Место и роль секвентного анализа в обработке двумерных сигналов

Б.В. Костров

ФГОУ ВПО «Рязанский государственный университет», kostrov.b.v@evm.rsreu.ru

В работе предложен подход к решению задачи автоматической классификации текстур по секвентным признакам методом дискриминантного анализа и предложены методы построения векторов секвентных текстурных признаков, направленные на сокращение размерности пространства признаков с сохранением информации о свойствах текстур, позволяющих производить их классификацию.

In paper offered approach to decision task of automatic classification texture for secvent descriptors by method discriminant analysis and put methods to construction vectors secvent texture indication to direct reduction of dimension with saving information about properties of texture that produce classification.

Типичным видом двумерного сигнала является электронное изображение земной поверхности, формируемое в процессе дистанционного зондирования Земли и объектов на ней.

Актуальность настоящей работы обусловлена необходимостью применения спектральных методов цифровой обработки изображений, альтернативных методам классического гармонического анализа и ориентированных на применение в цифровых вычислительных устройствах.

В результате прямого унитарного преобразования матрицы изображения $b(i,j)$ размером $M \times N$ образуется матрица преобразованного изображения того же размера, элементы которой по определению равны

$$\mathrm{B}(\mathrm{u,v}) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} b(i.j)\varphi_{(u,v)}(i,j), \tag{1}$$

цде $\varphi_{(u,v)}(i,j)$ – ядро прямого преобразования.

Исходное изображение можно получить с помощью обратного преобразования, описываемого соотношением:

$$b(i,j) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} B(u,v)\varphi^{-1}_{(u,v)(i,j)} \tag{2}$$

где $\varphi_{(u,v)}(i,j)$ – ядро обратного преобразования.

Особый интерес в этой связи представляют унитарные преобразования, основанные на нетригонометрических ортогональных системах базисных функций, в частности преобразование Уолша-Адамара с упорядочением по Уолшу (по секвенте).

Дискретизация функций Уолша приводит к переупорядоченной матрице Адамара размером NxN $(n = log_2 N)$, которую будем обозначать $\mathbf{H}_W$. Преобразование Уолша-Адамара $(WH)_W$ некоторого вектора $X = (X_0, X_1, \dots, X_{N-1})$ можно определить из матричного уравнения

$$B^x = \frac{1}{N} H_W X, \tag{3}$$

где B_u^X – u-й коэффициент $(WH)_W$ и $B^X = (B_0^x, B_1^x, \dots, B_{N-1}^x)$ – вектор-столбец коэффициентов $(WH)_W$, $\mathbf{H}_W$ – матрица Адамара $N\text{x}N$, упорядоченная по Уолшу.

Так как матрица $\mathbf{H}_W$ ортогональная и симметричная, то обратное преобразование Уолша-Адамара $(IWH)_W$ записывается следующим образом:

$$X = H_W B^X \tag{4}$$

Подводя итог приведенным рассуждениям можно сказать, что преобразование Уолша задается парой выражений, определяющих прямое и обратное действие:

$$B(u,v) = \frac{1}{MN}\sum_{i=0}^{M-1}\sum_{j=0}^{N-1} b(i,j) wal_{(u,v)}\left(\frac{i}{M}, \frac{j}{N}\right)$$

$$b(i,j) = \sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1} B(u,v) wal_{(i,j)}\left(\frac{u}{M}, \frac{v}{N}\right) \tag{5}$$

Секвентные методы фильтрации помех на АКИ

При переходе от гармонического к секвентному анализу происходит переход от обычной циклической свертки [3]

$$Z_n = \frac{1}{N}\sum_{s=0}^{N-1} X_s Y_{n-s}, n = \overline{0, N-1} \tag{6}$$

к диадической

$$Z_n = \frac{1}{N}\sum_{s=0}^{N-1} X_s Y_{n\oplus s}, n = \overline{0, N-1} \tag{7}$$

где $\{X_n\}$ и $\{Y_n\}$ – две последовательности действительных чисел, N – период последовательностей.

Процедура фильтрации заключается в умножении каждой спектральной составляющей $G(u,v)$ на соответствующее ей значение передаточной функции $\hat{H}(u,v)$. При этом вычисляется секвентный спектр восстановленного изображения:

$$\hat{B}(u,v) = G(u,v)\hat{H}(u,v) \tag{8}$$

Задача фильтрации групповых помех состоит в обнаружении их местоположения, то есть в построении наиболее точной оценки $\hat{R}(i,j)$ области локализации групповой помехи.

