T. \qquad (6)$$

Вычисление распределения собственных значений λ(4) ковариационной матрицы кода показывает о высокой степени коррелированности отсчетов матрицы (6) и возможности эффективного описания исходных данных.

Рис.1. Аэрофотоснимок

Вычисленные собственные значения отражают соответствующие дисперсии дескрипторов и показаны в матрице (в области преобразований)

$$\hat{\mathbf{C}} = \mathrm{diag}(\lambda_0, \lambda_1, ..., \lambda_7) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}17 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9{,}65 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 21{,}92 \end{pmatrix}. \qquad (7)$$

Обратное преобразование реализовано с учетом распределения дисперсий (7) коэффициентов преобразования по матрице $\hat{\mathbf{X}}_l$, имеющей только 5 ненулевых значений.

$$\hat{\mathbf{X}}_l = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ . & . & . & . \\ 0 & -2{,}56 & -1{,}89 & 4{,}33 \\ -6{,}92 & 3{,}11 & 0 & 2{,}58 \end{pmatrix}.$$

Среднеквадратическая ошибки восстановленного изображения равна $\varepsilon \simeq 0{,}17$. Неправильно восстановилось значение только одного пиксела из 32-х (вместо числа «1» получено число «2,06»).

Заключение

В определенных приложениях предлагаемый алгоритм цифровой обработки сигналов и изображений может обеспечивать высокую степень сокращения данных.

Список использованных источников

1. Burger, W. Digital Image Processing / W. Burger, M. J. Burger. – Berlin : Springer-Verlag Heidelberg, 2005, 2006. – 515 c.
2. Mitsiukhin, A. Efficient Description of the Boundary of the Object under Observation / Proceedings; 59th IWK, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 11-15, 2017. db thueringen.de/rsc/ viewer/dbt_derivate_00039296/ilm1-2017iwk-018.pdf?page=6.