КВАЗИОПТИМАЛЬНЫЙ ФАЗОВЫЙ МЕТОД КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.М. БОЧКАРЕВ

Оптимальным нелинейным измерителем параметров оптического сигнала на фоне пространственно-временной помехи является следящее устройство корреляционного типа с дискриминационной характеристикой, определяемой производными функции пространственной корреляции текущего $T(x,y)$ и эталонного $S(x,y)$ изображений по ошибкам измерения [1]. При дискретном наблюдении и реализации оптимального метода корреляционно-экстремальной обработки (КЭО) на ЦВМ объем вычислений в пересчете на количество элементарных операций умножения пропорционален N^4, где N - число элементов разложения изображений в декартовых координатах X, Y. С целью снижения вычислительных затрат возможен переход от поэлементной обработки изображений к обработке их кодированных отображений.

Рассматриваемый метод основан на кодировании изображений с помощью ансамблей их интегральных преобразований (проекций) с последующим сравнением фазовых составляющих комплексных спектров проекции.

Под проекцией $p_\theta(x)$ изображения $S(x,y)$, взятой под углом θ, понимается интегральное преобразование вида

$$p_\theta(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} S[(x,y)A]\,dy,$$

где

$$A = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}.$$

Поскольку спектр проекции, взятой под углом θ, есть сечение спектра сигнала под тем же углом, то описание проекции в сигнальном пространстве является частичным описанием сигнала [2]. Следовательно, сравнение сигналов может быть заменено сравнением ансамблей их проекций.

С помощью метода математической индукции можно показать, что корреляционная функция изображений $T\{t_{ij}\}$ и $S\{s_{ij}\}$ размером $N \times N$, полученная с использованием их k проекций, размещенных равномерно в интервале $0 \div \pi$, имеет вид

$$R = \sum_{\ell=1}^{K} \sum_{n=1}^{N}{}' p_{T\ell}(x_n) \cdot p_{S\ell}(x_n) =$$
$$= K\left\{\sum_i \sum_j t_{ij} \cdot s_{ij} + \sum_i \sum_j t_{ij}\left(\sum_{K_\theta} s_{ij}\right) - \sum_i \sum_j s_{ij}^2\right\}, \tag{I}$$

где $\sum_{K_\theta} s_{ij}$ – сумма яркостей элементов изображения, лежащих на лучах всех K проекций, проходящих через элемент s_{ij}.

Первое слагаемое выражения (I) представляет собой корреляционную функцию при поэлементном сравнении изображений. Второе слагаемое является фоновой составляющей, которая при увеличении K стремит-ся к константе. Третье слагаемое характеризует энергию изображения $S\{s_{ij}\}$ и также может считаться постоянным.

При КЭО проекций изображений можно использовать только фазовые составляющие комплексных спектров, которые однозначно определяют проекции [3]. Правомерность перехода к методу фазовой корреляции подтверждается результатами эксперимента [4]. Фазовая составляющая комплексного спектра $\varphi_\theta(\omega)$ проекции $p_\theta(x)$ имеет вид

$$\varphi_\theta(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{-\sum_{n=0}^{N-1} p_\theta(x_n) \sin n\omega}{\sum_{n=0}^{N-1} p_\theta(x_n) \cos n\omega}.$$

Корреляционную функцию проекций текущего и эталонного изображений, взятых под углом θ, можно записать

$$R_\theta = \mathcal{F}^{-1}\left\{\exp\left[-j\left(\varphi_{T\theta}(\omega) - \varphi_{S\theta}(\omega)\right)\right]\right\},$$

где $\mathcal{F}^{-1}$ – символ обратного преобразования Фурье. Нулевое значение производной R_{θ} по ошибке η_{θ} определяет необходимый сдвиг проекции текущего изображения η^{*}_{θ} в направлении θ. Для получения оценок ошибок измерения λ_x, λ_y в декартовых координатах достаточно двух проекций, взятых под произвольными углами θ_1 и θ_2. Ошибки измерения определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} \alpha = \pm \arccos \dfrac{\eta^{*}_{\theta_1}}{\lambda} + \theta_1 + 2\pi n \\ \lambda = \dfrac{\eta^{*}_{\theta_2}}{\cos(\alpha - \theta_2)}, \end{cases} \qquad (2)$$

где

$$\lambda = \frac{\lambda_x}{\cos\alpha} = \frac{\lambda_y}{\sin\alpha}.$$

При малых θ и α приближенное решение системы уравнений (2) имеет вид

$$\lambda_x = \lambda_y = \eta^{*}_{\theta_1} + \theta_1 \cdot \frac{\eta^{*}_{\theta_2} - \eta^{*}_{\theta_1}}{\theta_1 - \theta_2}.$$

С целью снижения вероятности ошибки окончательные оценки λ^{*}_{x} и λ^{*}_{y} вычисляют путем статистического усреднения λ_x и λ_y, полученных для всех K проекций. Таким образом, квазиоптимальный измеритель с обработкой проекций изображений представляет собой многоканальное устройство. Число каналов, в которых производится корреляционная обработка фазовых составляющих комплексных спектров одномерных последовательностей, равно числу проекций.

Рассмотренный метод позволяет значительно сократить вычислительные затраты. Это обеспечивается благодаря сокращению исходной информации в N/K раз за счет формирования одномерных проекций и обработке проекций с использованием алгоритмов быстрого преобразования Фурье. Коэффициент сокращения вычислительных затрат γ равен

$$\gamma = \frac{N^3}{4K \log_2 N}.$$

При $N = 64$ и $K = 20$ объем вычислении сокращается более чем в 500 раз. Таким образом, метод расширяет возможности проведения КЭО в реальном масштабе времени.

Литература

I. Бакпицкия В.К. Оптимальное измерение параметров оптического сигнала на фоне пространотвенно-временной помехи.- Известия вузов СССР. Радиоэлектроника, I977, т.20, № 9, с.I7-2I.

2. Mersereau R.M. Recovering multidimensional signals from their projections. - Computer Graphics Image Processing, 1973, v.2, N2, pp. 179-195.

3. Hayes M.H., Lim J.S., Oppenheim A.V. Signal reconstruction from phase or magnitude. IEEE Trans., 1980, v. ASSP-28, N6, pp. 672-680.

4. Kuglin C.D., Hines D.C. The phase correlation image alignment method. IEEE Conference on Cybernetics and Society, 1975, p.p. 163-165.