

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ДВУМЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
В ПРОЦЕССЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ

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

УДК 621.378.9:772.99

Рассматривается схема двухлучевого интерферометра для корреляционной обработки двумерной оптической информации с фотоэлектрической регистрацией выходного сигнала. Опорная волна формируется в задней фокальной плоскости оптической системы за счет квазилинейного движения фильтра в передней фокальной плоскости этой системы. Предметная волна создается той же оптической системой в результате операции преобразования Фурье.

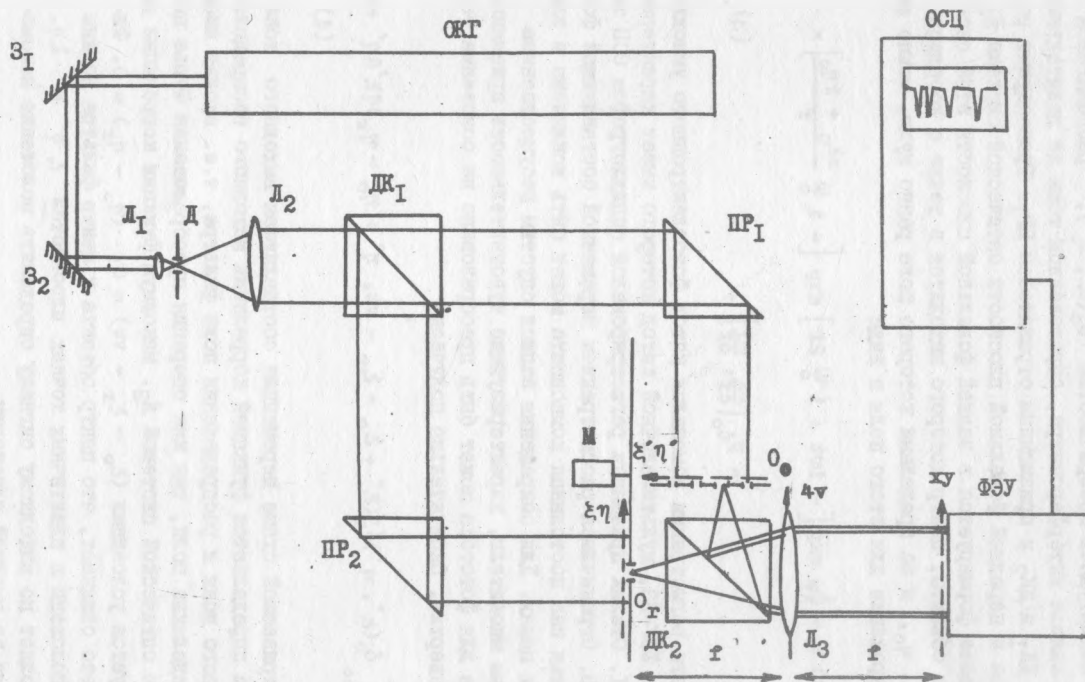
Обработка оптической информации в процессе фотоэлектрической регистрации с нестационарной опорной волной при использовании корреляционных методов представляет большой практический интерес. При этом в зависимости от задач обработки /1,2/ в канале нестационарной опорной волны используется соответствующий фильтр. В работах /3,4/ описан метод корреляционной обработки с фотоэлектрической регистрацией, в котором в качестве фильтра используется изображение транспаранта, а не его фурье-образ. Метод основан на совмещении волновых фронтов объектной и опорной волн с помощью равномерно движущейся решетки с переменным шагом или голографической линзы Френеля. В настоящей работе рассматривается способ обработки, основанный на схеме типа интерферометра Маха-Цандера. Особенность работы данной схемы заключается в способе формирования опорной волны такого типа, чтобы в процессе фотоэлектрической регистрации получать информацию о сигнале на основе корреляционных методов, при этом процесс обработки может происходить непрерывно. В качестве фильтра в схеме используется изображение объекта, а не его фурье-образ.

Оптическая схема изображена на рис. 1. Источником излучения является лазер типа ЛП-38, работающий в одномодовом режиме. Излучение лазера направляется в интерферометр Маха-Цендера с помощью зеркал  $Z_1$  и  $Z_2$ . Формирование светового поля типа плоской волны в интерферометре выполняется оптической системой из двух объективов  $L_1$  и  $L_2$  с точечной диафрагмой  $D$ , расположенной в фокусе первого из них. Эта система выполняет пространственную фильтрацию и расширяет световой пучок с тем, чтобы почти равномерно осветить рабочую область, диаметр которой составляет  $\sim 15$  мм. Нестационарная опорная волна формируется в канале интерферометра, образованном делительным кубиком ДК<sub>1</sub>, призмением отражателем ПР<sub>2</sub> и кубиком ДК<sub>2</sub>, соединяющим волновые фронты. Ее формирование осуществляется с помощью вращающегося диска  $M$  с отверстием  $O_2$  диаметром  $2a$ , в котором находится фильтр с прозрачностью  $\delta_T(\xi, \eta)$ . Движение фильтра носит квазилинейный характер, поскольку расстояние от оси вращения диска до отверстия достаточно велико (77 мм). Линейная скорость движения 1350 см/с. Комплексная амплитуда поля в плоскости  $\xi\eta$ , в передней фокальной плоскости объектива  $L_3$  в канале опорной волны имеет вид

