

97
Природов
97
АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

АВТОМЕТРИЯ

(Отдельный оттиск)

3

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
НОВОСИБИРСК · 1987

Сплошные кривые показывают проигрыш в точности квазиоптимальной оценки при априори известных значениях α и φ ($h=2$), штрихпунктирные кривые соответствуют случаю, когда неизвестно либо α , либо φ ($h=3$), и штриховые кривые, когда неизвестно ни α , ни φ ($h=4$). Кривые рис. 2 позволяют определить проигрыш в точности оценки за счет незнания интенсивности отдельных фрагментов и упрощения технической реализации алгоритма оценки при использовании вместо прямого метода (14) его квазиоптимального варианта (18).

Выигрыш в точности оценки при использовании квазиоптимального варианта прямого метода (18) по сравнению с косвенным (10) иллюстрируют кривые рис. 3. Здесь приведены зависимости отношения $h(\mu) = \bar{V}_1/\bar{V}_h$ рассеяний соответствующих оценок. Обозначения кривых рис. 3 и параметры, при которых они рассчитаны, такие же, как для рис. 2. Кривые рис. 3 показывают выигрыш в точности оценки за счет использования априорной информации о пространственной структуре сложного изображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосеев В. И., Широков Ф. В. Обнаружение и оценка положения источника сигнала, модулирующего пуассоновское случайное поле // Изв. вузов. Сер. Радиофизика.— 1975.— Т. 18, № 2.
2. Галун С. А., Зюльков А. В., Трифонов А. П. Оценка площади оптических изображений на фоне шумов // Автометрия.— 1983.— № 1.
3. Заворуев Ю. В., Тронцкий И. Н. Об оптимальном числе коэффициентов обобщенного ряда Фурье при распознавании маломощных оптических изображений // Автометрия.— 1977.— № 4.
4. Трифонов А. П., Зюльков А. В. Характеристики обнаружения и оценки положения источника сигнала, модулирующего пуассоновское случайное поле // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника.— 1981.— Т. 24, № 12.
5. Розенфельд Л., Дейвис Л. С. Сегментация и модели изображений // ТИИЭР.— 1979.— Т. 67, № 5.
6. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне помех.— М.: Сов. радио, 1978.

Поступила в редакцию 19 октября 1984 г.

УДК 621.391

Е. П. НЕЧАЕВ, А. П. ТРИФОНОВ
(Воронеж)

ОЦЕНКА ПЛОЩАДИ ПРОПАДАЮЩЕГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ФОНЕ ШУМОВ

При обработке изображения, зарегистрированного в картинной плоскости оптической системы, часто бывает необходимо измерить его площадь. В [1] рассмотрена оценка максимального правдоподобия площади и предложен простой вариант практической реализации оптимального измерителя; когда априори известно о наличии изображения на фоне шумов. Однако из-за ошибок наведения, случайности объектов наблюдения, отклонений луча, вызванных флуктуациями атмосферы, и ряда других причин полезный сигнал на входе устройства, формирующего изображение, может присутствовать с вероятностью, меньшей 1 [2, 3]. Представляет интерес найти потери в точности оценки площади за счет имеющейся в реальных условиях возможности пропадания полезного сигнала и определить пути повышения точности оценивания.

Оптическое черно-белое изображение будем описывать пуассоновским полем случайных точек [1, 3]. Пусть в области G наблюдается

реализация $N(\xi)$, $\xi = (\xi_1, \xi_2)$, пуассоновского поля случайных точек с интенсивностью $\lambda(\xi) = \theta_0 \lambda_s(\xi/\sqrt{\chi_0}) + \lambda_N$,

где
$$\lambda_s(\xi) = \begin{cases} \lambda_0, & \xi \in \Omega; \\ 0, & \xi \notin \Omega. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь θ_0 — несущественный параметр, отражающий возможность пропадания полезного изображения, причем $\theta_0 = 0$ с вероятностью p_0 и $\theta_0 = 1$ с вероятностью $p_1 = 1 - p_0$; $\lambda_s(\xi/\sqrt{\chi_0})$ — интенсивность полезного сигнала, которая зависит от параметра $\chi_0 \in [\chi_{\min}, \chi_{\max}]$, характеризующего площадь изображения; λ_N — интенсивность фона; Ω — область, ограниченная контуром изображения, площадь которой равна E_s . Если в выбранной системе координат $\xi_1, \xi_2 \in E_s = 1$, то параметр χ_0 численно равен площади изображения. В [1] предложен простой способ технической реализации приемника максимального правдоподобия, который формирует логарифм функционала отношения правдоподобия