В основе разработанного алгоритма фильтрации несинхронных периодических помех лежит выделение отличий секвентных спектров искаженного и нормального изображений [2]. Ввиду особенностей алгоритма его можно подразделить на два этапа: подготовительный и основной. Подготовительный этап служит для расчета секвентных спектров, используемых на основном этапе, и выполняется однократно. На этом этапе формируется набор секвентных спектров соответствующего размера $\{N_{S,\alpha}(u,v\}$ для параметров S и α, принимающих значения в некоторых диапазонах через дискретные шаги

$$S = S_0, S_0 + \Delta S, \dots, S_0 + l\Delta S, \dots, S_m,$$
$$\alpha = \alpha_0, \alpha_0 + \Delta\alpha, \dots, \alpha_0 + l\Delta\alpha, \dots, \alpha_m - \Delta\alpha, \alpha_m \quad (9)$$

где l – натуральное число; S_0 и S_m – минимальная и максимальная ширина помехи; α_0 и α_m – минимальный и максимальный углы наклона; ΔS – шаг ширины; $\Delta\alpha$ – шаг угла.

На основном этапе алгоритма в первую очередь строится битовая маска выбросов секвентного спектра $G(u,v)$ искаженного изображения:

$$P(u,v) = \begin{cases} 1 \textit{ при } G(u,v) > \bar{B}(u,v) + 3\sqrt{D(u,v)}, \\ 0 \textit{ в остальных случаях}. \end{cases} \quad (10)$$

Далее для каждого спектра из набора, полученного на предварительном этапе, оценивается степень соответствия полученной характеристике помех, для этого используется следующая метрика:

$$d_{S,\alpha} = \sum_{(u,v):P(u,v)=1} \left| N_{S,\alpha}(u,v) \right|. \quad (11)$$

Для получения окончательного результата осуществляется обратный переход в пространственную область.

Для получения квазидвумерного представления запишем изображение в виде совокупности функций, каждая из которых соответствует столбцу

$$b(i,j) = \sum_{m=0}^{M-1} B_m(u,v), \quad (12)$$

где i – номер строки изображения; j – номер столбца; $\{b_m(i,j)\}, \mathrm{m} = \overline{0, M-1}$ – семейство функций, определяемых следующим образом: $b_m(\mathrm{i},\mathrm{j}) = \begin{cases} b(i,j), \text{если } m = i, \\ 0, \text{если } m \neq i. \end{cases}$

В секвентной области получим соответственно

$$B(u,v) = \sum_{m=0}^{M-1} B_m(u,v), \quad (13)$$

где $\{B_m(u,v)\}, \mathrm{m} = \overline{0, M-1}$ – семейство функций, определяемых следующим образом:

$$B_m(u,v) = \begin{cases} B(u,v), \text{если } m = u, \\ 0, \text{если } m \neq u. \end{cases}$$

Процесс фильтрации по-прежнему определяется в соответствии с формулой (8).

Передаточная функция фильтра для случая регулярных синхронных помех выражается следующим образом:

$$H(u,v) = \begin{cases} 1, \text{при всех } u \text{ и } v, \text{кроме } v = 2^{log_2 N - n}, \\ \dfrac{1}{K_n}, \text{при } v = 2^{log_2 N - n}, \end{cases} \quad (14)$$

где $\dfrac{1}{K_n}$ – коэффициент подавления секвенты с номером $v = 2^{log_2 N - n}$, N – количество элементов в строке, 2^n – шаг помехи.

Отклик скалярного фильтра в спектральной области будет иметь вид

$$H_{CK} = B_{u1}\ B_{u2} \dots\ B_{uN} \begin{pmatrix} h_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_{22} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & h_{NN} \end{pmatrix} = \left(B_{u1}h_{11}\ B_{u2}h_{22} \dots B_{uN}h_{NN}\right). \tag{15}$$

К основным достоинствам алгоритмов квазидвумерной фильтрации можно отнести использование однопроходного быстрого преобразования Уолша, позволяющего в 2 раза сократить время реализации алгоритмов, по сравнению с двумерной фильтрацией при сопоставимом качестве получаемых результатов.

Секвентные корреляционно-экстремальные методы совмещения АКИ

Методологическую и теоретическую основу применения секвентных методов для решения задачи совмещения АКИ составляет анализ спектральной плотности мощности сигналов.

Для случая вычисления взаимно-корреляционной функции двух изображений [3] формула для вещественно-диадной свертки принимает вид:

$$K_{\text{В.Д.}}(p,q) = \frac{1}{KL} sum\left(sum\left((H_W b_{\text{Эи}} H_W).* \left(H_W b_{\text{ТИ}}^{pq} H_W\right)\right)\right), \tag{16}$$

где $\mathbf{H_W}$ – матрица Адамара, K и L – размеры коррелируемых фрагментов, $\mathbf{b_{ЭИ}}$ и $\mathbf{b_{ТИ}^{pq}}$ – матрицы элементов эталонного и текущего изображений, зависящие от значений p и q, $.*$ – операция поэлементного умножения матриц, sum – операция суммирования элементов матрицы по столбцам.

