

$\mu_2 = (Q - Q_n) / Q_n$, где Q_n — количество точек, искаженных действием помехи; Q — количество точек эталона.

Как показали эксперименты, алгоритм, основанный на правиле (1), имеет существенные преимущества перед известным интегральным подходом. Так, для помехи с уровнем $\mu_2 = 4$, показанной на рис. 2, он обеспечивает частоту правильного определения координат объекта, равную 0,9, при соотношении $\mu_1 \geq 9$. В то же время использование интегрального метода при такой помехе вообще бессмысленно, так как частота правильного определения координат объекта близка к нулю.

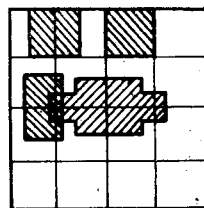


Рис. 2

Еще более существенны преимущества подхода в случае разбиения эталона на фрагменты, получаемые путем поэлементного сканирования окном 4×4 по полю эталона. Эксперименты показали [5], что в предельном случае разработанный подход позволяет определять координаты объекта с вероятностью, равной 0,95, при $\mu_2 \geq 0,4$, что соответствует возможному искажению 70% точек изображения. Для известного интегрального подхода это обеспечивается лишь при 15...20% искаженных точек, что соответствует $\mu_2 \geq 4$.

Как видим, при действии локальных помех предложенные алгоритмы обладают значительно большей помехозащищенностью, чем известные, и позволяют успешно решать широкий круг практических задач анализа изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкарев А. М. Корреляционно-экстремальные системы навигации.— Зарубеж. радиоэлектроника, 1981, № 9.
2. Красильников Н. Н. Статистическая теория передачи изображений.— М.: Связь, 1976.
3. Васильев В. И. Распознающие системы: Справочник.— Киев: Наук. думка, 1983.
4. Путятин Е. П., Савенков В. А., Кацалап С. Ф., Гороховатский В. А. Метод локальных корреляций при анализе изображений.— В кн.: АСУ и приборы автоматизации. Харьков: Вища шк., 1981, вып. 61.
5. Ковалевский В. А. Локальные и глобальные решения в распознавании изображений.— ТИИЭР, 1979, № 5.

Поступила в редакцию 12 ноября 1984 г.

УДК 535.853.6.001.2

С. Р. БАБУШКИН, И. А. ВОДОВАТОВ, С. А. РОГОВ
(Ленинград)

ВЛИЯНИЕ ОШИБОК ЮСТИРОВКИ НА РАБОТУ СИСТЕМ ОПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Распределение полей в оптических системах, осуществляющих преобразование Фурье и операцию корреляции, исследовалось рядом авторов [1—10]. Вопросы точности юстировки отдельных оптических элементов рассмотрены в [5—7]. Требования к точности установки транспаранта данных в передней фокальной плоскости Фурье-объектива при записи голограмм определены в [5]. В [6] проведен анализ условий восстановления и расчет ГЗУ, использующих голограммы Фурье. Получены выражения для продольного и поперечного смещений и увеличения изображения. В [7] определены требования к точности установки транспаранта данных и фотоматрицы, а также анализируется влияние несогласованности радиусов кривизны опорного и восстанавливающего пучков на качество изображения.

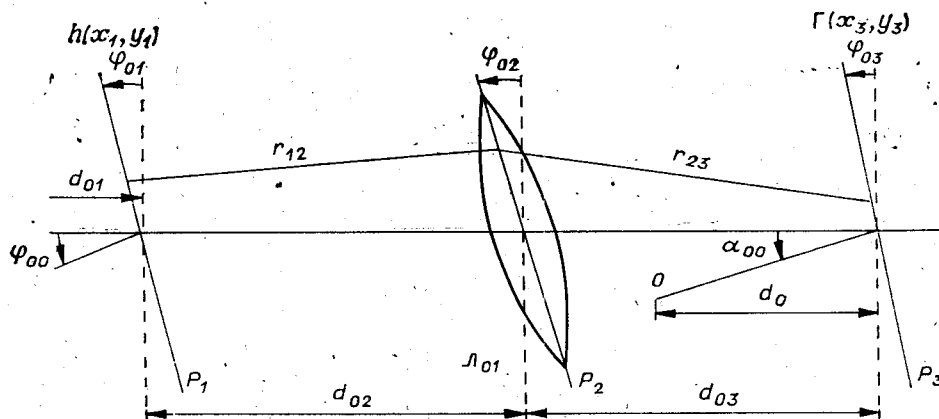


Рис. 1

На практике одновременно присутствуют ошибки юстировки всех элементов оптической системы. В [8] анализируются требования к точности установки основных элементов в оптической системе ГЗУ. С помощью методов матричной оптики показано, что основную роль в системах ГЗУ играют ошибки, связанные с точностью установки фотоматрицы в задней фокальной плоскости и несогласованностью фокусных расстояний объективов.