$$\delta_T(\xi, \eta) \quad \text{при} \quad [(\xi - \xi_T)^2 + (\eta - \eta_T)^2]^{1/2} < a, \\ 0 \quad \text{при} \quad [(\xi - \xi_T)^2 + (\eta - \eta_T)^2]^{1/2} \geq a. \quad (I)$$

Для выполнения операции преобразования Фурье для комплексной амплитуды прозрачности входных транспарантов использовалась указанная оптическая система  $L_3$  с фокусным расстоянием  $f = 270$  мм, которая располагалась на выходе интерферометра за делительным кубиком ДК<sub>2</sub>. Если движение фильтра можно считать квазистатическим, то в задней фокальной плоскости этой системы нестационарная опорная волна, обеспечивающая регистрацию и обработку сигнала, запишется в виде

$$E_T(x, y, t) = -\frac{i}{\lambda f} \exp[-i\omega t + i\frac{\omega}{c} 2f] \exp\left[-i\frac{\omega}{c} \frac{x(\xi_T + vt) + y\eta_T}{f}\right] \times \\ \times F_{\delta_T} \left( \frac{\omega x}{c f}, \frac{\omega y}{c f} \right). \quad (2)$$



Р и с. I. Схема экспериментальной установки

Объект  $O_0$ , представляющий собой транспарант, описывающийся комплексной амплитудной прозрачностью  $\delta_0(\xi^*, \eta^*)$ , располагался в другом канале интерферометра, образованном теми же делительными кубиками ДК<sub>1</sub> и ДК<sub>2</sub> и призменным отражателем ПР<sub>1</sub>. Транспарант располагался в передней фокальной плоскости оптической системы Л<sub>3</sub>. Поле объекта формируется в задней фокальной плоскости этой системы. Для объекта, центр которого находится в точке с координатами  $\xi_0, \eta_0$  и за пределами которого поле равно нулю, можно записать выражение для этого поля в виде

$$E_0(x, y, t) = -\frac{1}{\lambda f} \exp \left[ -i\omega t + i \frac{\omega}{c} 2f \right] \exp \left[ -i \frac{\omega}{c} \frac{x\xi_0 + y\eta_0}{f} \right] \times \\ \times F_{\delta_0} \left( \frac{\omega x}{c f}, \frac{\omega y}{c f} \right) \quad (3)$$

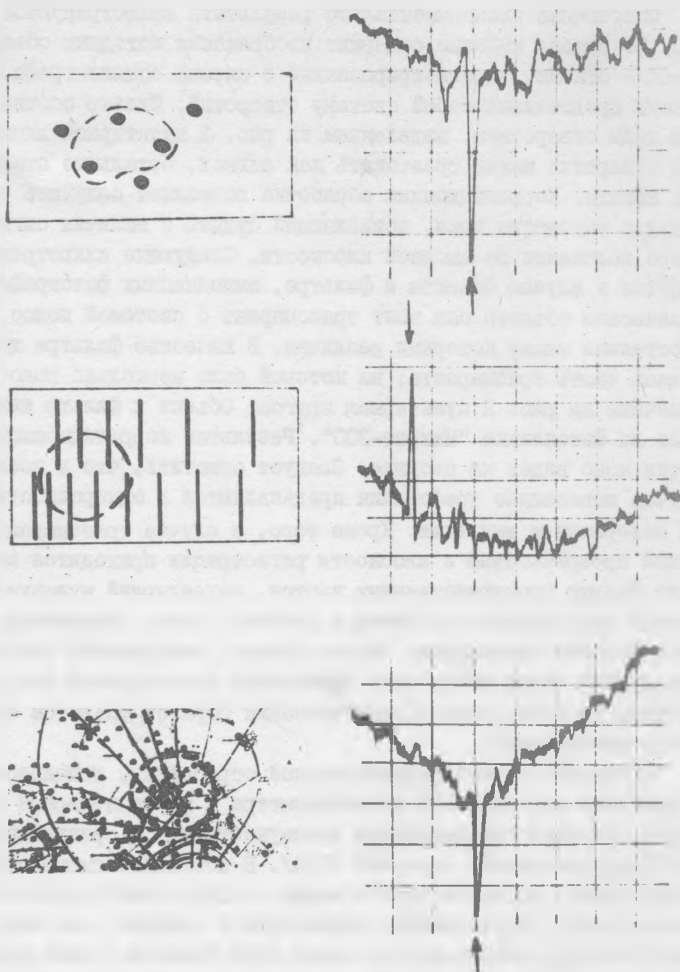
В плоскости регистрации помещался катод фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-38, мультищелочной катод которого имеет характеристику С-II. Отклик приемника регистрировался осциллографом ОСЦ типа С-I-18. Ограничимся рассмотрением переменной составляющей фототока, так как постоянная компонента может быть исключена в электрических цепях. Для сокращения записи опустим несущественные постоянные множители, характеризующие чувствительность приемника. Выражение для фототока может быть преобразовано на основании теоремы о свертке. Окончательно получаем

