

И. Д. НИКОЛОВ
(София, Болгария)

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАПИСИ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Быстрое развитие голографии и оптической обработки информации требует новых оптических систем для формирования лазерных пучков. Существующие объективы не позволяют реализовать полностью большие преимущества голографических методов записи и обработки информации.

Цель данной работы — создание объективов и оптических систем для голографической записи информации с высокой плотностью, чтения и обработки с минимальными искажениями.

Оптимизация оптической системы для голографической записи и обработки информации. Запись качественных голограмм требует интерференции световых волн без деформаций. Обычно голограмму регистрируют двумя оптическими системами и восстанавливают третьей. Аберрации формирующих объективов вызывают смещение и искажение голографического изображения.

Требования к объективам. Эти требования для когерентных оптических вычислительных машин даны в работах [1, 2]. Достижение оптимального объема памяти голографических запоминающих устройств (ГЗУ) связано с применением длиннофокусных светосильных объективов [2, 3]. Для фурье-анализа нужны объективы с совершенным качеством изображения [1]. Существующие объективы не позволяют реализовать конкурентоспособные ГЗУ [3], поэтому разрабатывают новые объективы с вынесенным зрачком и телецентрическим ходом лучей [4].

Оптимизация оптической системы. Для записи, чтения или обработки информации общепринята двойная фурье-схема [1—3], показанная на рис. 1. Самые жесткие требования предъявляются к качеству изображения так называемой отображающей оптической системы [3, 5], состоящей из двух фурье-объективов (O_2, O_3) и из четырех рабочих плоскостей (линзовый растр (ЛР), управляемый транспарант (УТ), регистрирующая матрица (РМ) и фотоприемная матрица (ФМ)). Рассмотрим действие оптической системы: объективы O_1, O_2 проецируют плоскость ярких фокусов O, O_n растра ЛР через транспарант УТ в точки O', O'_n на плоскости матрицы РМ, где записыва-

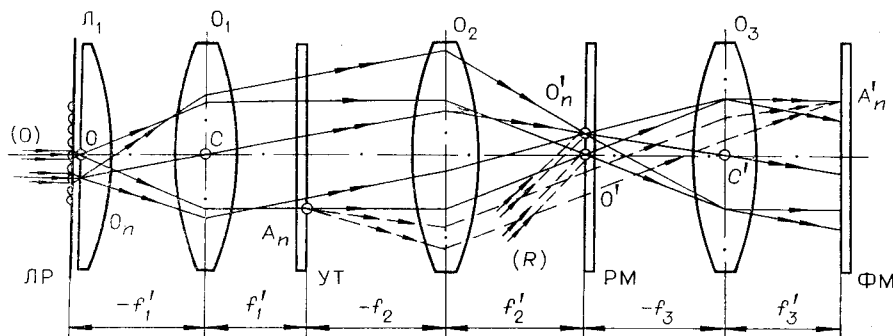


Рис. 1. Двойная фурье-схема для записи и обработки информации.

ются микроголограммы; система O_2-O_3 изображает УТ через ячейки голограмм на плоскость матрицы ФМ.

Фурье-объектив O_2 создает в своей задней фокальной плоскости частотный спектр УТ, где расположена РМ. Поскольку УТ находится в переднем фокусе O_2 , то микроголограмма есть суперпозиция плоских решеток. При чтении из голограммы восстанавливается веер параллельных битовых пучков и объектив O_3 проецирует изображение УТ на ФМ, производя второе фурье-преобразование. ГЗУ состоит из оптических (O_1, O_2, O_3), голографических (ЛР, РМ) и электронно-оптических (УТ, ФМ) блоков. Работоспособность устройства зависит от правильного согласования входных и выходных характеристик всех блоков системы, которое обеспечивается объективами O_1, O_2, O_3 .

