УДК 681.37

ОПИСАНИЕ КОНТУРА БИНАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ИНТЕРЕСА

А. И. Митюхин[1], В. К. Конопелько[2]

[1]Институт информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск;
[2]Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск

Рассматривается компактное представление данных, описывающих контур объекта интереса. Метод включает последовательное применение двух алгоритмов эффективного 2-D кодирования: пространственно-временного и спектрального. Эффективность достигается посредством применения кода Фримена и его представления конечным рядом коэффициентов разложения по базису собственных функций ковариационной матрицы исходных данных. Применение дисперсионного критерия к коэффициентам преобразования позволяет осуществлять эффективную передачу информации практически без искажений. Приводится пример сравнительной оценки эффективности сжатия рассматриваемого комбинированного и энтропийного методов кодирования.

Введение

При решении задач быстрой передачи изображений БПЛА возникают проблемы эффективного описания объектов интереса. Подобные задачи возникают при необходимости экологического контроля с использованием технологии аэрокосмического зондирования [1]. Для Беларуси актуально постоянное наблюдение территорий возможного затопления в юго-западных областях страны. Решение проблемы эффективного описания внешних контуров или границ объектов, связанное с быстрым поиском, идентификацией или распознаванием определенных объектов, востребовано для многих приложений (космических, промышленных, медицинских и пр.). Отличительным статистическим свойством типичного случайного бинарного изображения контура является высокая линейная зависимость (высокая коррелированность) значений смежных отсчетов. Коррелированность случайных величин позволяет осуществлять эффективное сжатие данных с практически нулевым значением ошибки восстановления. Если представить контур в виде упорядоченной последовательности пиксельных координат, то его можно легко закодировать цепным кодом Фримена [2]. Далее, применяя к коду сингулярное разложение, квантование и помехоустойчивое кодирование, можно реализовать эффективную и надежную (безопасную) передачу изображения по каналу с шумами.

Теоретические принципы

Представим изображение контура в виде случайной последовательности

$$g(x, y) = ((x_0, y_0), ..., (x_{n-1}, y_{n-1})), \tag{1}$$

где (x_i, y_i) – пространственные переменные, n – число пикселов контура.

Известно [3], определенная эффективность описания контуров достигается применением к последовательности (1) цепного кода Фримена. Вычислительный выигрыш обеспечивается за счет кодирования единичных значений пикселов равномерным двоичным кодом длиной в два или три чипа. Далее рассматривается кодирование с использованием восьмикомпонентной окрестности (трех чипов). В результате кодирования $g(x,y)$ формируется последовательность десятичных и, соответственно, двоичных символов кода Фримена. Последовательность кода можно считать выходом источника без памяти с известным значением энтропии. Так как величина энтропии не зависит от порядка следования символов, кодовую последовательность запишем в виде матрицы размером $M \times N$

$$\mathbf{C} = (c_{ij}), \tag{2}$$

состоящей из M реализаций случайных векторов размером N. Матрица $\mathbf{C}$ отражает источник C с вероятностями p_{ij} появления элементов кода. Знание распределения p_{ij} позволяет получить величину энтропии, оценить максимально возможную эффективность описания контура методом оптимального энтропийного кодирования [1]. К случайным векторам $\mathbf{c}_i = (c_0, ..., c_{N-1})^T$ кодовой матрицы (2) можно применить ортогональное преобразование, позволяющее минимизировать данные, используемые для описания контура. Наилучший результат минимизации достигается, когда в качестве базиса разложения рассматривается множество собственных векторов ковариационной матрицы $\mathrm{cov}(c_{ij})$ кода $\mathbf{C}$ (2), [4]. Хотя вычисление собственных чисел и собственных векторов – сравнительно трудоемкая вычислительная задача, в настоящее время ее решение вполне осуществимо за реальное время обработки. Рассматривается случай обработки, когда используется априорная информация источника. Наличие такой информации открывает возможности для уменьшения вычислительной сложности обработки, времени передачи и защиты данных. Будем считать, что векторы $\mathbf{c}_i$ центрированы средним вектором $E\{\mathbf{c}\}$. Преобразованию подлежит матрица