$$M(\chi) = \ln(1 + \lambda_0/\lambda_N) N_\chi - \chi \lambda_0 E_s \quad (2)$$

для $\chi \in [\chi_{\min}, \chi_{\max}]$. Здесь N_χ — число точек реализации поля $N(\xi)$ в области, имеющей форму полезного изображения (1) с площадью χE_s . В качестве оценки максимального правдоподобия χ_m неизвестной площади χ_0 принимается положение абсолютного максимума процесса (2).

С ростом среднего числа зарегистрированных точек фона $\mu = \lambda_N E_s \chi_{\max}$ и полезного изображения $\mu_s = \lambda_0 E_s$ логарифм функционала отношения правдоподобия (2) сходится к марковскому гауссовому случайному процессу [1, 4]. Полагая $\mu \gg 1$, $\mu_s \gg 1$ и решая аналогично [1, 5] соответствующие уравнения Фоккера — Планка — Колмогорова, найдем вместе с распределением оценки χ_m ее смещение (систематическую ошибку) и рассеяние (средний квадрат ошибки):

$$d_p(\chi_m|\chi_0) = p_0 \chi_{\max} (v_1 + \mu^{-1} \Gamma_3^{-2}/2) + p_1 d(\chi_m|\chi_0); \quad (3)$$

$$V_p(\chi_m|\chi_0) = p_0 \chi_{\max}^2 (v_1^2 + v_1 \mu^{-1} \Gamma_3^{-2} + \mu^{-2} \Gamma_3^{-4}) + p_1 V(\chi_m|\chi_0). \quad (4)$$

Здесь $d(\chi_m|\chi_0)$, $V(\chi_m|\chi_0)$ — смещение и рассеяние оценки площади при наличии полезного изображения с вероятностью 1, найденные в [1], $q = \lambda_0/\lambda_N$, $v_1 = \chi_{\min}/\chi_{\max}$, $\Gamma_3 = q \ln^{-1}(1+q) - 1$. Точность формул (3), (4) возрастает с увеличением μ и μ_s . При $p_1 \rightarrow 1$ ($p_0 \rightarrow 0$) (3), (4) совпадают с характеристиками оценки максимального правдоподобия площади [1]. Проигрыш в точности оценивания за счет пропадания изображения будем характеризовать отношением $r_1 = V_p(\chi_m|\chi_0)/V(\chi_m|\chi_0)$. На рис. 1 приведены зависимости r_1 от величины q для $\mu = 10^3$. Сплошные линии соответствуют $v_1 = 0,1$, а штриховые — $v_1 = 0,3$. Кривые 1 построены при $p_1 = 0,1$, кривые 2 — $p_1 = 0,5$, кривые 3 — $p_1 = 0,9$. Из рис. 1 видно, что возможность пропадания полезного изображения существенно ухудшает точность оценивания.

Для повышения точности одновременно с площадью χ_0 будем оценивать несущественный параметр θ_0 . Логарифм функционала отношения правдоподобия неизвестных параметров θ и χ равен

$$M(\theta, \chi) = \ln(1 + \theta \lambda_0/\lambda_N) N_\chi - \theta \chi \lambda_0 E_s. \quad (5)$$

Максимизируя (5) по θ , получаем, что устройство для измерения площади должно по-прежнему формировать процесс (2), а затем определять величину M_m и положение χ_m его абсолютного максимума. Оценка площади находится следующим образом:

$$\hat{\chi} = \begin{cases} \chi_m, & M_m > 0; \\ 0, & M_m \leq 0. \end{cases} \quad (6)$$

Синтезированный измеритель площади пропадающего изображения может быть достаточно просто реализован с помощью устройства, пред-

