

### О ВОЗМОЖНОМ СПОСОБЕ РЕАЛИЗАЦИИ «ИНВАРИАНТНОГО» ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА

В современных системах оптической обработки информации широко применяются оптические согласованные фильтры (СФ), представляющие собой голограмму Фурье заданного объекта [1], которые могут быть получены различными способами (см., например, [2, 3]). Однако такие системы очень чувствительны к относительно повороту фильтра и изображения на входе системы, что повышает требования к точности устройств перемещения фильтров и увеличивает время обработки изображения за счет необходимости его вращения.

В данном сообщении для объектов (О) в виде совокупности точечных (или близких к ним) источников с заданным пространственным распределением (рис. 1, а) с целью достижения «инвариантности» оптических корреляционных систем к относительно углу поворота фильтра и изображения предлагается изготавливать вспомогательный объект (ВО) в виде дуг с общим произвольным центром (см. рис. 1, б). Дуги ВО изготавливаются шириной, соответствующей диаметру точек исходного объекта, и угловой величиной, определяемой требуемыми пределами инвариантности, причем геометрические места середин дуг ВО должны соответствовать положениям точечных источников исходного О. Затем изготавливается голограмма Фурье такого объекта и ее используют для исходного О в качестве «инвариантного» фильтра (ИФ).

В оптических корреляторах на основе СФ обнаружение объекта соответствует корреляционному критерию и производится по измерению максимума корреляционной функции (КФ) на выходе оптической части системы. Неизменность максимума КФ в некоторых пределах при повороте изображения на входе системы будет указывать на инвариантность системы к углу поворота.

Можно показать, что использование ИФ вместо СФ приводит к относительному снижению максимума интенсивности взаимно-корреляционной функции  $\varphi_{12}$  по сравнению с максимумом интенсивности автокорреляционной функции  $\varphi_{11}$ , т. е.

$$\alpha = \varphi_{12}/\varphi_{11} < 1. \quad (1)$$

Найдем  $\alpha$  для объекта из  $N$  точек. Амплитуда  $i$ -й точки восстановленного изображения объекта при восстановлении опорной волной  $a_i$  будет

$$|a'_i| = T_i |a_i|, \quad (2)$$

Рис. 1. Вид исходного (а) и вспомогательного (б) объектов.

где  $T_i$  — амплитудное пропускание голограммы, соответствующее восстановлению  $i$ -й точки О. Максимум интенсивности автокорреляционной функции (с учетом когерентного суммирования амплитуд в выходной плоскости оптического коррелятора) определяется выражением

$$\varphi_{11} = \left( \sum_{i=1}^N |a'_i| \right)^2 = \left( \sum_{i=1}^N |a_i| T_{i1} \right)^2, \quad (3)$$

а максимум интенсивности взаимно-корреляционной функции в случае использования ИФ —

$$\varphi_{12} = \left( \sum_{i=1}^N |a'_{ib}| \right)^2 = \left( \sum_{i=1}^N |a_i| T_{i2} \right)^2, \quad (4)$$

где  $|a'_{ib}|$  — амплитуда восстановленного изображения  $i$ -й дуги при восстановлении  $i$ -м точечным источником;  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$  — амплитудное пропускание голограммы, соответствующее восстановлению  $i$ -й точкой объекта  $i$ -го точечного источника в случае СФ и  $i$ -й дужки — в случае ИФ. Можно предположить, что при восстановлении  $i$ -й дужки  $i$ -м точечным источником распределение амплитуды по дужке (корреляционная функция при использовании ИФ состоит из комбинации светящихся дужек) соответствует