В данной работе аналогично [9] описывается влияние ошибок юстировки в системах, осуществляющих преобразование Фурье и операцию корреляции. Расчет производится аналогично [10] методом волновой оптики в приближении Френеля.

Анализ голографической записи фильтров Вандер Люгта. На рис. 1 проведена обобщенная схема записи голографического фильтра Вандер Люгта. Входной транспарант с функцией пропускания $h(x_1, y_1)$ установлен в плоскости P_1 , наклоненной от нормали к оптической оси на некоторый угол φ_{01} . Положим, что в общем случае транспарант повернут относительно оптической оси на угол ω_h и сдвинут вдоль осей x и y соответственно на расстояния a_h и b_h . Вдоль оптической оси на расстоянии d_{02} от входного транспаранта в плоскости P_2 размещена преобразующая линза L_{01} с фокусным расстоянием f_{01} , а на расстоянии d_{03} в плоскости P_3 — голограмма. Плоскость линзы L_{01} и голограмма $\Gamma(x_3, y_3)$ наклонены соответственно на углы φ_{02} и φ_{03} . Условимся отсчитывать углы φ_{0i} от нормали к оптической оси в направлении против часовой стрелки. В случае на рис. 1 все углы φ_{0i} выбраны положительными. Транспарант освещается сферической волной с радиусом кривизны d_{01} . При этом в общем случае источник освещающей волны может находиться не на оптической оси, а под некоторым углом φ_{00} . Сформированное в плоскости P_3 распределение поля, пропорциональное при определенных условиях преобразованию Фурье от функции входного пропускания $h(x_1, y_1)$, записывается с помощью точечного опорного источника, расположенного в некоторой точке «0» на расстоянии d_0 от центра голограммы под углом α_{00} к оптической оси.

Запишем поле освещающей волны в плоскости P_1 :

$$E(x_1, y_1) = E_1 \Psi(x_1, y_1, D_{01}) \exp[ikx_1 \sin(\varphi_{00} - \varphi_{01})],$$

где $k = 2\pi/\lambda$ — волновое число; E_1 — амплитуда освещающей волны; $D_{01} = 1/d_{01}$ — кривизна фронта освещающей волны; $\Psi(x_1, y_1, D_{01}) = \exp[i(\pi/\lambda)D_{01}(x_1^2 + y_1^2)]$.

Аналогично поле опорного пучка в плоскости P_3 может быть представлено в виде

$$E_3(x_3, y_3) = E_0 \Psi(x_3, y_3, D_0) e^{i2\pi v_0 x_3}.$$

Здесь $D_0 = 1/d_0$ — кривизна фронта опорной волны; ν_0 — пространственная частота в центре голограммы; E_0 — амплитуда опорной волны;

$$\nu_0 = (\sin(\alpha_{00} - \varphi_{03})) / \lambda. \quad (1)$$

Используя приближение Френеля [2], имеем следующее выражение для поля в плоскости P_3 :

$$E(x_3, y_3) = -E_1 \frac{D_{02} D_{03}}{\lambda} \iint_{P_1 P_2} h_1(x_1, y_1) \Psi(x_1, y_1, D_{01}) \times \\ \times e^{ikh_1 \sin(\varphi_{00} - \varphi_{01})} \Psi^*(x_2, y_2, F_{01}) e^{ik(\tau_{12} + \tau_{23})} dS_1 dS_2,$$

