

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СХЕМ ОПТИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯТОРОВ

В.А. Зубов, А.В. Крайский, Т.Т. Султанов

УДК 535.8:535.411

Сопоставлены экспериментальные и расчетные данные, полученные для интерференционного коррелятора со схемой модифицированного двухлучевого интерферометра типа Маха – Цендера. Работы выполнялись с бинарными транспарантами, рассчитанными на ЭВМ по программе случайных чисел. Показано, что такие транспаранты позволяют вполне надежно определять характеристики коррелятора.

Для анализа работы схем оптических корреляторов и различных режимов их работы представляет интерес использование модельных транспарантов, удобных для расчета и достаточно адекватно описывающих реальные обрабатываемые структуры входной информации с учетом помех и фильтра /1/. В настоящей работе для моделирования объектов и фоновых сигналов использованы транспаранты с двоичной информацией, подобные рассмотренным в /2, 3/. Они являются хорошей моделью реальных обрабатываемых транспарантов для штриховых изображений.

Для проверки качества модели проводились эксперименты с интерференционным коррелятором со схемой модифицированного двухлучевого интерферометра Маха – Цендера, управляемого от ЭВМ /4, 5/. Такая схема обладает рядом особенностей. При выравнивании длин оптических путей в плечах интерферометра и совмещении пространственных структур световых пучков резко снижаются требования к когерентности источника излучения. Наличие двух отдельных каналов позволяет производить в них независимую дополнительную обработку информации для исследуемого изображения и фильтра, получать абсолютное значение функции корреляции и разностную или суммарную картину полей от транспаранта и фильтра. Управление экспериментальной установкой осуществлялось на основе двухуровневой системы ЭВМ.

Транспаранты, предназначенные для получения характеристик коррелятора, рассчитывались на ЭВМ по программе случайных чисел, печатались и

переснимались с уменьшением на фотопластинки ВРП, в результате чего промежутки между знаками печати становились темными. Они имели разную вероятность p заполнения прозрачными элементами в диапазоне от 0,1 до 0,9. Транспаранты различаются по общей прозрачности. Пропускание прозрачных элементов T^2 находится в интервале 0,657 — 0,821, пропускание темных элементов и двумерной сетки L^2 — в интервале 0,0005 — 0,0065, отношение полной площади ячейки к площади печатного знака a/β — в диапазоне 1,009 — 2,347. Для исключения влияния различия общей прозрачности производились измерения сигналов, соответствующих двум закрытым каналам интерферометра I_T , каждому из каналов интерферометра I_{1c} и $I_{2c} + I_{2ш}$ и двум открытым каналам интерферометра $I(x)$. Дальнейшая обработка выполнялась по следующей схеме /3/: 1) исключение темнового фона $I_{1c} - I_T, I_{2c} + I_{2ш} - I_T, I(x) - I_T$; 2) выделение интерференционного сигнала $I_i(x) = [I(x) - I_T] - [I_{1c} - I_T + (I_{2c} + I_{2ш} - I_T)]$; 3) нормировка функции корреляции $I_{нк}(x) = I_i(x) / [2\sqrt{(I_{1c} - I_T)(I_{2c} + I_{2ш} - I_T)}]$.

При анализе процесса корреляционной обработки учитывалось то, что интерференционная составляющая в выходном сигнале при произвольном перекрытии транспарантов с совпадением элементов определяется следующими обстоятельствами: l прозрачных элементов TP1 совпадут с m прозрачными элементами и с $(l - m)$ темными элементами TP2, соответственно $(N - l)$ темных элементов TP1 совпадут с k прозрачными элементами и с $[N - (l + k)]$ темными элементами TP2, где N — полное число элементов в пределах рабочей области в интерферометре. Двумерные темные решетки транспарантов совместятся. Максимальное значение нормированной корреляционной функции определяется тем, что l прозрачных элементов TP1 совпадут с n прозрачными элементами TP2 и с $(l - n)$ темными, а $(N - l)$ темных элементов TP1 с темными же элементами TP2 /6/. Для сопоставления с экспериментальными значениями выполнялись расчеты отношения

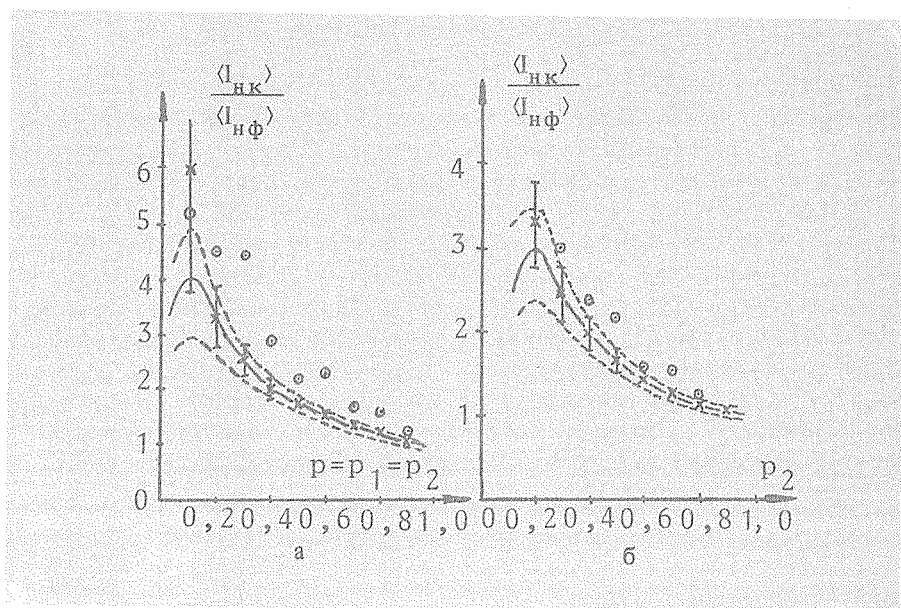
$$\frac{\langle I_{нк} \rangle}{\langle I_{нф} \rangle} = \frac{[AN + Bp_1 N + (C + D)p_2 N] + AN/(a/\beta)}{[AN + Bp_1 N + Cp_2 N + Dp_1 p_2 N] + AN/(a/\beta)}$$

