

Ассоциативный коррелятор прямого действия (на примере использования ФР кристаллов)

В работе теоретически и экспериментально исследуется голографический коррелятор с ассоциативным откликом в форме полного оптического сигнала. Намечены пути повышения его точностных характеристик. Показана эффективность схемы для обработки сложных оптических сигналов в случае записи голограммы на фоторефрактивных (ФР) кристаллах.

В широком смысле ассоциативный характер формирования изображения присущ каждой голографической схеме и является следствием равноправности опорного и сигнального пучков. При восстановлении голограммы одним пучком с определенной точностью воспроизводится другой. Вопрос состоит в том, в каком виде и при каких условиях требуется получить результирующий сигнал. Идеальный ассоциативный процессор должен формировать полное изображение сигнала при предъявлении лишь какого-то его фрагмента.

В большинстве известных схем и методов записи голограммы интерферируют разные поля. Это связано с функциональным различием сигнального и опорного пучков. По сути, опорный пучок играет вспомогательную роль. Безотносительно к его структуре, участие опорного пучка в записи и восстановлении голограммы обеспечивает формирование сигнального пучка. Такой же принцип сохраняется в голографических корреляционных схемах. В них двойное применение сигнального пучка обеспечивает формирование корреляционного отклика в виде опорного пучка, который по структуре отличается от сигнального. Возможность совмещения функций сигнального и опорного пучков в корреляционных схемах не исследовалась из-за кажущейся тривиальности такой задачи. Между тем, в этом случае появляется возможность использовать для формирования сигнального поля пучки, изменяющиеся при записи и восстановлении голограммы. Это позволяет получать информативное сигнальное поле при помощи его фрагмента, т.е. решать задачу прямого ассоциативного отклика корреляционной схемы.

Операция ассоциативного отклика в когерентно-оптических системах обработки информации имеет важное практическое значение. Она повышает устойчивость работы, улучшает точностные характеристики, расширяет набор возможных измерений в таких системах. Важным условием является использование операции ассоциативного отклика в емких схемах оптической памяти, в которых регистрируются много голограмм различающихся оптических сигналов.

Формирование полного сигнального пучка при восстановлении голограммы любым его фрагментом возможно при одновременном выполнении двух требований.

Первое – одинаковая реакция голографической схемы на различающиеся фрагменты сигнального пучка (детерминированный отклик схемы).

Второе – совмещение структуры поля отклика со структурой самого сигнального пучка. Такими свойствами обладает голографическая схема с неразличающимися по внешнему виду и функциональным свойствам интерферирующими пучками [1, 2]. Для нее схема с предварительной пространственной модуляцией пучка [3] приобретает свойства ассоциативного коррелятора с откликом в форме сигнального пучка.

В настоящей работе исследуется такой новый подход к формированию ассоциативного отклика. В отличие от известных методов [4, 5 и др.], которые формируют отклик в два этапа, наш метод формирует полный сигнальный пучок сразу же, в процессе восстановления голограммы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ МЕТОДА

Предложенная схема в общем виде эквивалентна телескопической системе из двух объективов с совмещенными фокальными плоскостями. В передней фокальной плоскости (x_1, y_1) первого объектива расположены два одинаковых транспаранта с комплексным пропусканием $A'(x_1, y_1, t_1)$ и $A''(x_1, y_1, t_1)$, которые формируют сигнальные пучки. В средней фокальной плоскости (x_2, y_2) в момент t_1 при интерференции полей угловых спектров $a' = \hat{F}\{A'\}$ и $a'' = \hat{F}\{A''\}$ записывается голограмма. В задней фокальной плоскости (x_3, y_3) второго объектива в момент t_2 формируется изображение сигнального пучка.

Согласно уравнению голограммы, при ее восстановлении одним из сигнальных пучков, например $A'(x_1, y_1, t_2)$, в первом дифракционном порядке голограммы сформируется голографическая копия второго сигнального пучка $A''(x_3, y_3, t_2)$:

$$A''(x_3, y_3, t_2) = \hat{F}^{-1}\{a'(x_2, y_2, t_2) \cdot a^{*}(x_2, y_2, t_1) \cdot a'(x_2, y_2, t_1)\} = [A'(x_3, y_3, t_2) * A^{*}(x_3, y_3, t_1)] \otimes A''(x_3, y_3, t_1) \approx \delta(0, 0) \otimes A''(x_3, y_3, t_1), \tag{1}$$

где $*$, \otimes , $*$, \hat{F}^{-1} обозначены операторы корреляции, свертки, комплексного сопряжения и обратного Фурье-преобразования, $\delta(0,0)$ – функция Дирака. Ее появление – следствие предположения о равенстве комплексных амплитуд в квадратных скобках выражения (1).