где $D_{02} = 1/d_{02}$; $D_{03} = 1/d_{03}$; $F_{01} = 1/f_{01}$;

$$r_{12} = d_{02} + x_1 \sin \varphi_{01} - x_2 \sin \varphi_{02} + \frac{1}{2d_{02}} (x_2 - x_1)^2 + \frac{2x_1 x_2}{d_{02}} \sin^2 \frac{(\varphi_{02} - \varphi_{01})}{2};$$

$$r_{23} = d_{03} + x_2 \sin \varphi_{02} - x_3 \sin \varphi_{03} + \frac{1}{2d_{03}} (x_3 - x_2)^2 + \frac{2x_2 x_3}{d_{03}} \sin^2 \frac{(\varphi_{03} - \varphi_{02})}{2};$$

$$dS_i = dx_i dy_i \quad (i = 1, 2);$$

$h_1(x_1, y_1) = h(x, y)$, а x_1, y_1 и x, y связаны между собой формулами преобразования координат.

Положим, что $d_{02} = f_{01} + \Delta d_{02}$; $d_{03} = f_{01} + \Delta d_{03}$, где $\Delta d_{0i}/f_{01} \ll 1$. Считая все ошибки юстировки достаточно малыми и рассматривая линейное приближение, можно показать, что непараллельность входной и выходной плоскостей с плоскостью линзы в указанном приближении не сказывается. Поэтому в дальнейшем рассмотрении помимо линейных членов будем учитывать также члены второго порядка малости относительно углов φ_i . Тогда при линейной записи голограммы выражение для одного из информационных членов ее амплитудного пропускания с точностью до постоянного коэффициента, учитывающего амплитуды освещающей и опорной волны и характеристики фотоматериала, можно представить в виде

$$t(x_3, y_3) = -\frac{iD_{02} D_{03}}{\lambda(D_{02} - F_{01} + D_{03})} e^{i\frac{2\pi}{\lambda} \alpha_{00} x_3} \Psi^*(x_3, y_3, D_{0h}) \times \\ \times \Psi\left(x_3, \frac{D_{03}^2 \Delta \varphi_{023}^2}{D_{02} - F_{01} + D_{03}}\right) \exp[-i2\pi(a_h \xi_h + b_h \eta_h)] \tilde{H}^*(x_3, y_3), \quad (2)$$

где знак * означает комплексное сопряжение и введены обозначения:

$$\tilde{H}(x_3, y_3) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y) \Psi(x, y, D_{0\Sigma}) \Psi^*\left(x, \frac{D_{02}^2 \Delta \varphi_{012}^2}{D_{02} - F_{01} + D_{03}}\right) \times \\ \times e^{-i\frac{\pi}{2}(\Delta \varphi_{012}^2 + \Delta \varphi_{023}^2) \xi_h x} e^{i\frac{2\pi}{\lambda} \varphi_{00} x} e^{-i2\pi \omega_h (\xi_h y - \eta_h x)} e^{-i2\pi(\xi_h x + \eta_h y)} dx dy; \quad (3)$$

$$\xi_h = \frac{D_{02} D_{03} x}{\lambda(D_{02} - F_{01} + D_{03})} \simeq \frac{1}{\lambda f_{01}} x_3; \quad \eta_h = \frac{D_{02} D_{03} y_3}{\lambda(D_{02} - F_{01} + D_{03})} \simeq \frac{1}{\lambda f_{01}} y_3; \quad (4)$$

$$D_{0h} = D_{03} - \frac{D_{03}^2}{D_{02} - F_{01} + D_{03}} - D_0 \simeq -\frac{1}{d_0} - \frac{\Delta d_{02}}{f_{01}^2};$$

$$D_{0\Sigma} = D_{01} + D_{02} - \frac{D_{02}^2}{D_{02} - F_{01} + D_{03}} \simeq \frac{1}{d_{01}} - \frac{\Delta d_{03}}{f_{01}^2}; \quad (5)$$

$$\Delta \varphi_{0ik} = \varphi_{0i} - \varphi_{0k}.$$

Из (2) видно, что голограмма в общем случае обладает фокусирующими свойствами. Ее эквивалентное фокусное расстояние определяется параметрами функций Ψ и зависит от фокусного расстояния линзы и