$$\mathbf{C}_e = \mathbf{C} - E\{\mathbf{c}\}. \tag{3}$$

Матрице $\mathbf{C}_e$ соответствует ковариационная матрица $\mathrm{cov}(\mathbf{C}_e)$ размером $N \times N$. Дискретное разложение матрицы $\mathbf{C}_e$ в системе координат, базовое пространство которого образуют собственные векторы матрицы $\mathrm{cov}(\mathbf{C}_e)$, можно записать в виде

$$\hat{\mathbf{C}}_e = \mathbf{A}^T \mathbf{C}_e, \tag{4}$$

где $\mathbf{A}^T$ – транспонированная матрица собственных векторов, $\hat{\mathbf{C}}_e$ – матрица коэффициентов преобразования. Компоненты векторов матрицы $\hat{\mathbf{C}}_e$ являются некоррелированными случайными величинами и рассматриваются как признаки, представляющие код Фримена. Для эффективного описания контура достаточно использовать коэффициенты векторов $\hat{\mathbf{c}}_i$, удовлетворяющие дисперсионному критерию [4]. Отбор коэффициентов $\hat{\mathbf{C}}_e$ связан с нахождением значений, которым соответствуют максимальные величины дисперсий множества $\{\hat{\sigma}_0^{\,2}, ..., \hat{\sigma}_{N-1}^2\}$. В области преобразования дисперсии $\hat{\sigma}_i^2$ имеют смысл собственных значений $\hat{\lambda}_i$ ковариационной матрицы $\mathrm{cov}(\hat{\mathbf{C}}_e)$ [4]. Тогда для кода в области преобразования справедливо равенство

$$\sum_i \hat{\sigma}_i^{\,2} = \sum_i \hat{\lambda}_i .$$

В соответствии с распределением значений собственных чисел

$$\hat{\lambda} = (\hat{\lambda}_0, \ldots, \hat{\lambda}_{N-1}) \tag{5}$$

далее осуществляется уменьшение размера входа обработки данных, описывающих контур. С использованием выражения (5) выделятся зона фильтрации спектральных признаков. Матрицы $\mathbf{A}$ и $\hat{\mathbf{C}}_e$ укорачиваются до размеров, обеспечивающих восстановление изображения контура с нулевой среднеквадратической ошибкой

$$\varepsilon = \sum_i \hat{\lambda}_i . \tag{6}$$

Пример кодирования и эффективного описания

Теоретические принципы метода иллюстрируются примером обработки сегментированного изображения посредством кодирования с помощью восьмикомпонентной окрестности и сжатия. На рисунке показано изображение объекта интереса.

Исходное изображение

Порождающая матрица $\mathbf{C}$ кода источника имеет вид

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 6 & 7 & 6 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 7 & 6 & 6 & 6 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 6 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 & 4 & 2 & 4 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 4 & 4 & 3 & 3 & 3 & 4 & 4 & 4 & 3 & 3 & 3 & 3 & 4 & 4 & 4 & 2 & 0 & 0 & 1 & 2 & 2 & 1 & 1 & 3 & 3 \end{pmatrix}. \tag{7}$$

Используя выражение (3), находим ковариационную матрицу $\mathrm{cov}(\mathbf{C}_e)$. Далее вычисляется, соответствующее этой матрице, распределение собственных значений λ_i (5)

$$\mathbf{\Lambda} = (\lambda_0, \lambda_1, \ldots, \lambda_{24}, \lambda_{25}, \lambda_{26}) = (0\,; 0; \ldots; 0;\; 22,4; 141,9) \tag{8}$$

и ядро преобразования $\mathbf{A}^T$. Полученная матрица коэффициентов преобразования $\hat{\mathbf{C}}_e$ (трансформант) (4) практически полностью состоит из нулевых значений:

$$\hat{\mathbf{C}}_e^{\,T} = \begin{pmatrix} \hat{c}_{0,0} & \hat{c}_{0,1} & \ldots & \hat{c}_{0,25} & \hat{c}_{0,26} \\ \hat{c}_{1,0} & \hat{c}_{1,1} & \ldots & \hat{c}_{1,25} & \hat{c}_{1,26} \\ \hat{c}_{2,0} & \hat{c}_{2,1} & \ldots & \hat{c}_{2,25} & \hat{c}_{2,26} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \ldots & 5,6 & 1,4 \\ 0 & 0 & \ldots & -3,2 & 11,2 \\ 0 & 0 & \ldots & -2,2 & -12,5 \end{pmatrix}. \tag{9}$$