$$J_{\sim}(t) \sim \int_{-\infty}^{\infty} \delta_0(\xi^*, \eta^*) \delta_x^*(\xi^* + \xi_0 - \xi_T - vt, \eta^* + \eta_0 - \eta_T) d\xi^* d\eta^* + \text{к.с.} \quad (4)$$

В рассматриваемой схеме переменная составляющая выходного тока приемника определяется функцией корреляции исходного распределения входного поля и распределения поля фильтра, т.е. входит именно распределение поля, так как операция преобразования Фурье выполняется оптической системой Л<sub>3</sub>. Максимум функции корреляции характеризуется условиями  $(\xi_0 - \xi_T - vt) = 0$ ,  $(\eta_0 - \eta_T) = 0$ . Физически это означает, что центр объекта и центр фильтра должны быть расположены в идентичных точках плоскостей  $\xi^*\eta^*$  и  $\xi_T\eta_T$ . Это позволяет по выходному сигналу определять положение искомого сигнала во входной плоскости.

Полученные экспериментально результаты иллюстрируются на рис. 2. Правая колонка содержит изображение исходных объектов, левая — отклик, зарегистрированный с экрана осциллографа. Первый объект представлял собой систему отверстий. Фильтр соответствовал трем отверстиям, выделенным на рис. 2 пунктирной линией. Эти три отверстия можно трактовать как сигнал, остальные отверстия — как помехи. Корреляционная обработка позволяет получить острый импульс выходного тока, позволяющий судить о наличии сигнала и о его положении во входной плоскости. Следующие иллюстрации относятся к случаю объекта и фильтра, выполненных фотографически. В качестве объекта был взят транспарант с системой полос, все расстояния между которыми различны. В качестве фильтра использовалась часть транспаранта, на которой было несколько полос, она отмечена на рис. 2 пунктирным кругом. Объект и фильтр изготовлялись на фотоэмульсии "Микрат-300". Результат корреляционной обработки ясно виден на рисунке. Следует отметить, что в последнем случае повышенные требования предъявляются к однородности подложки материала и эмульсии. Кроме того, в случае транспарантов с высокой прозрачностью в плоскости регистрации приходится использовать фильтр пространственных частот, подавляющий нулевую область. Третья пара картин относится к участку плана. Полученные результаты подобны предыдущим. Таким образом, эксперимент показывает, что данная схема может быть эффективно использована для выделения сигнала на фоне помех и распознавания образов объектов при обработке информации.

Описанный способ корреляционной обработки с использованием схемы типа двухлучевого интерферометра и нестационарной опорной волны обладает определенными преимуществами по сравнению со схемой с дифракционной решеткой /3,4/. В последней схеме цикл корреляционной обработки одного кадра с информацией обусловлен временем полного перемещения дифракционной решетки, сам кадр при этом остается неподвижным и может быть заменен только после окончания цикла. В предложенной схеме само линейное движение кадра с информацией образует нужную структуру поля опорной волны и, следовательно, поля в плоскости регистрации. При этом может быть реализована схема с непрерывным введением и обработкой информации по отношению ко второму каналу, где информация не изменяется. В таком варианте можно говорить о том, что фильтр остается не-



Р и с. 2. Результаты корреляционной обработки двумерной оптической информации. В левой колонке изображена исследуемая информация, пунктиром обозначена область фильтра. Правая колонка - осциллограммы выходного тока приемника

подвижным и неизменным, а входная информация вводится и обрабатывается непрерывно, т.е. роли опорного и сигнального каналов как бы меняются.

Поступила в редакцию  
10 июля 1978 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. В. Г. Зайцев, В. А. Зубов, А. В. Крайский, М. М. Сушинский, Квантовая электроника, 4, № 2, 369 (1977).
2. В. Г. Зайцев, В. А. Зубов, А. В. Крайский, Препринт ФИАН № 79, Москва, 1977 г.
3. В. В. Лось, Г. Х. Фридман, Е. Р. Цветов, Автометрия, № 6, 46 (1972).
4. Г. Е. Корбуков, В. В. Куликов, Е. Р. Цветов, в сб. "Голография и обработка информации", изд. "Наука", Ленинград, 1976 г., стр. 51