

ВЫВОДЫ

Функциональные возможности параллельно-последовательного метода вычисления двумерных корреляционных функций изображений позволяют естественным образом использовать априорную информацию о распознаваемых изображениях путем выбора оптимальных «весовых» функций.

Оптимизация «весовых» функций при задании эталонных изображений, обеспечиваемая выбором времени накопления и частотой квантования наиболее характерных участков эталонных изображений, увеличивает разницу между авто- и кросскорреляционными максимумами и в результате повышает надежность распознавания.

Экспериментальные исследования, выполненные на тестовых объектах, подтвердили результаты анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Duthie J. G., Upatnieks J., Christensen C. R., Mc Kenzie R. D. Real-time optical correlation with solid-state sources // SPIE: International Optical Computing Conference.— 1980.— V. 231.
2. Casasent D. Acoustooptic transducers in iterative optical vector-matrix processors // Appl. Opt.— 1982.— V. 21, N 10.— P. 1859.
3. Upatnieks J. Portable real-time coherent optical correlator // Appl. Opt.— 1983.— V. 22, N 48.— P. 2798.
4. Yu F. T. S., Lu X. J. Real-time optical scanning correlator // Appl. Opt.— 1984.— V. 23, N 48.— P. 3109.
5. Крупницкий Э. И. Гибридные оптико-электронные комплексы для обработки изображений // УНФ.— 1985.— Т. 23.— С. 132.
6. Гибин И. С., Разумова И. И., Тарков В. А. и др. Исследование двумерного параллельно-последовательного коррелятора изображений с интегрированием во времени // Оптическая обработка изображений: Сб. науч. статей/Под ред. С. Б. Гуревича, Г. А. Гаврилова.— Л.: Наука, 1985.
7. Ловенталь С., Бельво И. Пространственная фильтрация и голография — новое в когерентной оптике.— М.: Энергия, 1970.
8. Козик В. И., Опарин А. Н., Потатуркин О. И. Многоканальный оптико-электронный процессор с обработкой корреляционной функции // Автометрия.— 1985.— № 6.
9. Merkle F., Lösch T. Hybrid optical-digital pattern recognition // Appl. Opt.— 1984.— V. 23, N 10.— P. 1509.
10. Афанасьева О. А., Борзов С. М., Гибин И. С. и др. Восстановление изображений в итеративной оптико-электронной системе с обратной связью // Автометрия.— 1986.— № 2.
11. Тарков В. А. Двухкоординатное акустооптическое устройство отклонения изображений // Оптическая обработка изображений: Сб. науч. статей/Под ред. С. Б. Гуревича, Г. А. Гаврилова.— Л.: Наука, 1985.

Поступила в редакцию 25 февраля 1986 г.

УДК 535.317.1

И. Н. ТРОИЦКИЙ, М. С. УМАНСКИЙ

(Москва)

АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ МЕТОДОМ РАЗЛОЖЕНИЯ В ОРТОГОНАЛЬНЫЕ РЯДЫ

При использовании для восстановления томографических изображений алгоритма, основанного на разложении в ортогональные ряды, необходимо определить число используемых членов разложения и допустимый уровень флуктуаций, сопровождающих регистрацию исходных дан-

$$\widehat{f}_M(x, y) = \frac{1}{\pi} \sum_{m=0}^M \sum_{n=-m}^m (m+1) \widehat{C}_{mn} P_m^n(r) e^{in\varphi};$$

$$\widehat{C}_{mn} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 R_n(s, \varphi) U_m(s) e^{-in\varphi} ds d\varphi, R_n(s, \varphi) = R(s, \varphi) + n(s, \varphi), \quad (1)$$

где

$$\overline{n(s, \varphi)} = 0, \overline{n(s_1\varphi_1)n(s_2\varphi_2)} = N_0\delta(s_1 - s_2)\delta(\varphi_1 - \varphi_2);$$

$$x = r \cos \varphi; y = r \sin \varphi;$$

$R(s, \varphi)$ — не искаженные шумом проекционные данные; $U_m(s)$ — полиномы Чебышева 2-го ряда порядка m ; N_0 — спектральная плотность шума.