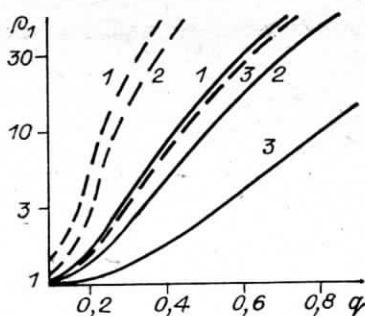


Рис. 1

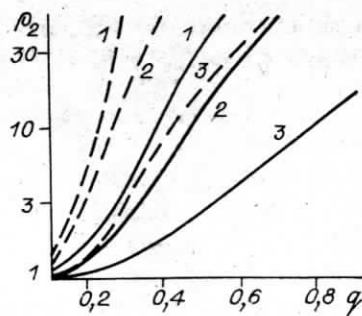


Рис. 2

ложенного в [1]. Для этого необходимо дополнить измеритель [4] устройством определения величины абсолютного максимума выходного сигнала и пороговым устройством, которое согласно (6) запирает выход измерителя, когда $M_m \leq 0$. Снова решая аналогично [1, 5, 6] соответствующие уравнения Фоккера — Планка — Колмогорова, найдем вместе с плотностью вероятности оценки (6) ее смещение и рассеяние:

$$\begin{aligned} d(\hat{\chi}|\chi_0) &= p_0 \chi_{\max} [(\nu_1 + \mu^{-1} \Gamma_3^{-2}) \Phi(-\sqrt{\mu \nu_1} \Gamma_3) + \sqrt{\nu_1/2\pi} \times \\ &\times \exp(-\mu \nu_1 \Gamma_3^2/2)/\Gamma_3] + p_1 [\Phi(\sqrt{\mu(1+q)} \nu_0 \Gamma_1 \ln(1+q)) d(\chi_m|\chi_0) - \chi_0 \beta(\chi_0)]; \\ V(\hat{\chi}|\chi_0) &= p_0 \chi_{\max}^2 [(\nu_1 \mu^{-1} \Gamma_3^{-2} + 2\mu^{-2} \Gamma_3^{-4} + \nu_1^2) \Phi(-\sqrt{\mu \nu_1} \Gamma_3) + \\ &+ \sqrt{\nu_1/2\pi} (\nu_1 \mu^{-1/2} \Gamma_3^{-1} + 2\mu^{-3/2} \Gamma_3^{-3}) \exp(-\mu \nu_1 \Gamma_3^2/2)] + \\ &+ p_1 [\Phi(\sqrt{\mu(1+q)} \nu_0 \Gamma_1 \ln(1+q)) V(\chi_m|\chi_0) + \chi_0^2 \beta(\chi_0)]. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь $\nu_0 = \chi_0/\chi_{\max}$, $\Gamma_1 = \ln^{-1}(1+q) - q(1+q)^{-1} \ln^{-2}(1+q)$; $\Phi(\cdot)$ — интеграл вероятности [4], а величина $\beta(\chi_0)$ равна [7]

$$\begin{aligned} \beta(\chi_0) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi \nu_0(1+q)}} \int_0^\infty \exp\left\{-\frac{[\xi + (q - \Gamma_3) \nu_0 \sqrt{\mu}]^2}{2\nu_0(1+q)}\right\} \times \\ &\times \left[2\Phi\left(\xi \sqrt{\frac{\nu_1}{(1+q)\nu_0(\nu_0 - \nu_1)}}\right) - 1\right] \left[\Phi(\Gamma_3 \sqrt{\mu(1-\nu_0)} + \frac{\xi}{\sqrt{1-\nu_0}}) - \right. \\ &\left. - \exp(-2\Gamma_3 \sqrt{\mu} \xi) \Phi\left(\Gamma_3 \sqrt{\mu(1-\nu_0)} - \frac{\xi}{\sqrt{1-\nu_0}}\right)\right] d\xi. \end{aligned}$$