Структура матрицы (9), включающая в себя шесть значащих элементов, позволяет обеспечить эффективную передачу по каналу изображения внешнего контура объекта с нулевым значением среднеквадратической ошибки. Если передавать только три трансформанты $c_{0,25}, c_{1,25}, c_{2,26}$, ошибка восстановления (6) равная $\varepsilon \cong 21,4$ практически не влияет на достоверность распознавания образа объекта интереса. Чтобы оценить эффективность предлагаемого алгоритма обработки сигнала, вычислим собственную энтропию кодированного источника. Для источника (7) с алфавитом из семи символов энтропия

$$H = H(p_0, \ldots, p_6) \cong 2,9 \text{ бит/символ},$$

где $p_i, i = 0, ..., 6,$ – вероятность символа источника.

Оптимальное кодирование источника должно удовлетворять соотношению

$$H + 1 > \overline{l} > H,$$

где $\overline{l}$ – средняя длина эффективного кода [1].

Информационная последовательность на выходе кодера источника (7) в наилучшем случае описывается двоичными чипами размером

$$M = 2,9 \times 81 \cong 235.$$

Отображение из действительных чисел матрицы (8) в целые числа **Z** выполним на основе равномерного скалярного квантования с шагом $Q = 0,05$. В этом случае обеспечивается стандартное восьмибитовое представление значений трансформант. Затраты L на кодирование коэффициентов $c_{0,25}, c_{1,25}, c_{2,26}$ составят 24 чипа. Эффективность кодирования (сжатия) информации источника составляет величину

$$K = \frac{M - L}{M} = \frac{235 - 24}{235} \cong 0,9 \text{ (или 90 \%)}.$$

На описание источника (7) требуется массив данных в 9,7 раз меньше исходного. Предлагаемый алгоритм обработки двухмерного сигнала обеспечивает сравнительно высокую степень сжатия с нулевой ошибкой восстановления изображения после процедуры декодирования.

Заключение

Подход на основе объединения метода кодирования сегментированных изображений объектов посредством цепного кода и метода ортогонального преобразования в базисе дискретных собственных функций позволяет осуществлять эффективное описание данных, имеющих высокую размерность. Применяя комбинированный алгоритм для приложений, связанных с распознаванием и хранением значительных информационных массивов, можно снизить технические затраты на хранение данных, более экономно использовать вычислительный ресурс, уменьшить энергетические затраты, ускорить процесс передачи и обработки информации. В результате сокращения времени на передачу информации повышается надежность системы с точки зрения информационной безопасности и снижается вероятность перехвата информации.

Список литературы

1. Gonzalez, R. C. Digital Image Processing / R. C. Gonzalez, R. E Woods. – New Jersey : Prentice Hall, 2002. – 793 p.

2. Burger, W. Digitale Bildverarbeitung. Eine Einführung mit Java und ImageJ / W. Burger, M. J. Burge. – Heidelberg : Springer-Verlag, 2005. – 520 p.

3. Jahne, B. Digital Image Processing. Concepts. Algorithms, and Scientific Applications / B. Jahne. – Heidelberg : Springer-Verlag, 2013. – 383 p.

4. Mitsiukhin, A. EFFICIENT DESCRIPTION OF THE BOUNDARY OF THE OBJECT UNDER OBSERVATION / A. Mitsiukhin // Engineering for a Changing World : Proceedings; 59th IWK, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, September 11-15, 2017. www.db-thueringen.de/rsc/viewer/dbt_derivate_00039296/ilm1-2017iwk-018.pdf?page=6.

https://www.db-thueringen.de/rsc/viewer/dbt_derivate_00039296/ilm1-2017iwk-018.pdf?x=0&y=1.1368683772161603e-13&scale=0.630241935483871&rotation=0&layout=singlePageLayout&page=1