Разрешающую способность будем оценивать в соответствии с критерием Рэлея [2]. Пусть точечные источники имеют координаты $(0, -\Delta/2)$ и $(0, \Delta/2)$. Тогда критерий Рэлея при условии, что $\widehat{f}_M(x, y) = f_M(x, y)$, формулируется в виде неравенства

$$f_M(0, \Delta/2) - f_M(0, 0) > 0,19f_M(0, \Delta/2). \quad (2)$$

Наличие шумов приводит к восстановлению случайной функции $\widehat{f}_M(x, y)$, которая лишь похожа на $f_M(x, y)$. При этом флуктуируют как сами значения функции в точках расположения источников, так и координаты точек, где достигаются максимальные значения $\widehat{f}_M(x, y)$. Рассмотрим случай, когда отношение сигнал/шум достаточно велико. Тогда очевидно, что вносимые шумом искажения не приведут к существенным искажениям формы восстанавливаемой функции, так что большинство случайных реализаций $\widehat{f}_M(x, y)$ сохранят два максимальных значения и их расположение мало отклонится от точек $(0, -\Delta/2)$, $(0, \Delta/2)$. Что же касается локального минимума, то он также сохранится в окрестности точки $(0, 0)$. Для того чтобы в этих условиях удалось разрешить два источника, необходимо, несмотря на имеющиеся искажения, обнаружить эти максимумы. Для этого должно выполняться условие

$$0,19f_M(0, \Delta/2) > \sigma_v(0, 0), \quad (3)$$

где $\sigma_v(0, 0)$ — дисперсия значения восстанавливаемой функции в точке $(0, 0)$; γ — некоторая положительная величина, и чем она больше, тем с большей вероятностью будет замечен провал.

Таким образом, при появлении шума для разрешения двух точечных источников должны выполняться два неравенства (2) и (3). Исходя из неравенства (2), можно определить необходимое минимальное значение M , вычислить для полученного значения M величину $\sigma_v^2(0, 0)/N_0$ и, выбрав коэффициент γ , определить из неравенства (3) максимальное значение спектральной плотности шума N_0 , при котором еще будут разрешаться два точечных источника.

В реальных ситуациях всякий «точечный» источник, имеющий определенные размеры и конечную интенсивность, может быть описан функцией вида

$$f(x, y) = Ie^{-\frac{x^2+y^2}{2b^2}}, \quad (4)$$

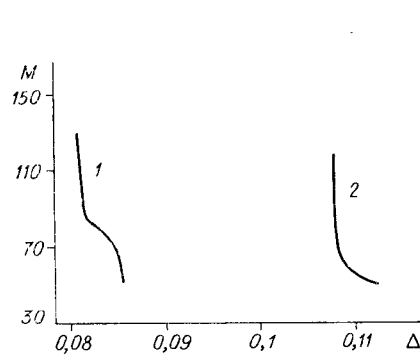


Рис. 1. Графики зависимости величины M от Δ :
1 — $b = 0,03$, 2 — $b = 0,04$

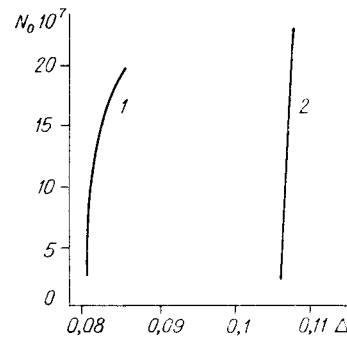


Рис. 2. Графики зависимости спектральной плотности шума от величины разрешающей способности:
1 — $b = 0,03$, 2 — $b = 0,04$

где b характеризует размер источника, I — его интенсивность. Для двух источников вида (4) в соответствии с неравенством (2) были определены зависимости величины M от Δ для различных значений параметра b (рис. 1). Отличительной особенностью этих кривых является уменьшение M с ростом Δ и стремление значений Δ к величине, определяемой размером источника b .

Для того чтобы воспользоваться неравенством (3), необходимо иметь аналитическое выражение для дисперсии $\sigma_B^2(0, 0)$. Оно определяется аналогично [3] и имеет вид

$$\sigma_B^2(0, 0) = \frac{N_0}{\pi^3} \sum_{m_1=0}^M \sum_{m_2=0}^M (-1)^{\frac{m_1+m_2}{2}} (m_1+1)(m_2+1) \sum_{k=\frac{|m_1-m_2|}{2}+1}^{\frac{m_1+m_2}{2}+1} \frac{1}{2k-1}. \quad (5)$$

С учетом (5) неравенство (3) примет вид

$$N_0 < \frac{(0,19)^2 f_m^2 \left(0, \frac{\Delta}{2}\right) \pi^3}{\gamma^2 \sum_{m_1=0}^M \sum_{m_2=0}^M (-1)^{\frac{m_1+m_2}{2}} (m_1+1)(m_2+1) \sum_{k=\frac{|m_1-m_2|}{2}+1}^{\frac{m_1+m_2}{2}+1} \frac{1}{2k-1}}. \quad (6)$$

На рис. 2 для $\gamma = 3$ представлен график зависимости допустимой спектральной плотности шума N_0 от выбранного разрешения для различных параметров b , когда источники описываются функциями (4). Из рисунка видно, что допустимые значения N_0 резко уменьшаются с уменьшением величины требуемого разрешения Δ .