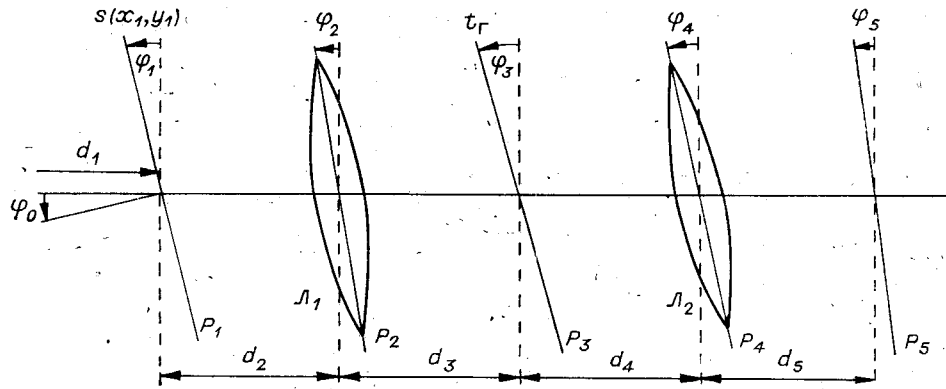


Рис. 2

ее расположения относительно входного транспаранта и голограммы. При этом непараллельность плоскостей линзы и голограммы приводит к появлению астигматизма.

В свою очередь, из (3) следует, что непараллельность плоскости линзы к входной плоскости приводит в общем случае к расфокусировке и изменению масштаба фурье-образа. Используя известный из теории антенн критерий дальней зоны [11], получим следующие условия формирования фурье-образа на голограмме:

$$(|D_{0h}| f_{01} + \Delta\varphi_{023}^2) \xi_{hm}^2 + |D_{0h}| f_{01} \eta_{hm}^2 \leq \frac{1}{8\lambda f_{01}^2}; \quad (6)$$

$$|D_{0\Sigma}| (x_{hm}^2 + y_{hm}^2) f_{01} + \Delta\varphi_{012}^2 x_{hm}^2 \leq \frac{\lambda f_{01}}{2}; \quad (7)$$

$$\frac{1}{4} (\Delta\varphi_{012}^2 + \Delta\varphi_{023}^2) |\xi_{hm} x_{hm}| + \omega_h [|\xi_{hm} y_{hm}| + |\eta_{hm} x_{hm}|] \leq \frac{1}{8}, \quad (8)$$

где x_{hm} , y_{hm} , ξ_{hm} , η_{hm} — максимальные линейные размеры и частоты опорного сигнала по осям x и y .

Как нетрудно видеть, (6) позволяет найти ошибки юстировки, при которых можно пренебречь фокусирующими свойствами голограммы, (7) является обобщением известного условия формирования неискаженного фурье-образа [3]: $0 = D_{01} + D_{02} - \frac{D_{02}^2}{D_{02} - F_{01} + D_{03}}$, а последнее условие (8) определяет равенство и постоянство масштаба частот преобразования по координатным осям.

Анализ пространственной фильтрации в когерентных системах обработки. Обобщенная схема пространственной фильтрации приведена на рис. 2. Во входной плоскости P_1 расположено устройство ввода сигналов, например акустооптический модулятор, представляемое в виде транспаранта с функцией амплитудного пропускания $s(x_1, y_1)$. В частотной плоскости P_2 находится голографический фильтр с коэффициентом амплитудного пропускания $t(x_r, y_r)$, определяемым (2). В общем случае входной транспарант и голографический фильтр могут быть смещены вдоль координатных осей соответственно на величины a_s , b_s и a_r , b_r и повернуты на углы ω_s , ω_r . Кроме того, все элементы коррелятора могут быть наклонены на соответствующие углы φ_i от нормального положения. Тогда при освещении входного транспаранта сферической волной с радиусом кривизны d_1 в том же, что и выше, приближении малых ошибок в установке элементов коррелятора с точностью до постоянного коэффициента найдем следующее выражение для поля в выходной плоскости:

$$E(x_5, y_5) = e^{ikh_5 \varphi_5} \Psi(x_5, y_5, D_h) \Psi\left(x_5, \frac{\Delta\varphi_{45}^2}{f_2^2}\right) \int \tilde{S}(x_3, y_3) \tilde{H}^*(x_r, y_r) \times$$

$$\times \Psi(x_3, y_3, D_\Sigma) \Psi(x_3, D_{\Delta\Phi}) \exp\left[-\frac{i\pi}{2}(\Delta\varphi_{34}^2 + \Delta\varphi_{45}^2)x_3x_5\right] \times \quad (9)$$

$$\times \exp\{-i2\pi[(\xi_5 + \Delta\xi)x_3 + (\eta_5 + \Delta\eta)y_3]\} dx_3 dy_3,$$

