АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
АВТОМЕТРИЯ
№ 3 1984

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 519.24

А. Ф. ОВЧАРЕНКО, В. М. ОРЛОВ
(Москва)

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ СДВИГА ФРАГМЕНТА ИЗОБРАЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

Существует определенный круг задач, так или иначе связанных с необходимостью совмещать двумерные поля (изображения) или локализовать их фрагменты. Настоящая работа посвящена вопросу выбора оптимальных по критерию максимального правдоподобия автоматических измерителей сдвига фрагмента в условиях изменчивости некоторых его характеристик.

Пусть $F_1(\mathbf{s})$ — исходное изображение; $F_2(\mathbf{s})$ — фрагмент изображения, полученный в других условиях; $\mathbf{s} = \{x, y\}$ — вектор пространственных координат. Известно, что исходное изображение включает в себя фрагмент F_2. Требуется его локализовать, т. е. определить координаты относительно изображения F_1.

Рассмотрим следующую модель наблюдения. Пусть

$$F_2(\mathbf{s}) = I_s\{V_\alpha[F_1(\mathbf{s}+\Delta)] + n(\mathbf{s})\}. \qquad (1)$$

Здесь I_s — оператор, выделяющий участок изображения с размерами фрагмента; V_α — оператор, изменяющий характеристики изображения и зависящий от вектора параметров $\boldsymbol{\alpha}$; $\Delta = \{\xi, \eta\}$ — вектор пространственного сдвига координат изображения, который требуется оценить в задаче; $n(\mathbf{s})$ — независимый от изображения аддитивный белый шум с нормальным законом распределения. Иными словами, будем считать, что F_1 (эталон) наблюдается в идеальных условиях (без шумов), а его фрагмент F_2 — при наличии шумов. Тогда в соответствии с критерием максимального правдоподобия оптимальный измеритель сдвига должен определять Δ из условия максимума функционала правдоподобия, который можно представить в виде

$$P(\Delta) = k\int W(\boldsymbol{\alpha}) \exp\left\{-N_0^{-1}\int\limits_S [F_2(\mathbf{s}) - V_\alpha(F_1(\mathbf{s}+\Delta))]^2 d\mathbf{s}\right\} d\boldsymbol{\alpha}, \qquad (2)$$

где k — некоторый коэффициент, не зависящий от Δ; $W(\boldsymbol{\alpha})$ — априорная плотность вероятности распределения вектора $\boldsymbol{\alpha}$; N_0 — пространственная спектральная плотность мощности шума; S — область, выделяемая оператором I_s. Понятно, что в этом случае требуется знание априорного распределения $W(\boldsymbol{\alpha})$, что не всегда возможно.

В работе [1] рассмотрен подход, позволяющий преодолеть эту трудность. Он сводится к поиску глобального максимума функционала правдоподобия в пространстве $\{\Delta, \alpha\}$. Получаемая при этом оценка Δ (при высокой точности измерений) близка к оценке, вытекающей из условия (2). В нашем случае такой подход сводится к определению Δ из условия минимума величины

$$d^2(\Delta, \boldsymbol{\alpha}) = S_0^{-1}\int\limits_S \{F_2(\mathbf{s}) - V_\alpha[F_1(\mathbf{s}+\Delta)]\}^2 d\mathbf{s}.$$

Здесь введен нормирующий множитель S_0^{-1} (S_0 — площадь фрагмента изображения). Поиск же глобального минимума в пространстве $\{\Delta, \alpha\}$ в ряде задач может быть сведен к поиску минимума величины

$$d^2(\Delta) = d^2[\Delta, \boldsymbol{\alpha}_m(\Delta)] = \min_{\boldsymbol{\alpha}} d^2(\Delta, \boldsymbol{\alpha}),$$

где составляющие α_i вектора параметров $\boldsymbol{\alpha}_m(\Delta)$ являются решением системы уравнений $\partial[d^2(\Delta, \boldsymbol{\alpha})]/\partial\alpha_i = 0$ при выполнении условий минимума.

Рассмотрим несколько частных случаев.