Рассмотрим, в какой мере (1) будет выполняться в случае неравенства $A'(t_1) \neq A'(t_2)$ амплитуд. Такая ситуация соответствует случаю ассоциативного отклика корреляционной схемы, т.е. случаю восстановления голограммы только каким-то фрагментом сигнального пучка. Запишем распределение комплексной амплитуды сигнальных пучков в виде суммы отдельных парциальных фрагментов:

$$A'(x_1, y_1, t_1) = \sum_{i=1}^N A'_i(x_1, y_1, t_1) \\ a'(x_2, y_2, t_1) = \sum_{i=1}^N a'_i(x_2, y_2, t_1) \tag{2}$$

При этом (1) запишется в виде:

$$A''(x_3, y_3, t_2) = \hat{F}^{-1}\left\{\left[\sum_{i=1}^N a'_i(t_2) \cdot \sum_{i=1}^N a_i^{*}(t_1)\right] \cdot \sum_{i=1}^N a_i(t_1)\right\} = \hat{F}^{-1}\left\{\begin{pmatrix} a'_1(t_2) a_1^{*}(t_1) & a'_1(t_2) a_2^{*}(t_1) & \dots & a'_1(t_2) a_N^{*}(t_1) \\ a'_2(t_2) a_1^{*}(t_1) & a'_2(t_2) a_2^{*}(t_1) & \dots & a'_2(t_2) a_N^{*}(t_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a'_N(t_2) a_1^{*}(t_1) & a'_N(t_2) a_2^{*}(t_1) & \dots & a'_N(t_2) a_N^{*}(t_1) \end{pmatrix} \cdot a''(t_1)\right\} = \begin{pmatrix} A'_1 * A_1^{*} & A'_1 * A_2^{*} & \dots & A'_1 * A_N^{*} \\ A'_2 * A_1^{*} & A'_2 * A_2^{*} & \dots & A'_2 * A_N^{*} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A'_N * A_1^{*} & A'_N * A_2^{*} & \dots & A'_N * A_N^{*} \end{pmatrix} \otimes A''(t_2). \tag{3}$$

Из анализа выражения (3) следует, что голографическая копия пучка $A''(x_3, y_3, t_2)$, оказывается тем ближе к исходному оригиналу, чем больший вклад диагональных коэффициентов матрицы по сравнению с коэффициентами с несовпадающими индексами. При этом надо обратить внимание на то, что диагональные коэффициенты суммируются когерентно, в отличие от недиагональных, которые более-менее равномерно вносят вклад в фоновую засветку [6]. Следовательно, проводя искусственное усложнение входного пучка при помощи пространственного модулятора, который будет рассеивать поле отдельного фрагмента сигнального пучка, можно управлять соотношением полезной и фоновой компоненты в результирующем изображении. Это открывает возможность использовать все меньший фрагмент восстанавливающего сигнала для уверенного получения ассоциативного отклика в виде полного сигнала.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Схемы записи и восстановления голограммы, обеспечивающие работу ассоциативного коррелятора показаны на рис. 1а и рис. 1б.