где

$$D_h = -\frac{\Delta d_4}{f_2^2}, \quad D_\Sigma = \frac{1}{d_0} + \frac{\Delta d_{02}}{f_{01}^2} - \frac{\Delta d_2'}{f_1^2} - \frac{\Delta d_5}{f_2^2},$$

$$D_{\Delta\Phi} = \frac{1}{f_1} \Delta\varphi_{23}^2 - \frac{1}{f_{01}} \Delta\varphi_{023}^2 - \frac{1}{f_2} \Delta\varphi_{45}^2; \quad (10)$$

$$\Delta\xi = \frac{1}{\lambda} \left(\alpha_{00} - \varphi_3 + \frac{a_s}{f_1} - \frac{a_h}{f_{01}} \right); \quad \Delta\eta = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{b_s}{f_1} - \frac{b_h}{f_{01}} \right);$$

$$x_r = x_3 - a_r + \omega_r y_3; \quad y_r = y_3 - b_r - \omega_r x_3$$

и $S(x_3, y_3)$ определяется из (3)–(5) при замене параметров системы записи голограммы на соответствующие параметры первого каскада коррелятора. В дальнейшем для сокращения записи будем считать, что запись голограммы осуществляется в первом каскаде коррелятора, дополненной схемой формирования опорной волны, т. е. $D_{02} = D_2$; $D_{03} = D_3$; $F_{01} = F_1$.

Полагая, что условия формирования фурье-образа (7) и (8) выполнены как при записи голограммы, так и при преобразовании входного сигнала, из (9) и (10) найдем следующие условия, обеспечивающие неискаженное формирование автокорреляционной функции:

$$\frac{1}{\lambda f_1} (|a_r x_{hm}| + |b_r y_{hm}|) + |\omega_h| (|\xi_{hm} y_{hm}| + |\eta_{hm} x_{hm}|) \leq \frac{1}{8}; \quad (11)$$

$$\lambda (\xi_{mm}^2 + \eta_{mm}^2) |D_{0\Sigma}| f_1^2 + \lambda \xi_{mm}^2 |D_{\Delta\Phi}| f_1^2 \leq \frac{1}{8}; \quad (12)$$

$$\frac{f_1}{f_2} |\xi_{mm} x_m| \frac{\Delta\varphi_{34}^2 + \Delta\varphi_{45}^2}{4} + |\xi_{mm}| [|\alpha_{00} - \varphi_3| f_1 +$$

$$+ |a_s - a_h|] + |\eta_{mm}| |b_s - b_h| \leq \frac{1}{8}, \quad (13)$$

где η_{mm} , ξ_{mm} — минимальные из максимальных частот входного и опорного сигналов; $x_m = x_{hm} + x_{sm}$; $y_m = y_{hm} + y_{sm}$. Как нетрудно видеть, (11) определяет условие совмещения спектров входного и опорного сигналов, (12) является условием формирования корреляционной функции, а (13) представляет собой условие равенства масштаба частот по вертикальной и горизонтальной осям.

Влияние ошибок юстировки в оптических системах обработки информации. Рассмотрим влияние ошибок юстировки в простейших оптических каскадах, выполняющих преобразование Фурье, на примере систем оптического моделирования микроволновых полей [12]. В этом случае условие юстировки вдоль оптической оси (7) соответствует условию дальней зоны в радиосистеме. Используя (4) и (5), запишем (7) в виде

$$\Delta_\Sigma = \frac{|\Delta d_3|}{f_1} + \frac{\delta_K f_1}{f_K f_K} + \Delta\varphi_{12}^2 \leq \frac{\lambda f_1}{2L_{hm}^2}, \quad (14)$$

где $L_{hm} = \sqrt{x_{hm}^2 + y_{hm}^2}$ — максимальный линейный размер входного сигнала; f_K — фокусное расстояние коллимирующей линзы; $\delta_K = \frac{f_K^2}{d_1}$ — дефокусировка коллиматора. Условие (14) является исходным для определения допустимых ошибок юстировки простейшей системы оптического моделирования. Например, при $\lambda = 0,63$ мкм, $f_1 = 500$ мм и $L_{hm} = 10$ мм из (14) имеем, что суммарная ошибка юстировки не должна превышать $\Delta_\Sigma = 0,5 \times 10^{-2}$. Отсюда следует, что в отсутствие других ошибок юстировки требуемые точность установки регистрирующей системы $|\Delta d_3|/f_1 \leq$

