

06.3; 07

© 1993

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
ОБЪЕМНЫХ НАЛОЖЕННЫХ ГОЛОГРАММ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ  
ОПЕРАЦИЙ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ  
И РАЗЛОЖЕНИЯ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМОГО  
ОБЪЕКТА ПО ФУНКЦИЯМ УОЛША

В.В. Орлов, А.Р. Булыгин

Использовать объемные наложенные голограммы для выполнения операций разложения волнового поля предъявляемого объекта по системе функций Уолша впервые предложено в работах [1, 2]. Дальнейший теоретический анализ показал, что объемные наложенные голограммы, как пропускающие [3], так и отражательные [4], полученные для разложения волнового поля по произвольной полной системе дискретных ортонормированных функций, не имеют интермодуляционной структуры и в случае чисто фазовых голограмм позволяют реализовать 100% дифракционную эффективность. Данные свойства таких голограмм предложено также использовать для голографической записи информации и ее ассоциативного поиска [5].

В настоящей работе представлены некоторые экспериментальные результаты по разложению объемными наложенными голограммами волнового поля предъявляемого объекта по восьми функциям Уолша и выполнения этими голограммами операции переключения оптических каналов. Более подробное описание полученных результатов и методики проведения эксперимента будет изложено в последующей статье в журнале ЖТФ.

В отличие от экспериментов, выполненных в работах [1, 2, 6], где каждому значению функции Уолша в области записи голограммы соответствует диффузное волновое поле, в настоящей работе каждому значению функции Уолша соответствовало волновое поле, близкое к сферическому. Оптическими моделями функций Уолша служили стеклянные пластинки с нанесенным на них слоем фоторе-

зиста, изменение толщины которого обеспечивало пространственную модуляцию фазы волнового поля протяженного опорного источника, в качестве которого использовалась линейка из восьми точечных источников, на  $0$  и  $\pi$  радиан, что соответствовало значениям  $1$  и  $-1$  функций Уолша. В качестве объектов также использовалась линейка из восьми точечных источников. При записи каждой голограммы использовался один из точечных источников и одна из оптических моделей функций Уолша. Голограммы регистрировались на фоторефрактивном материале реоксан [7], на длине волны  $632,8$  нм.

Полученные наложенные объемные голограммы поочередно восстанавливались всеми оптическими моделями функций Уолша, при этом каждый раз измерялись интенсивности волновых полей всех восьми восстановленных объектов. Измеренные интенсивности представлены в таблице 1 в относительных единицах, где в верхней строке указаны номера объектов, а в левом столбце номера оптических моделей, использованных при восстановлении. Нумерация оптических моделей определена по числу перемен знака в функциях Уолша. Номера объектов совпадают с номерами оптических моделей, использованных при записи их голограмм. Максимальная дифракционная эффективность голограмм, соответствующая значению  $350$  в таблице 1 составила  $6\%$ .

Результаты, представленные в таблице 1 позволяют сделать вывод о хорошем соответствии экспериментальных результатов выводам теоретического анализа, согласно которым элементы таблицы 1 должны иметь нулевые значения вне диагонали, образованной элементами с одинаковыми номерами строк и столбцов, и значения равные между собой на диагонали. В данном случае, когда голограмме предъявляются сами оптические модели ортогональных функций, операция разложения волнового поля может рассматриваться как операция переключения оптических каналов, при которой состояние фазы, падающего на голограмму волнового поля, управляемое модуляторами, трансформируется голограммой в одно из возможных направлений дифрагированного пучка, соответствующее определенному выходному каналу.

В отличие от операции переключения оптических каналов, операция оптического разложения требует определения фазы коэффициентов разложения, что представляет большую сложность. Нами предлагается следующий метод нахождения фазы. Из восьми точек опорного источника, использованного в данном эксперименте, семь точек отводится под предъявляемый объект, а одна точка, комплексная амплитуда которой остается постоянной для всех восьми функций Уолша, служит опорной точкой для определения фазы коэффициентов разложения. Для каждого коэффициента разложения выполняются три измерения интенсивности соответствующей этому коэффициенту дифрагированной волны. При первом измерении опорная точка „выключается“, т.е. ее интенсивность уменьшается до нуля, и измеряется квадрат модуля  $n$ -го ( $n = 0, 1, 2, \dots, 8$ ) коэффициента разложения  $a_n$

Т а б л и ц а 1. Интенсивности дифрагированных пучков.

