

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А. М. Бочкарев

Корреляционно-экстремальная обработка изображений в спектральной области основана на связи взаимной корреляционной функции и взаимного энергетического спектра через преобразование Фурье. Применение спектральных методов корреляционно-экстремальной обработки позволяет сократить вычислительные затраты за счет использования алгоритмов быстрых спектральных преобразований, в частности алгоритмов быстрого преобразования Фурье [1, 2].

При использовании спектральных методов в фурье-области критериальная функция, т. е. функция, с помощью которой будет выноситься решение о сходстве сравниваемых изображений, вычисляется по формуле

$$R(\kappa) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \left\{ |S_T(m)| \cdot |S_S(m)| \right\}^{(1-L)} \cdot \exp \left[j \left(\frac{2\pi m \kappa}{N} + \varphi_T(m) - \varphi_S(m) \right) \right], \quad (1)$$

где

$$|S(m)| = \sqrt{\operatorname{Re}\{S(m)\}^2 + \operatorname{Im}\{S(m)\}^2}; \quad \varphi(m) = \arctg \frac{\operatorname{Im}\{S(m)\}}{\operatorname{Re}\{S(m)\}};$$

$$\operatorname{Re}\{S(m)\} = \sum_{l=0}^{N-1} s(l) \cdot \cos\left(\frac{2\pi l m}{N}\right);$$

$$\operatorname{Im}\{S(m)\} = - \sum_{l=0}^{N-1} s(l) \cdot \sin\left(\frac{2\pi l m}{N}\right);$$

$s(l)$, $S(m)$ — одномерные изображения и их спектры; N — число элементов разложения изображений; индексы t и s соответствуют текущему и эталонному изображениям; L — параметр, значение которого лежит в пределах от нуля до единицы; $|\cdot|$ — символ модуля.

Спектральные методы объединяют группу квазиоптимальных корреляционных алгоритмов. При значении параметра $L=0$ выражение (1) соответствует классическому корреляционному алгоритму, реализованному в спектральной области (ККА СО). При $L=1$ выражение (1) соответствует алгоритму фазовой корреляции (АФК), для которого характерно полное использование информации, заключенной в фазовой составляющей комплексного спектра изображения, и нормализация амплитудной составляющей спектра [3]. При $0 < L < 1$ выражение (1) соответствует модифицированному алгоритму фазовой корреляции (МАФК).

Физическая модель АФК может быть представлена в виде фильтра с частотной характеристикой

$$H_{\text{афк}}(\omega_x, \omega_y) = \kappa \frac{S_s^*(\omega_x, \omega_y)}{|S_T(\omega_x, \omega_y) \cdot S_s(\omega_x, \omega_y)|}, \quad (2)$$

где ω_x , ω_y — пространственные частоты; k — произвольная константа;
* — символ комплексного сопряжения.

Нетрудно заметить сходство структуры этого фильтра с известным в радиолокации фильтром Урковица или инверсным фильтром. Более того, при равенстве модулей спектров текущего и эталонного изображений обработка с помощью АФК эквивалентна фильтрации изображений с использованием инверсного фильтра.

Сравнение выражения (2) с выражением, определяющим частотную характеристику оптимального (в смысле максимального отношения сигнал-помеха по мощности) линейного фильтра, позволяет сделать вывод, что АФК является оптимальной процедурой обработки в случае пропорциональности или равенства спектральных плотностей мощности эталонного изображения и помехи. Это условие выполняется при наличии фоновой помехи, содержащей объекты, сходные с эталонным.

При проведении моделирования на ЭВМ эталонное и текущее изображения были представлены случайными двоичными последовательностями с равномерным распределением нулей и единиц. Моделировались искажения двух видов — высокочастотные и низкочастотные. В первом случае искажения задавались с помощью преобразования единиц в нули, и наоборот. Искаженные элементы были равномерно распределены по эталонному изображению. Во втором случае искаженная часть текущего изображения задавалась в виде нулевой матрицы. В качестве критериев эффективности алгоритмов были приняты вероятность ложной привязки и точность совмещения.

Расчеты на ЭВМ показали, что при искажениях первого вида вероятность ложной привязки у ККА СО меньше, чем у АФК. Вероятность ложной привязки у МАФК ($L=0,2 \dots 0,5$) также несколько уступает ККА СО, за исключением искажений малой интенсивности. Точностные характеристики всех трех алгоритмов не имеют существенных различий. При искажениях второго вида зависимости обеих характеристик эффективности от параметра L имеют экстремум при $L=0,1 \dots 0,3$. Это объясняется тем, что с ростом параметра L происходит относительное увеличение амплитуд высокочастотных составляющих спектра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипин В. В., Буймов А. Г. Применение быстрых спектральных преобразований в корреляционно-экстремальных системах. — В кн.: Корреляционно-экстремальные системы. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1982, с. 49—52.
2. Бочкарев А. М. Квазиоптимальный фазовый метод корреляционной обработки с использованием интегральных преобразований изображений. — В кн.: Корреляционно-экстремальные системы. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1982, с. 9—12.
3. Бочкарев А. М. Корреляционно-экстремальные системы навигации. — За рубежом радиоэлектроника, 1981, № 9, с. 28—53.