Приведем численный пример совместного использования графиков рис. 1 и 2. Пусть требуется обеспечить разрешающую способность $\Delta = 0,083$. Из зависимости, представленной на рис. 1, определяем то минимальное число M , которое требуется использовать для восстановления изображения (оно более 80). Из рис. 2 находим, что N_0 должно быть меньше $1,5 \cdot 10^{-6}$. Аналогично для $\Delta = 0,085$ $M \geq 60$, $N_0 \leq 1,8 \cdot 10^{-6}$.

Таким образом, полученные зависимости позволяют выбрать величину M , определяющую число ортогональных полиномов, которое необходимо использовать, и сформулировать ограничение на допустимый уровень шума для реализации необходимого разрешения в восстанавливаемом изображении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луитт Р. М. Алгоритмы реконструкции с использованием интегральных преобразований // ТИИЭР.— 1983.— Т. 71, № 3.
2. Сивухин Д. В. Оптика.— М.: Наука, 1985.
3. Троицкий И. Н., Уманский М. С. Анализ алгоритма аппроксимации томографических проекций полиномами в условиях флуктуирующего информационного сигнала // Автометрия.— 1987.— № 6.

Поступила в редакцию 1 июня 1987 г.

УДК 621.396.962 : 517.217

Ю. Н. ГОРБУНОВ

(Челябинск)

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ ДАЛЬНОМЕТРИИ В ИМПУЛЬСНЫХ ОБЗОРНЫХ РЛС

Введение и постановка задачи. В измерителях дальности импульсных обзорных радиолокационных станций (РЛС) при малых отношениях сигнал/шум невозможно получить точные мгновенные отсчеты задержки эхосигналов отдельных зондирований, поэтому процесс измерения (оценивания) организуется не по одному, а по серии (пачке) n импульсов. В настоящее время для конкретных дальномерных систем определены оптимальные алгоритмы обработки, обеспечивающие предельно достижимую (потенциальную) точность измерений, однако желательно получить количественные характеристики точности в условиях «грубых» (малоразрядных) цифровых отсчетов задержки эхосигналов и ответить на вопрос: является ли наращивание разрядности текущих отсчетов единственным средством повышения точности измерения или точность измерения можно повысить за счет совместной алгоритмической обработки совокупности n отсчетов.

С целью анализа процедур уменьшения ошибок дискретности в статье предполагается, что для уточнения, связанного с истинной дальностью среднего положения $\tau_{ЦТ} \in [0, \tau_0]$ центра тяжести (ЦТ) эхосигнала в анализируемом j -м элементе разрешения (ЭР) τ_0 (рис. 1), используется один двоичный разряд:

$$\mu_i = \begin{cases} 1, & \text{если } t_i \leq \tau_i; \\ 0, & \text{если } t_i > \tau_i, \end{cases}$$

где τ_i — временной интервал, определяющий положение ЦТ сигнала на i -м зондировании ($W(\tau_i) - 3R\tau_i$); t_i — положение (фаза) i -го квантуемого импульса, используемого для интерполяции.

Если интерполяция положения ЦТ эхосигнала внутри ЭР τ_0 не производится, т. е. оценка дальности формируется на основе обычного подсчета интервалов τ_0 , то величина $\tau_{ЦТ}$, по существу, представляет собой среднюю ошибку дискретности измерения. По ансамблю возможных значений $\tau_{ЦТ}$ среднеквадратическая ошибка (СКО) дискретности измерений σ_0 для этого случая равна $\tau_0/2\sqrt{3}$. При малых перемещениях цели за время наблюдения, а также при достаточно больших отношениях сигнал/шум изменением $\tau_{ЦТ}$ и τ_i можно пренебречь, поэтому обычное усреднение «грубых» отсчетов с большим элементом (квантом) τ_0 по серии n импульсов не приводит к повышению точности измерения, так как ошибки измерений отдельных отсчетов практически имеют одинаковую величину и знак.