при $p_1 \leq p_2$ и его погрешности

$$\Delta(\langle I_{нк} \rangle / \langle I_{нф} \rangle) = (\langle I_{нк} \rangle / \langle I_{нф} \rangle) \times \frac{[Np_2(1 - p_2)(E^2(1 - p_1) + (E + F)^2 p_1)]^{1/2}}{[N(A + Bp_1 + Cp_2 + Dp_1 p_2) + A/(a/\beta)]}$$

где $A = 2L_i L_j$, $B = 2T_i L_j - 2L_i L_j$, $C = 2L_i T_j - 2L_i L_j$, $D = 2T_i T_j - 2T_i L_j - 2L_i T_j + 2L_i L_j$, $E = T_i^2 - L_j^2 + 2L_i T_j - 2L_i L_j$, $F = 2T_i T_j - 2T_i L_j - 2L_i T_j + 2L_i L_j$.

Величины T_i и L_i брались в соответствии с используемыми транспарантами, полное число элементов в рабочей области $N = 1000$, отношение площадей a/β принималось средним для двух используемых транспарантов. Результаты расчетов представлены крестиками на рис. 1 с указанием погрешности. Экспериментальные значения представлены кружками. Величины фонового сигнала $I_{\text{нф}}$ определялись по экспериментальным данным для точек, отвечающих максимуму корреляционного сигнала, по фоновой линии, проведенной при усреднении по методу наименьших квадратов по 30-40 точкам. Максимальный корреляционный сигнал $I_{\text{нк}}$ определялся непосредственно по результатам измерений.



Р и с. 1. Сопоставление экспериментальных данных с расчетом: а) для транспарантов с одинаковой вероятностью заполнения прозрачными элементами; б) для транспарантов TR1 с вероятностью заполнения $p_1 = 0,2$ прозрачными элементами и TR2 с меняющейся вероятностью заполнения. Кривые рассчитаны для усредненных значений коэффициентов: а) $\bar{a}/\bar{\beta} = 1,7887$, $\bar{T}^2 = 0,760$, $\bar{L}^2 = 0,0035$; б) $\bar{a}/\bar{\beta} = 1,7722$, $\bar{T}^2 = 0,766$, $\bar{L}^2 = 0,0036$. Пунктирные линии характеризуют диапазон погрешностей.

Сопоставление экспериментальных результатов с расчетом показывает, что расчетные соотношения в рамках указанного подхода в общем правильно описывают работу экспериментальной установки и характер получаемых корреляционных и автокорреляционных функций, но экспериментальные точки лежат в основном выше расчетных. Это может быть обусловлено тем, что транспаранты оказывают на световое поле не только амплитудное, но и фазовое воздействие.

В рамках такого подхода может быть выполнен расчет дисперсии Δ случайной погрешности фонового сигнала, определяемого по значениям, получаемым при относительном смещении транспарантов на целое число элементов $/6/$. В рабочей области, охватывающей N элементов, при условии что транспарант-фильтр $TP1$ неподвижен, а транспарант с информацией для обработки $TP2$ смещается, для $TP1$ фиксировано число прозрачных элементов l и число темных элементов $(N - l)$. Для $TP2$ меняется число m совпадающих с первым транспарантом прозрачных элементов и число k совпадающих темных элементов. Расчет для квадрата относительной погрешности дает

$$\Delta^2/I_0^2 = [E^2(1 - p_1) + (E + F)^2 p_1] p_2 / D^2 N p_1^2 (1 - p_2) \text{ для } p_1 \ll p_2,$$

где $I_0 = \langle I_{нк} \rangle - \langle I_{нф} \rangle$ — превышение корреляционного сигнала над фоном. Пользуясь этим соотношением, можно проводить анализ работы коррелятора, в частности, оценку влияния пропускания прозрачных и темных элементов, оценку влияния доли прозрачных элементов, оценку влияния вероятности заполнения транспарантов прозрачными элементами на погрешность измерения корреляционной функции.

Поступила в редакцию 19 декабря 1984 г.

После переработки 25 декабря 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В а с и л е н к о Г.И. Голографическое опознавание образов. М., Советское радио, 1974, с. 124-132, 189-202.
2. Л и т в и н ц е в В.И., Н е ж е в е н к о Е.С. В кн.: Оптико-электронные методы обработки изображений. Л., Наука, 1982, с. 138-147.
3. З у б о в В.А., К р а й с к и й А.В., С у л т а н о в Т.Т. Тезисы докладов 1У Всесоюзной школы по оптической обработке информации. Минск, Институт физики АН БССР, 1982, ч. I, с. 51-52.
4. З у б о в В.А., К р а й с к и й А.В., С у л т а н о в Т.Т. Труды ФИАН, 131, 8, М., Наука, 1982.
5. З у б о в В.А. и др. Автометрия, № 2, 84 (1984); Препринт ФИАН № 248, М., 1983, с.33.
6. З у б о в В.А. и др. Препринт ФИАН № 213, М., 1984.