$N \setminus N$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	270	7	4	1	2	1	1	1
1	5	340	1	1	1	1	2	2
2	4	2	350	10	1	1	1	1
3	2	1	4	350	1	1	2	2
4	2	1	1	1	327	4	1	1
5	1	1	1	1	10	332	4	1
6	2	1	1	1	2	2	295	4
7	2	2	1	2	3	1	2	282

Т а б л и ц а 2. Комплексные амплитуды предъявленных объектов, истинные  $\bar{a}_5, \bar{a}_6$  и расчетные  $Re\bar{a}'_5, Re\bar{a}'_6$ .

Номер точки объекта		1	2	3	4	5	6	7
Объект № 5	$\bar{a}_5$	0	0	-100	100	0	0	0
	$Re\bar{a}'_5$	1	-5	-99	93	0	-9	-2
Объект № 6	$\bar{a}_6$	-100	100	-100	100	-100	100	-100
	$Re\bar{a}'_6$	-99	109	-107	80	-101	88	-91

$$J_{n1} = |a_n|^2. \quad (1)$$

При втором измерении опорная точка „включается“, ее волновое поле дифрагирует в поля всех коэффициентов разложения, где служит опорной волной. Измеренная интенсивность содержит информацию о косинусе разности фаз  $\varphi_n$  опорной волны и волны, представляющей  $n$ -й коэффициент разложения

$$J_{n2} = |a_n|^2 + 2|a_n||b_n| \cos \varphi_n + |b_n|^2, \quad (2)$$

где  $b_n$  — комплексная амплитуда опорной волны. При третьем измерении фаза „включенной“ опорной точки сдвигается на  $\pi/2$ . В результате измеренная интенсивность содержит информацию о синусе разности фаз:

$$J_{n3} = |a_n|^2 + 2|a_n||b_n| \sin \varphi_n + |b_n|^2. \quad (3)$$

Из (2) и (3) находится фаза  $\varphi_n$  коэффициента разложения по  $n$ -ной функции Уолша.

В соответствии с данной методикой были найдены коэффициенты разложения по функциям Уолша нескольких предъявленных голограмме объектов. В таблице 2 представлены истинные комплексные амплитуды двух объектов № 5 и № 6 и комплексные амплитуды этих объектов, рассчитанные исходя из измеренных коэффициентов разложения. Истинные комплексные амплитуды представлены в ви-

де векторов  $\vec{a}_5$  и  $\vec{a}_6$  и имеют чисто действительные значения, принятые за 100 относительных единиц, знаки которых (+, -) соответствуют значениям фазы амплитуды (0,  $\pi$ ). Расчетные комплексные амплитуды представлены своими действительными частями  $Re\vec{a}_5$  и  $Re\vec{a}_6$ . Среднее квадратическое отклонение действительных частей расчетных амплитуд от истинных амплитуд объектов № 5 и № 6 составило 5 и 10 относительных единиц соответственно. Среднее квадратическое отклонение мнимых частей расчетных амплитуд от мнимых частей истинных амплитуд, равных нулю, составило 14 и 25 для объектов № 5 и № 6 соответственно.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты показывают возможность использования объемных наложенных голограмм для выполнения операций переключения оптических каналов и разложения волнового поля предъявляемого объекта по системе дискретных ортогональных функций. Выполнение операции разложения волнового поля может найти применение, например, для создания датчиков волнового фронта.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Д е н и с ю к Ю.Н., Д а в ы д о в а И.Н. // Оптика и спектроскопия. 1986. Т. 60. В. 2. С. 365-371.
- [2] Д е н и с ю к Ю.Н., Д а в ы д о в а И.Н., Б а й к о в а Л.Н. // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 63. В. 6. С. 1351-1354.
- [3] О р л о в В.В. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 2. С. 9-12.
- [4] О р л о в В.В. // Журнал технической физики. 1992. Т. 62. В. 8.
- [5] О р л о в В.В. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 14. С. 23-25.
- [6] Д е н и с ю к Ю.Н., О р л о в В.В. В кн: Голографические оптические элементы и системы. С.-Петербург (в печати).
- [7] Л а ш к о в Г.И., С у х а н о в В.И. // Оптика и спектроскопия. 1978. Т. 44. В. 5. С. 1008-1015.

Поступило в Редакцию  
10 декабря 1992 г.