$\leq 0,15 \cdot 10^{-2}$, величина дефокусировки коллиматора $\delta_R/f_R \leq 0,15 \cdot 10^{-2}$, а непараллельность плоскостей линзы и входного транспаранта $\Delta\varphi_{12} \leq 2^\circ$. При совместном действии допустимые ошибки должны быть меньше прохода АОМ, найдем вместо (14)

$$\Delta_{\Sigma c} = \frac{|\Delta d_3|}{f_1} + \frac{\delta_R f_1}{f_R f_R} + \Delta\varphi_{12}^2 \leq \frac{\lambda (\Delta f_M)^2 f_1}{2v_{\text{зв}}^2}. \quad (15)$$

В частности, при $\lambda = 0,63$ мкм, $f_1 = 250$ мм, $v_{\text{зв}} = 4 \cdot 10^3$ м/с и $D_M = 80$ мм, что соответствует $\Delta f_M = 50$ кГц, суммарная ошибка юстировки спектроанализатора не должна превышать $\Delta_{\Sigma c} = 1,3 \cdot 10^{-5}$. Из (15) также следует, что требования к точности установки и к величине дефокусировки коллиматора в автоколлимационных системах одинаковы.

Аналогично изложенному, анализируя (8), нетрудно определить допустимые угловые ошибки ($\Delta\varphi_{12}^2 + \Delta\varphi_{23}^2$) и ω_h . В частности, при $L_{hm} = 10$ мм, $\xi_{hm} = 100$ мм $^{-1}$, $\lambda = 0,63$ мкм, $f_1 = 500$ мм непараллельность входной и выходной плоскостей относительно плоскости линзы не должна превышать $\approx 0,5^\circ$, а угол поворота входного транспаранта $\omega_h \leq 0,75^\circ$.

Рассматривая условия (11)–(13), можно определить допустимые ошибки юстировки и в оптическом корреляторе. Условие (12) запишем в виде

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{\Delta d_5}{f_2} + \Delta\varphi_{45}^2 \leq \frac{f_2}{8\lambda f_1^2 (\xi_{mm}^2 + \eta_{mm}^2)}. \quad (16)$$

При $\lambda = 0,63$ мкм, $f_1 = f_2 = 500$ мм, $\xi_{mm} = \xi_{hm} = \eta_{mm} = \eta_{hm} = 100$ мм $^{-1}$, $x_{hm} = y_{hm} = 10$ мм $\Delta_{\Sigma} = 2 \cdot 10^{-5}$. Условие (11) при тех же параметрах системы будет иметь вид

$$\Delta_{\Sigma} = |a_r|/f_1 + \lambda |\xi_{hm}| |\omega_r| \leq \lambda / (16|x_{hm}|) = 4 \cdot 10^{-6},$$

т. е. наиболее жесткие требования следует предъявлять к точности установки голографического фильтра. При отсутствии других ошибок юстировки точность его установки в частотной плоскости $|a_r| \leq 2$ мкм, а угловая ошибка $|\omega_r| \leq 0,2$ мин.

При экспериментальной проверке полученных результатов исследовалось влияние продольных и поперечных сдвигов голографических согласованных фильтров. Оптическая система (см. рис. 2) имела следующие параметры: $f_1 = 1600$ мм, $f_2 = 250$ мм, $d_1 = 1600$ мм, $d_2 = 100$ мм, $d_3 = 1600$ мм, $d_4 = 100$ мм. На фотопластинках типа ЛОИ-2 записывались амплитудные голограммы спектров прямоугольных апертур в виде узких щелей длиной $L = (10 \dots 30)$ мм, которые затем использовались для получения автокорреляции. На выходе системы обработки измерялась интенсивность света в максимуме автокорреляционного пика. На