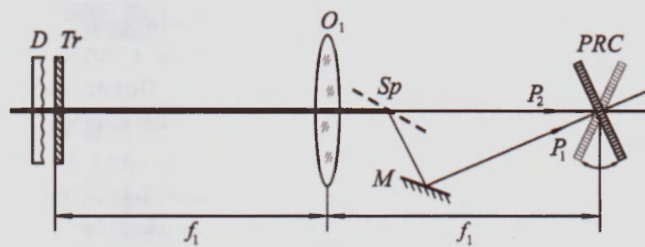


Рис. 1а

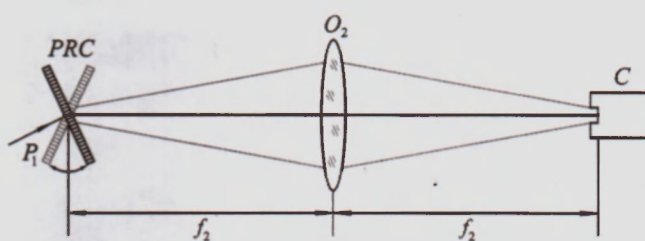


Рис. 1б

При записи голограммы излучение лазера проходило через транспарант Tr и после объектива O_1 попадало на светоделительную систему, которая обеспечивала на голограмме PRC интерференцию двух одинаковых пучков P_1 и P_2 . Восстановленное пучком P_1 , или его фрагментом, изображение наблюдалось в фокальной плоскости объектива O_2 и регистрировалось фотокамерой или телекамерой C . Для искусственной фрагментации сигнала применялся диффузор D .

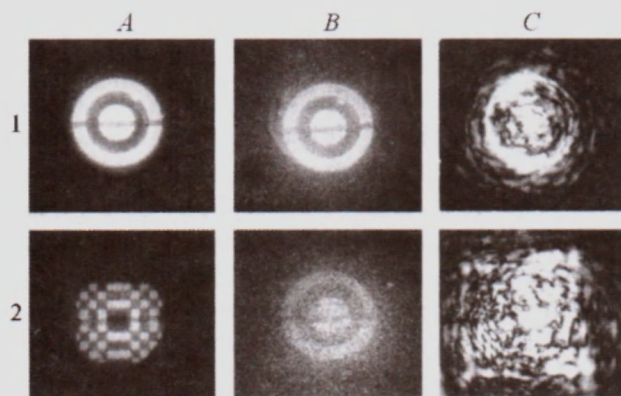


Фото 1

Применение в схеме для регистрации голограмм фоторефрактивных кристаллов обеспечивает необходимые предпосылки для проверки сделанных выводов. За счет записи и восстановления голограммы в реальном масштабе времени уменьшается влияние неконтролируемых факторов, которые изменяют поле в сигнальном пучке. Также легко осуществить одновременную регистрацию сигнала с различным уровнем «фрагментации». В экспериментах использовался образец кристалла ниобата лития, легированный железом. Размеры кристалла $\sim 12 \times 9 \times 1$ мм. Оптическая ось кристалла располагалась в плоскости схождения интерферирующих пучков. Поляризация лазерного излучения была перпендикулярна к плоскости схождения пучков.

Мы использовали специальный пространственный модулятор D , который состоит из множества ($\sim 10^3$) одинаковых неперекрывающихся круглых фазовых рассеивателей. Оптическая длина рассеивателя обеспечивает задержку колебаний поля по фазе на величину, близкую к π .

В результате модуляции угловой спектр сигнальных пучков приобретает две компоненты. Одна, диффузная, зависит от числа и размеров рассеивателей. Другая представляет собой непродифрагированное излучение. При этом обе компоненты одинаковым образом подвергаются возможным изменениям и искажениям в оптической схеме. Восстановление голограммы проводилось фрагментами транспаранта при его частичном диафрагмировании.

Результаты проведенного эксперимента иллюстрируются фотографиями на фото 1. Голограмма записывалась транспарантом с круговой симметрией. В колонке *A* показана структура восстанавливающих транспарантов с кольцевой и прямоугольной симметрией. В колонках *B* и *C* приводятся фотографии восстановленных изображений, которые были получены для диффузной и непродифрагированной компоненты. Видно, что усложнение углового спектра сигнального пучка позволяет существенным образом стабилизировать ассоциативный отклик схемы. В этом случае в восстановлении изображения участвуют фрагменты сигнального поля, общие для обоих транспарантов, которые модулируются рассеивателями (~ 150). При восстановлении голограммы теми же общими участками поля без модуляции образуется сложное кросс-корреляционное распределение выходного сигнала (фото 1, 2С). Его структура зависит от обоих транспарантов и имеет мало общего с записанным кольцеобразным транспарантом.

Фото 2 и 3 иллюстрируют ассоциативный отклик схемы при уменьшении размеров восстанавливающего фрагмента. Фотографии *A* показывают изображения считывающих транспарантов, фотографии *B* показывают изображения соответствующих откликов корреляционной схемы. Видно, что изображение уверенно идентифицируется, вплоть до $90 \div 97\%$ площади сечения задиафрагмированного пучка.