1. Пусть $V_\alpha[F] = F$, т. е. изменчивость отсутствует. В этом случае критерий максимального правдоподобия приводит к измерителю, позволяющему находить Δ

из условия минимума среднего квадрата разности:

$$d^2(\Delta) = S_0^{-1}\int\limits_S [F_2(s) - F_1(s+\Delta)]^2 ds. \quad (3)$$

Для полей, у которых величина $\int\limits_S F_1^2(s+\Delta)\,ds$ не зависит от Δ, это условие эквивалентно условию максимума корреляционного функционала

$$\widetilde{B}(\Delta) = S_0^{-1}\int\limits_S F_2(s)\,F_1(s+\Delta)\,ds. \quad (4)$$

Следует обратить внимание на то, что для неоднородных полей, которые наиболее часто встречаются в природе, применение условия (4) приводит к потере оптимальности измерителя.

2. Пусть $V_\alpha[F] = F + b$, где b — параметр, характеризующий изменение среднего уровня. В этом случае оптимальный измеритель должен находить Δ, исходя из условия минимума среднего квадрата разности центрированных величин:

$$d^2(\Delta) = S_0^{-1}\int\limits_S [\mathring{F}_2(s) - \mathring{F}_1(s+\Delta)]^2 ds, \quad (5)$$

где $\mathring{F}_2(s) = F_2(s) - S_0^{-1}\int\limits_S F_2(s)\,ds,\quad \mathring{F}_1(s+\Delta) = F_1(s+\Delta) - S_0^{-1}\int\limits_S F_1(s+\Delta)\,ds.$

3. Пусть $V_\alpha[F] = aF$, a — параметр, эквивалентный коэффициенту «усиления сигнала» в системе. Тогда оптимальный измеритель должен определять Δ из условия минимума величины

$$d^2(\Delta) = \widetilde{D}_2 - \widetilde{B}^2(\Delta)/\widetilde{D}_1(\Delta). \quad (6)$$

Здесь

$$\widetilde{D}_2 = S_0^{-1}\int\limits_S F_2^2(s)\,ds,\quad \widetilde{D}_1(\Delta) = S_0^{-1}\int\limits_S F_1^2(s+\Delta)\,ds.$$

Так как в рассматриваемой задаче $\widetilde{D}_2$ не зависит от Δ, то условие минимума (6) эквивалентно условию максимума модуля $|K(\Delta)|$, где

$$K(\Delta) = \widetilde{B}(\Delta)\,[\widetilde{D}_1(\Delta)\widetilde{D}_2]^{-1/2}.$$

4. Пусть $V_\alpha[F] = aF + b$, причем параметры a и b меняются независимо. В этом случае оценка для Δ должна находиться из условия минимума величины [2]

$$d^2(\Delta) = D_2 - B^2(\Delta)/D_1(\Delta). \quad (7)$$

Здесь

$$B(\Delta) = S_0^{-1}\int\limits_S \mathring{F}_2(s)\,\mathring{F}_1(s+\Delta)\,ds,\quad D_1(\Delta) = S_0^{-1}\int\limits_S \mathring{F}_1^2(s+\Delta)\,ds,\quad D_2 = S_0^{-1}\int \mathring{F}_2^2(s)\,ds.$$

Учитывая, что в рассматриваемой задаче D_2 не зависит от Δ, условие минимума (7) эквивалентно условию максимума модуля оценки коэффициента корреляции $|R(\Delta)|$, где

$$R(\Delta) = B(\Delta)\,[D_1(\Delta)D_2]^{-1/2}.$$

Ясно, что такой измеритель будет работать и в условиях, рассмотренных выше. Однако его характеристики несколько хуже оптимальных, так как часть априорной информации им не используется.

5. Пусть

$$V_\alpha[F] = \sum_i [a_i f_i(s) + b_i]\,\chi_i(s),\quad i = \overline{1, I}. \quad (8)$$

Здесь

$$\chi_i(s) = \begin{cases} 1 & \text{в } i\text{-й области,} \\ 0 & \text{вне } i\text{-й области.} \end{cases}$$

Иными словами, изображение состоит из мозаики неоднородных участков, изменчивость характеристик которых проявляется по-разному, причем параметры a_i и b_i независимы. В этом случае оптимальный измеритель должен определять Δ из условия минимума величины

$$d^2(\Delta) = \sum_{i_s} S_0^{-1} S_{i0} D_{2i}\left[1 - R_i^2(\Delta)\right], \quad (9)$$