Выигрыш в точности оценки площади при использовании алгоритма (6) вместо алгоритма [1] можно охарактеризовать отношением $\rho_2 = V_p(\chi_m|\chi_0)/V(\hat{\chi}|\chi_0)$, где $V_p(\chi_m|\chi_0)$ определяется из (4), а $V(\hat{\chi}|\chi_0)$ — из (7). На рис. 2 приведены зависимости $\rho_2(q)$ для $\nu_0 = 0,5$; $\mu = 10^3$. Остальные обозначения на рис. 2 соответствуют рис. 1. Согласно рис. 2 предложенная модификация (6) измерителя [1] позволяет существенно повысить точность оценки площади при неуверенности в наличии полезного изображения. Например, при $\nu_1 = 0,3$; $q = 0,4$; $p_1 = 0,9$ использование алгоритма [1] приводит к оценке, рассеяние которой превышает рассеяние оценки (6) на порядок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галун С. А., Зюльков А. В., Трифонов А. П. Оценка площади оптических изображений на фоне шумов // Автометрия. — 1983. — № 1.
2. Шереметев А. Г. Статистическая теория лазерной связи. — М.: Связь, 1971.
3. Гальярди Р. М., Карп Ш. Оптическая связь: Пер. с англ./Под ред. А. Г. Шереметева. — М.: Связь, 1978.
4. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М.: Радио и связь, 1982.
5. Трифонов А. П. Прием сигнала с неизвестной длительностью на фоне белого шума // Радиотехника и электроника. — 1977. — Т. 22, № 1.

6. Трифонов А. П., Бутейко В. К. Прием сигнала с неизвестной амплитудой и длительностью на фоне белого шума // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника.— 1984.— Т. 27, № 8.
7. Галун С. А., Зюльков А. В. Характеристики обнаружения оптического изображения с неизвестным масштабом // Прием пространственно-временных сигналов на фоне помех.— Воронеж: ВГУ, 1981.

Поступила в редакцию 14 мая 1985 г.

УДК 621.384.3.(088.8)

**В. И. БРИТИК, С. Л. ГОРЕЛИК, С. В. КОРОТКОВ,
А. И. КРИВОПУСТОВ, Л. С. ПОГОСТКИН, С. В. ФЕОФАНОВ**
(Ленинград)

ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕИНВАРИАНТНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Электронно-оптические преобразования давно используются при обработке изображений с целью повышения их качества, представления в форме, удобной для восприятия оператора, выделения признаков для распознавания образов и т. п. [1, 2]. Преимущества электронно-оптического метода перед оптическими состоят в более гибком управлении параметрами преобразований и в удобной стыковке с электронными, в том числе цифровыми, методами обработки изображений. В то же время сохраняются достоинства, присущие оптическим и другим параллельным методам преобразований, в быстродействии и возможности осуществления операций над изображением на более ранней стадии, что уменьшает влияние различных шумов. Особенно эффективен электронно-оптический метод в реализации пространственно-неинвариантных пространственных фильтров, в том числе локально-адаптивных, анализу которых и посвящена настоящая работа.

Алгоритм формирования электронно-оптического фильтра. Будем исходить из утверждения, что в общем виде выходной сигнал пространственного фильтра в точке входного изображения $g_{\text{вых}}$ с координатами $x_k = k_x h_x$, $y_k = k_y h_y$, где h_x , h_y — шаг дискретизации развертки изображения по осям X и Y ; k_x , k_y — номер элемента разложения по соответствующим осям, можно описать выражением

$$g_{\text{вых}}(k_x, k_y) = \mathcal{P} \{f_j(u_j)\}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где $\mathcal{P}$ — оператор, являющийся функцией n переменных (задает тип фильтра); f_j — функция одной переменной; j — порядковый номер элементарных апертур, из которых синтезируется пространственный фильтр; $u_j = u_j(x_k, y_k)$ — отклик j -й элементарной апертуры (элементарного фильтра). В случае электронно-оптической фильтрации отклик u_j представляет свертку входного сигнала $g_{\text{вх}}(x, y)$ с распределением энергии $\rho_j(x, y)$ в j -й апертуре. Последнее определяется совместным действием функций рассеяния электронно-лучевой трубки $\varepsilon_j(x, y)$ и оптической системы $O(x, y)$ (рис. 1), с помощью которых формируется элементарная апертура, осуществляется управление ее параметрами и сканирование плоскости обрабатываемого изображения. Функция распределения энергии в j -й апертуре параметрически обуславливается яркостью ρ_0 пятна

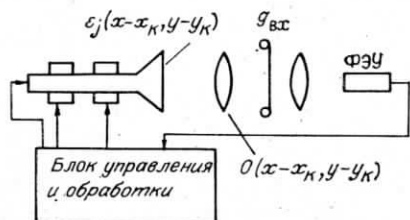


Рис. 1