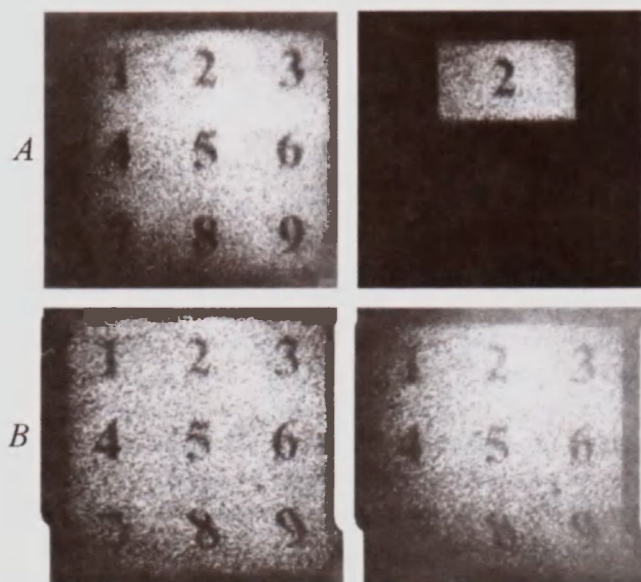


Фото 2

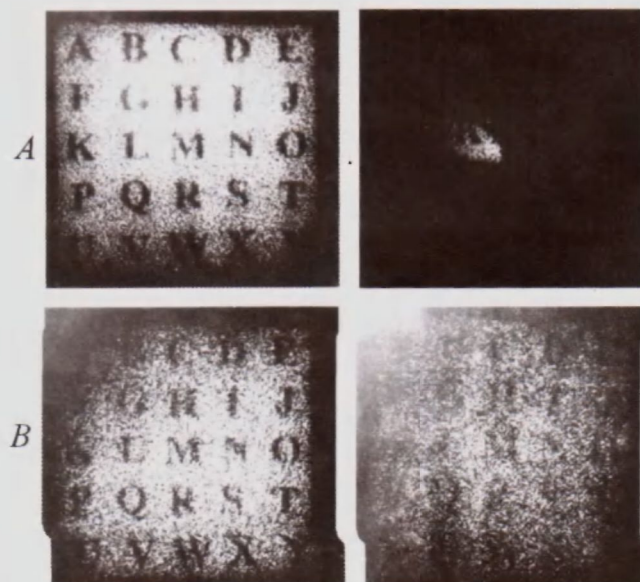


Фото 3

ВЫВОДЫ

В работе исследована новая схема голографического коррелятора с откликом в форме сигнального пучка. Показано, что эта схема обладает свойствами ассоциативного процессора, который автоматически формирует полный оптический сигнал при предъявлении его малого фрагмента. Проведен теоретический анализ уравнения голограммы для такой схемы и установлено, что целенаправленное усложнение структуры сигнального пучка ведет к повышению устойчивости ассоциативного отклика.

Результаты работы подтверждают перспективность использования динамических фоторефрактивных сред в новом типе коррелятора. С их помощью подтверждены выводы, направленные на улучшение точностных характеристик схемы. Получены ассоциативные отклики для сложных сигнальных пучков при использовании фрагментов, площадь которых составляет всего несколько процентов от полной площади сигнального транспаранта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гнатовський О.В., Золочевська О.В., Шпак М.Т. Кореляційне відновлення голографічних зображень // УФЖ. – 1994. – Т. 39. – № 11, 12. – С. 1075-1079.
2. Гнатовский А.В., Золочевская О.В., Медведь Н.В. Кросс-корреляционная голография с предварительной модуляцией волнового фронта // Вестник SPIE. Оптическая техника. – 1995. – № 2 (6). – С. 11-15.
3. Гнатовский А.В., Зубрилин Н.Г., Медведь Н.В. и др. Применение метода статистической модуляции фазы поля для формирования остронаправленных световых пучков // УФЖ. – 1978. – Т. 23. – № 3. – С. 525-527.
4. Soffer B.H., Duuning G.J., Ovechko Y., Varon E. Associative holographic memori with feedback using phase-conjugate mirrors // Opt. Letters. – 1986. – V. 11. – P. 118-120.
5. S. Yuan et al. Holographic associative memori with accurate addressing // Optical Engineering. – 1995. – V. 34. – № 7. – P. 2115-2119.
6. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. – М.: «Мир», 1973. – 686 с.