В работе предложены следующие варианты указанных алгоритмов [4]:

1. С устранением информационной избыточности высокочастотной фильтрацией. При этом на спектры отождествленных фрагментов накладывается фильтр верхних частот вида:

$$H_{kl}^{\text{вч}} = \begin{cases} 0, \text{если } k \le a \text{ и } l \le b, \\ 1, \text{если } a < k \le K-1 \text{ или } b < l \le L-1, \end{cases} \tag{17}$$

где a и b – номера позиций в $\mathbf{H_{ВЧ}}$, до которых низкочастотные секвенты принимаются равными нулю.

Выражение для нахождения критериальной функции совмещения принимает вид:

$$\text{К}_{\text{ВЧ}}(p,q) = \frac{1}{KL} sum\left(sum\left((H_W b_{\text{Эи}} H_{\text{ВЧ}}).* \left(H_W b_{\text{ТИ}}^{pq} H_W .* \text{Н}_{\text{ВЧ}}\right)\right)\right) \tag{18}$$

2. С устранением информационной избыточности методом преобразования с прореживанием базисных функций. При этом строится модифицированная матрица Адамара $\mathbf{H_W^0}$, из которой удаляется часть строк, соответствующая низкочастотным секвентам [4].

В этом случае выражение для вычисления критериальной функции можно записать:

$$\text{К}_{\text{ВМ}}(p,q) = \frac{1}{KL} sum\left(sum\left((\text{Н}_W^0 b_{\text{Эи}} (H_W^0)^T .* H_{\text{ВЧ}}).* \left(H_W^0 b_{\text{ТИ}}^{pq} (H_W^0)^T .* \text{Н}_{\text{ВЧ}}\right)\right)\right) \tag{19}$$

где $\left(\mathbf{H_W^0}\right)^T$ – модифицированная матрица Адамара, транспонированная по отношению к

$\mathbf{H}_{\mathbf{W}}^{0}$.

3. С использованием квазидвумерного спектрального представления коррелируемых изображений. В соответствии с методом квазидвумерного спектрального представления спектральные коэффициенты вычисляются с помощью одномерного оператора, что в два раза сокращает объем вычислений при переходе в спектральное пространство

$$B = H_W b \tag{20}$$

Секвентные методы распознавания областей на АКИ

Проблема автоматической классификации текстур включает в себя проблему выбора признаков и проблему выбора дискриминантных функций. В ходе проведенного исследования были предложены методы построения векторов секвентных текстурных признаков [5]

$$x = (x_1, x_2, \dots x_n)^T \tag{21}$$

описывающих рассматриваемые образы.

Предложенный способ разбиения составляющих спектра на группы G_i позволяет получить упорядочение вектора признаков от нижних секвент к верхним, учесть блочную структуру секвентного спектра и меньшую информированность нижних секвент:

$$\bigcup_i G = G, G_i \cap G_j = \emptyset \text{ при } i \neq j \tag{22}$$

где G – множество координат всех спектральных составляющих.

Поскольку сформированные признаки в одном и том же векторе могут количественно отличаться в разы ввиду особенностей секвентных спектров изображений, можно перейти к нормированным векторам секвентных текстурных признаков $\mathbf{x}^o$:

$$x_i^o = \frac{x_i}{n_i}, \tag{23}$$

где i – номер признака, n_i – нормировочный коэффициент.

Результаты проведенных исследований в целом показывают, что использование секвентных методов упрощает решение задачи выделения текстурных признаков АКИ, и закладывают основу для дальнейшего развития научного направления, открывая перспективы практического использования секвентных признаков при построении систем автоматического распознавания областей на АКИ.

Литература

1. Костров Б.В. Корреляционно-экстремальный метод обнаружения цифровых сигналов // Цифровая обработка сигналов, №2, 2011. С. 46-51.
2. Злобин В.К., Костров Б.В., Саблина В.А. Алгоритм секвентной фильтрации групповых помех на изображении // Вестник РГРТУ, №4 (выпуск 30), 2009. С.3-7.
3. Колесенков А.Н., Костров Б.В., Саблина В.А. Применение вещественно-диадной свертки для идентификации аэрокосмических изображений // В мире научных открытий, 2011, вып.1. С. 122-128.
4. Колесенков А.Н., Костров Б.В. Метод прореживания базисных функций в корреляционно-экстремальных алгоритмах совмещения изображений // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ОТ, 2010, вып.1. С. 176-183.
5. Злобин В.К., Колесенков А.Н., Костров Б.В. Корреляционно-экстремальные методы совмещения аэрокосмических изображений // Вестник РГРТУ, №3 (выпуск 37), 2011. С. 12-17.