Фурье-объектив O_2 должен быть аберрационно корригирован одновременно в передней и задней фокальных плоскостях. Очевидно, для ГЗУ нужен светосильный объектив с диаметром, гораздо большим диагонали рабочих плоскостей УТ, РМ и ФМ. Объектива, удовлетворяющего этим требованиям, нет, и систему ГЗУ komponуют из стандартных фотообъективов [3].

Оптическая система ГЗУ большого объема может быть построена из объективов с вынесенным зрачком [5, 6]. Однако известные объективы имеют значительные остаточные аберрации и небольшие рабочие расстояния, что приводит к уменьшению эффективной площади среды РМ и к значительному сокращению реализуемого объема памяти относительно расчетного [3]. Объективы с вынесенным зрачком позволяют удобнее размещать УТ и ФМ в зрачках, при этом полнее используются световые диаметры объективов и возможно энергетическое согласование блоков системы ГЗУ (оптическое сопряжение зрачков C и C' объективов показано на рис. 1 и 2). Оптимальная передача входных и выходных характеристик ГЗУ осуществима, если отображающая оптическая система синтезирована из трех подходящих объективов, работающих попарно симметрично.

На рис. 2 показана полученная нами оптимизированная оптическая система, функционирующая следующим образом: ортоскопическая система объективов (1, 2) проецирует ортогонально с постоянным масштабом плоскость фокусов линзового раstra 7 на плоскость записывающей матрицы 5; ортоскопическая оптическая система 2, 3 изображает с увеличением $-1\times$ рабочие ячейки управляемого транспаранта 6 на плоскость фотоприемников 4, обеспечивая строгое соответствие для всех информационных каналов. Для обработки информации вместо транспаранта 6 ставим согласованный фильтр, а растр 7 и объектив 1 образуют осветительный коллиматор.

Телецентричность хода главных лучей в пространстве раstra 7 и матрицы 5 гарантирует минимальные аберрации в плоскостях 7 и 5, оптимальное светопропускание и постоянное многоракурсное освещение транспаранта 6. Ортоскопичность и нормальное падение лучей на плоскость среды 5 позволяют записывать микроголограммы с максимальной плотностью и постоянной несущей частотой, так как толщина среды не влияет на форму и расположение голограмм. Модульная конструкция оптической системы (см. рис. 2) обеспечивает запись, чтение или обработку информации с максимальной плотностью и с минимальными искажениями. Предлагаемая система составлена из трех одинаковых ортоскопических объективов с вынесенными зрачками и телецентрическим ходом главных лучей.

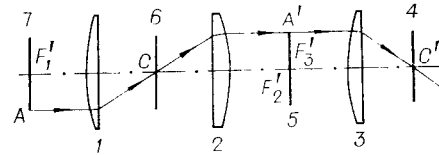


Рис. 2. Оптимизированная оптическая система для голографической записи и обработки информации.

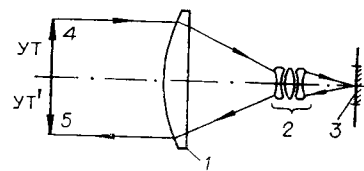
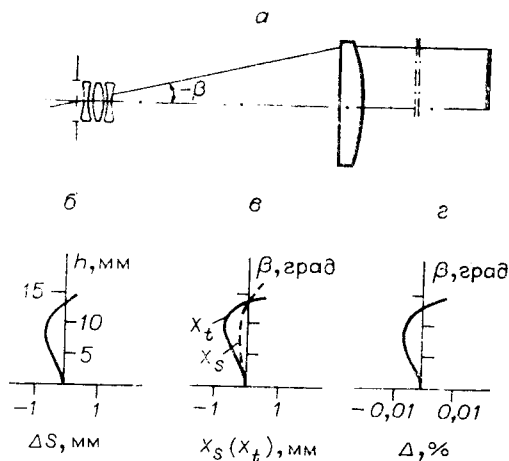


Рис. 4. Оптическая схема ортоскопического фурье-объектива.

Рис. 3. Схема и aberrации базового фурье-объектива.