где i_s — индексы тех областей, которые хотя бы частично попали в окно оператора I_s; S_i — участки областей, лежащие в окне оператора I_s; S_{i0} — площади этих участков; $D_{2i} = S_{i0}^{-1}\int\limits_{S_i}[\mathring{F}_{2i}(s)]^2 ds$; $D_{1i}(\Delta) = S_{i0}^{-1}\int\limits_{S_i}[\mathring{F}_{1i}(s+$

$$+ \Delta)]^2 ds; \quad R_i(\Delta) = B_i(\Delta)\,[D_{1i}(\Delta)\, D_{2i}]^{-1/2}; \quad B_i(\Delta) = S_{i0}^{-1} \int\limits_{S_i} \mathring{F}_{2i}(s)\, \mathring{F}_{1i}(s+\Delta)\, ds;$$

$$\mathring{F}_{2i}(s) = F_2(s) - S_{0i}^{-1} \int F_2(s)\, ds; \quad \mathring{F}_{1i}(s+\Delta) = F_1(s+\Delta) - S_{i0}^{-1} \int F_1(s+\Delta)\, ds.$$

ния, введенным в работе [3].

Таким образом, в данном сообщении показано, что оптимальный алгоритм измерения сдвига фрагмента существенно зависит от принятой модели возможных изменений характеристик изображения. Это необходимо учитывать при построении измерителей сдвига.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гуткин Л. С.** Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах.— М.: Сов. радио, 1977.
2. **Ковалевский В. А.** Корреляционный метод распознавания изображений.— ЖВМ и МФ, 1962, т. 2, № 4.
3. **Пытьев Ю. П.** Морфологические понятия в задачах анализа изображений.— ДАН, 1975, т. 224, № 6.

Поступило в редакцию 18 февраля 1983 г.

УДК 535.317.2 : 681.332

С. М. БОРЗОВ, О. И. ПОТАТУРКИН

(Новосибирск)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ В ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯТОРАХ

Практическое применение оптико-электронных устройств распознавания изображений на основе голографических корреляторов в значительной степени зависит от эксплуатационных характеристик и габаритов источников света. С этой точки зрения большой интерес представляют полупроводниковые лазеры, для которых характерны малые габариты, незначительная потребляемая мощность и низкая стоимость. Однако использование полупроводниковых лазеров в голографических корреляторах изображений сопряжено с рядом трудностей. Недостаточная монохроматичность и пространственная когерентность таких источников приводят к ограничению размерности обрабатываемых изображений и дополнительным искажениям вычисляемых корреляционных функций. Кроме того, следует отметить большую расходимость, малую мощность и анизотропию диаграммы направленности излучения. Некоторые из этих факторов существенны для всех типов голографических корреляторов (например, монохроматичность излучения), другие (пространственная когерентность, анизотропия диаграммы направленности излучения) характерны в основном для традиционных амплитудных корреляторов и не оказывают влияния на вычисления в голографических корреляторах интенсивности (ГКИ). Поэтому в работе исследуется возможность применения полупроводниковых лазеров в ГКИ.

Линейность обработки по интенсивности достигается в ГКИ различными способами. В данной работе выбран вариант обработки с усреднением результирующего светового распределения в корреляционной плоскости [1, 2]. Согласно [2], на выходе коррелятора получаем

$$g(r) = \iint\limits_{-\infty}^{\infty} \tilde{g}(r, r_1)\, \tilde{g}^*(r, r_1')\, \gamma(r_1 - r_1')\, dr_1' dr_1, \qquad (1)$$

где $\tilde{g}(r, r_1) = f(r_1) h(r + r_1) \exp[j\varphi(r + r_1)]$; $\gamma(\cdot) = \mathscr{F}[S(\omega)]$; $f(r)$ — амплитудное распределение распознаваемого изображения (РИ); $h(r)$ — амплитудное распределение эталонного изображения (ЭИ), промодулированного (при записи фильтра) случайной фазовой маской вида $\exp[j\varphi(r)]$; $S(\omega)$ — траектория спектра Фурье РИ в пло-