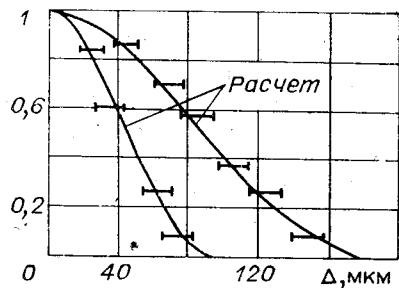


Рис. 3

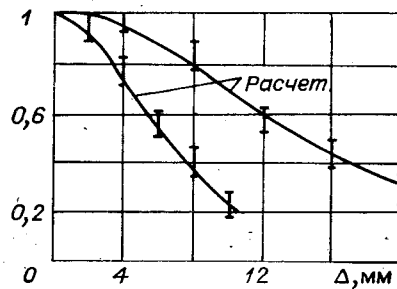


Рис. 4

рис. 3 приведена зависимость относительной величины корреляционного максимума от поперечного смещения фильтра. Расчетные формулы можно получить из (9), если в (9) учесть только поперечные смещения фильтра, а остальными ошибками юстировки пренебречь. Из рис. 3 видно, что экспериментальные «точки» хорошо совпадают с расчетными кривыми. Зависимость максимума выходного сигнала от продольного сдвига голограммы для двух значений длины сигнала L показана на рис. 4. Расчетные формулы могут быть получены из (9), если в (9) учесть только продольное смещение фильтра. В этом случае экспериментальные результаты также совпадают с расчетными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданова Е. С., Соскин С. И. Влияние aberrаций оптической системы на емкость голографической памяти.— Автометрия, 1975, № 3.
2. Соскин С. И., Шойдин С. А. Расчет оптической схемы голографического запоминающего устройства.— Опт. и спектр., 1978, т. 44, № 3.
3. Соскин С. И., Шойдин С. А. Оптимизация параметров голографического устройства с учетом aberrаций.— Опт. и спектр., 1978, т. 44, № 6.
4. Acos Gy., Kiss G., Varga P. Effect of lens aberrations on the storage capacity of holographic memories.— Opt. Commun., 1977, v. 20, N 1, p. 63.
5. Гибин И. С., Пен Е. Ф., Твердохлеб П. Е. Устройство для записи матриц голограмм.— Автометрия, 1973, № 5.
6. Scamor R. Alignment and design conditional for optical memory systems using Fourier transform holograms.— Optica Acta, 1978, v. 25, N 2, p. 107.
7. Домбровский В. А., Домбровский С. А., Пен Е. Ф. Влияние параметров гауссового опорного пучка на искажение восстановленного из голограммы изображения.— Опт. и спектр., 1978, т. 45, № 5.
8. Домбровский В. А., Домбровский С. А. Требования к aberrациям оптических элементов и точности их установки в голограммных ЗУ.— Автометрия, 1982, № 6.
9. Водоватов И. А., Рогов С. А., Бабушкин С. Р. Влияние ошибок юстировки на работу систем оптической обработки информации.— В кн.: V Всесоюз. школа по оптической обработке информации: Тез. докл. Киев, 1984.
10. Кольер Р., Берхарт К., Лин Л. Оптическая голография.— М., 1973.
11. Шелкунов С., Фрис Г. Антенны.— М.: Сов. радио, 1955.
12. Бахрах Л. Д., Курочкин А. Г. Голография в микроволновой технике.— М.: Сов. радио, 1979.

Поступила в редакцию 14 мая 1985 г.

УДК 539.238 : 621.372.8

Л. Н. ДЕРЮГИН, В. Н. МАЛЫШ, А. Н. ОСОВИЦКИЙ

(Москва)

ВОЛНОВОДНЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ БОЛЬШОЙ ПЛОЩАДИ В РЕЖИМЕ ВЫВОДА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Перспективность ряда устройств интегральной оптики [1—4] и их предельные характеристики определяются в основном размерами (длинной или площадью) дифракционного элемента, который выполняется в виде участка волновода с периодически модулированными параметрами. Так, разрешение по спектру в схемах уплотнителей и делителей частотных каналов [1], интегрально-оптических спектроанализаторов [2] пропорционально эффективной длине излучающей дифракционной структуры. От величины площади дифракционного элемента ввода зависят энергетические и пространственно-частотные характеристики интегральных фотоприемных устройств [3]. Увеличение площади обеспечивает рост чувствительности и пространственно-частотной избирательности этих