Свойства базового фурье-объектива. Физическое действие фурье-объектива в системах для голографической записи или обработки информации в общем случае аналогично. Специфичность работы объектива — необходимость хорошей абберационной коррекции одновременно в передней и задней фокальных плоскостях. В противном случае дифракционные структуры расплываются и появляются фазовые и геометрические искажения в записываемых и обрабатываемых изображениях. Внедрение голографических методов записи и обработки информации, по-видимому, связано с разработкой новых объективов [4, 5], отвечающих следующим требованиям:

- 1) обеспечение строгого фурье-преобразования и хорошего качества изображения одновременно в обеих фокальных плоскостях;
- 2) наличие вынесенного зрачка для размещения обрабатывающих устройств и устранения виньетирования периферийных информационных наклонных пучков;
- 3) телецентричность хода главных лучей в пространстве регистрирующей среды, что позволяет производить запись голограмм с максимальной плотностью и устранять влияние толщины среды;
- 4) улучшенное качество по увеличенному полю изображения (10×10 см);
- 5) большое заднее рабочее расстояние, необходимое для дефлектирования опорных пучков и удаления нулевого порядка при чтении микроголограмм.

Объектив, удовлетворяющий поставленным требованиям, построен на базе плоскопараболической линзы с абберационным корректором (рис. 3, а) и имеет следующие характеристики: фокусное расстояние 300 мм, относительное отверстие 1:10, поле зрения $\varnothing 160$ мм, рабочее расстояние 296 мм, вынос зрачка — 5,6 мм, ортоскопичность — линейная дисторсия — не более 5 мкм. При этом обеспечивается хорошее качество по всему полю изображения — одновременное исправление сферической абберации (рис. 3, б), астигматизма и кривизны изображения (рис. 3, в) и дисторсии (рис. 3, г) на краях поля, а также телецентричность хода главных лучей в пространстве изображений (длина между плоскостями зрачка и изображения 604 мм).

Ортоскопические оптические системы. На базе полученного длиннофокусного ортоскопического объектива с вынесенным зрачком и телецентрическим ходом главных лучей в пространстве изображений построено несколько ортоскопических систем.

Ортоскопический фурье-объектив. Поставив плоское зеркало в зрачок базового объектива, получим ортоскопический объектив с телецентрическим ходом лучей во входной и выходной плоскости (рис. 4).

Если зеркало 3 есть отражательный фильтр или отражательная голограмма, то объективы 1, 2 дадут двойное фурье-преобразование транспаранта (УТ) во входной и выходной плоскости 5. Укажем преимущества полученного объектива: высокое оптическое качество по всему полю изображения — ортогональное ортоскопическое проецирование входного транспаранта УТ через объективы 1, 2 и фильтр 3 на плоскость изображения УТ' 5; постоянство масштаба обработки; возможность сравнения размеров и качества УТ и УТ' в плоскости 5; нечувствительность объектива к толщине и качеству поверхности транспаранта и записывающей среды; стабильность работы автоколлимационной схемы; кроме того, фильтр можно разместить вне системы и шумы выходят через объектив; эффективный размер голографического фильтра может быть меньше обрабатываемых транспарантов; длина системы в два раза короче; большие размеры входных и выходных устройств: два по 115×55 мм (стандартный фотографический формат 6×9 см).

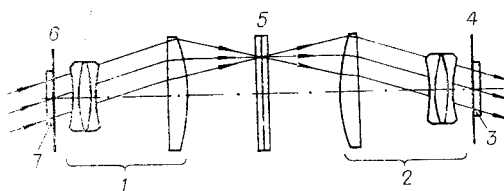


Рис. 5. Оптическая система для записи голограмм в толстых средах.