как бы «размазыванию» энергии точечного источника по ее площади и отношение амплитуд восстановленного изображения точечного источника и дужки между собой равно

$$|a'_{ib}| = |a'_i|/\beta, \quad (5)$$

где  $\beta$  — отношение площади дужки к площади источника. При этом предполагается, что запись голограммы происходит линейно и дифракционная эффективность СФ и ИФ одинакова. Из (3)—(5) следует

$$\alpha = \beta^{-2}. \quad (6)$$

Для экспериментальной проверки использовалась схема оптического коррелятора [1]. В качестве первой линзы применялся объектив И11-МС с  $f_1=300$  мм, в качестве второй — «Таир-11» с  $f_2=132$  мм. Угол между опорным потоком и оптической осью составлял  $9^\circ$ . Голограммы Фурье регистрировались на фотопластинках типа «Микрат ВР-Л». В качестве О и ВО использовались высококонтрастные диапозитивы трех прозрачных кружков  $\varnothing 1$  мм и дуг с угловыми размерами в  $20^\circ$  (см. рис. 1, а, б), расположенных по окружности  $\varnothing 20$  мм. Среднее значение амплитудного пропускания голограммы («рабочая точка») находилось в пределах 0,5—0,6. Отношение интенсивностей опорного и сигнального пучков для центральной области нулевого порядка дифракции изменялось в широких пределах —  $450 \div 0,1$ . Измерение максимумов КФ ( $\Phi_{11}$ ,  $\Phi_{12}$ ) производилось фотоумножителем ФЭУ-38 с диафрагмой  $\varnothing 0,28$  мм. Результаты измерений максимума КФ приведены на рис. 2. Из рис. 2 (кривая а) видно, что максимум КФ при развороте объекта (см. рис. 1, а) относительно СФ уменьшается в два раза при углах  $3-5^\circ$ , а при применении фильтра, изготовленного с помощью ВО (см. рис. 1, б), угловая величина их взаимного разворота без значительного снижения максимума корреляционной функции увеличивается почти в 5 раз и достигает значения  $25^\circ$  (см. рис. 2, кривая б). Максимальное значение КФ при этом изменяется в пределах  $\pm 10\%$ .

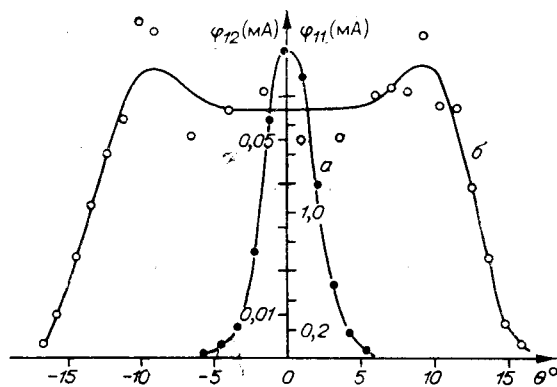


Рис. 2. Измеренные значения максимума корреляционной функции для согласованного (а) и «инвариантного» (б) фильтров в зависимости от относительного угла поворота фильтра и изображения.

согласованным, «инвариантность» достигается за счет значительного снижения максимума КФ, что ухудшает избирательные свойства системы.

Соотношение между требуемой инвариантностью и допустимым уменьшением отношения сигнал/шум определяется конкретными условиями применения фильтра.

Отношение максимумов кривых а и б (см. рис. 2) равно  $\approx 0,03$ . Для указанной геометрии исходного и вспомогательного объектов  $\beta=5,4$  и из выражения (6)  $\alpha \approx 0,034$ . В других случаях (иной размер дуг ВО) величина  $\alpha$  в формуле (6), определенная из экспериментально измеренных значений  $\Phi_{11}$ ,  $\Phi_{12}$ , была меньше 0,03, что можно объяснить как неоптимальными условиями записи голограмм и качественным характером определения величины  $\beta$ , так и приближенностью равенства (5).

Так как фильтр, изготовленный по предлагаемому способу, не является в точном смысле

## ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Кольер, К. Беркхард, Л. Лин. Оптическая голография. М., «Мир», 1973.
2. Пат. ФРГ, кл. 42h, 38 (G 03v, 41/00), № 1965448, заявл. 30. 12.69, опубл. 1.7.71.
3. Пат. Англии, кл. G 2j (МПК G 02v 27/38), № 1204170, заявл. 13.12.67, опубл. 16.8.70. Приор. США, 20.2.67 (617.349).

Поступило в редакцию 15 сентября 1975 г.