Оптическая система для записи голограмм в толстых средах.
Из двух ортообъективов с телецентрическим ходом лучей синтезирована оптическая система для голографической записи и чтения информации с высокой плотностью (рис. 5). Для ввода информации помещаем управляемый транспарант 7 в плоскость входного зрачка 6 системы, толстую голографическую среду 5 — в общую фокальную плоскость объективов 1, 2, а фотоприемник 3 — в выходной зрачок 4. Предлагаемую оптическую систему можно использовать в ГЗУ для записи микроголограмм с максимальной плотностью на матрице 10×10 см. Толщина и качество поверхности среды практически не вызывают искажения и расфокусировки голограмм. Ничтожная дисторсия системы по всему полю (0,0016%) гарантирует строгое согласование битовых ячеек транспаранта 7 с фотоприемниками матрицы 3. Большое рабочее расстояние между объективами 1 и 2 позволяет осуществлять параллельное дефлектирование опорного пучка.

Для совмещенной схемы ГЗУ построена оптимизированная оптическая система из трех ортоскопических объективов (см. рис. 2). Таким образом, обеспечена высокая плотность записи микроголограмм на регистрирующей матрице и неподвижность голографических изображений на фотоприемнике устройства.

В заключение отметим, что для когерентных оптических вычислительных машин нужны объективы с новыми характеристиками. Стандартные объективы не удовлетворяют всем требованиям для голографической записи и обработки информации с высокой плотностью. Внедрение ГЗУ и оптических методов обработки, по-видимому, будет зависеть от развития оптической элементной базы. С этой целью созданы рассмотренные в данной работе объективы и оптические системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Престон К. Когерентные оптические вычислительные машины. М., «Мир», 1974.
2. Акаев А. А., Майоров С. А. Когерентные оптические вычислительные машины. Л., «Машиностроение», 1977.
3. Богданова Е. С., Соскин С. И. Влияние aberrаций оптической системы на емкость голографической памяти.— «Автоматика», 1975, № 3, с. 42.

4. Грамматин А. П., Федорова О. Н. Объектив для голографического запоминающего устройства.— ОМП, 1978, № 4, с. 67.
5. Соскин С. И., Шойдин С. А.— «Опт. и спектр.», 1978, т. 44, вып. 3, с. 566.
6. Hill В. Some aspects of a large capacity holographic memory.— "Appl. Opt.", 1972, vol. 11, N 1, p. 182.

Поступила в редакцию 17 августа 1978 г.

УДК 621.391.23 : 621.376.56

Ю. В. ЗАХАРОВ, Е. А. СИДОРОВ

(Москва)

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРЕДЫСКАЖЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ С ИМПУЛЬСНО-КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Рассмотрим канал последовательного (по терминологии Железнова [1]) анализа непрерывных сообщений, схема которого изображена на рис. 1.

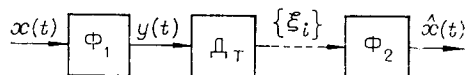


Рис. 1.

Реализация $x(t)$ центрированного стационарного случайного процесса $X(t)$ с известной функцией корреляции $K(\tau)$ поступает на предсказывающий фильтр Φ_1 с импульсной характеристикой $g(t)$. Дискретизатор D_T преобразует сигнал $y(t)$ в последовательность отсчетов $\{\xi_i\}$, следующих с равным промежутком времени T . Эти отсчеты будем называть координатами сообщения $x(t)$. Последовательность координат $\{\xi_i\}$ поступает на вход восстанавливающего фильтра Φ_2 с импульсной характеристикой $f(t)$. На выходе этого фильтра образуется оценка $\hat{x}(t)$ непрерывного сообщения $x(t)$.

Данная схема приближенно описывает алгоритм работы системы с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ). Приближение заключается в том, что в ней не учитываются шум квантования координат ξ_i и искажения этих координат в канале связи.

За меру близости $x(t)$ и $\hat{x}(t)$ примем интегральную среднеквадратическую ошибку

$$\delta^2 = \frac{1}{\sigma^2 T} \int_0^T E \{ [X(t) - \hat{X}(t)]^2 \} dt,$$

где σ^2 — дисперсия процесса $X(t)$; E — символ математического ожидания.

Сигнал на выходе Φ_1 запишется следующим образом:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) g(t - \tau) d\tau.$$