

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535.81

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА
ИЗОБРАЖЕНИЯ

Л. А. Халфин, Т. А. Павличук и М. Я. Шульман

1. Начиная с 1967 г. нами ведутся эксперименты по применению предложенного одним из авторов метода улучшения качества изображений, получаемых с помощью оптических приборов, за счет обработки обычных фотографических изображений [1, 2]. Предварительные экспериментальные результаты были доложены в 1968 г. на сессии Отделения общей физики и астрономии АН СССР [1]. Метод основан на предложенной ранее информационно-статистической теории оптических приборов [3-7], из которой теоретически следовала, в частности, возможность увеличения разрешающей способности за классическим дифракционным пределом. С математической точки зрения метод основан на применении статистического подхода к решению некорректных задач [8] для решения основного уравнения оптического прибора

$$\psi(x) = \iint k(x-y) \varphi(y) dy, \quad (1)$$

где $\varphi(y)$ — функция объекта, $\psi(x)$ — функция изображения, а $k(z)$ — функция рассеяния оптического прибора.

Рассматриваемый метод в принципе отличается от различных других методов улучшения качества изображения (см. [9, 10]), которые носят «обменный» характер и требуют соответствующего изменения оптического прибора. За последнее время появилось несколько работ Строука с сотрудниками [11], в которых исследовался аналогичный нашему метод улучшения качества изображений, названный апостериорным методом, однако не учитывает некорректности задачи решения основного уравнения (1) не позволил в работах [11] получить наилучшие возможные результаты.

2. В настоящей работе сообщаются предварительные результаты по экспериментальной проверке предложенного метода для: а) классической задачи разрешения двух точечных объектов (типа двойной звезды) за классическим дифракционным пределом и для б) исправления значительных сферической и хроматической аберраций оптического прибора.

В ближайшее время планируется, в частности, использовать предложенный метод для исправления искажений, вносимых нестационарным воздействием атмосферы, существенно ограничивающим в настоящее время возможности астрономических приборов. Использование предложенного метода, отмеченное в [1, 2], в этом случае основано на сведении задачи решения уравнения

$$\psi(x, t) = \iint k(x-y, t) \varphi(y) dy \quad (2)$$

к задаче решения уравнения типа (1). Основа такой возможности связана с независимостью от времени функции объекта $\varphi(y)$. Действительно, интегрируя (2) по t с известной функцией $\xi(t)$

$$\psi_{\xi}(x) = \int \xi(t) \psi(x, t) dt = \int \xi(t) dt \iint k(x-y, t) \varphi(y) dy = \iint k_{\xi}(x-y) \varphi(y) dy,$$

где

$$k_{\xi}(x-y) = \int \xi(t) k(x-y, t) dt,$$

приходим к уравнению типа (1)

$$\psi_{\xi}(x) = \iint k_{\xi}(x-y) \varphi(y) dy.$$

3. Исходными данными для работы по описываемому методу являются подлежащее улучшению фотографическое изображение и функция рассеяния изображающей системы в условиях съемки. Последняя может быть определена по изображению какого-либо точечного объекта на подлежащем улучшению фотоснимке или получена при предварительных испытаниях объектива с имитацией условий съемки.

Оптическая схема макета прибора, осуществляющего этот метод для случая симметричной функции рассеяния, используется для двух операций, выполняемых последовательно.

а. Получение фильтра пространственных частот. Параллельный пучок монохроматического света от лазера проходит через фотоизображение функции рассеяния того объектива, с помощью которого получено подлежащее улучшению фотоизображение, и фокусируется линзой в ее задней фокальной плоскости. Эту плоскость, в которой получается Фурье-преобразование функции рассеяния, можно назвать плоскостью фильтра пространственных частот. Этот фильтр регистрируется фотографическим путем. При таком изготовлении фильтра он будет отличаться от требуемого, согласно [2], поскольку отрицательные значения Фурье-преобразования функции рассеяния заменяются положительными. Для рассматриваемых в работе случаев с симметричной функцией рассеяния это изменение оптимального фильтра оказывается не очень существенным.

б. В той же схеме вместо функции рассеяния помещается улучшаемое фотоизображение, а готовый фильтр пространственных частот устанавливается в той плоскости, в которой он был получен. Непосредственно позади фильтра располагается репродукционный объектив, сфокусированный на плоскость улучшаемого изображения. Изображение, построенное репродукционным объективом, является улучшенным благодаря описанной фильтрации и может наблюдаться в микроскоп или регистрироваться фотографическим путем.

4. Результаты экспериментов. Первая серия экспериментов была проведена с безабберационным (дифракционным) изображением одной и двух точек, полученным с помощью сильно задиафрагмированного объектива (относительное отверстие 1:75). С помощью пространственной фильтрации по описанному выше методу удается существенно уменьшить размер центрального пятна дифракционного изображения точек, а для случая двух точек на пределе разрешения получить четкое разделение центральных «ядер» изображений этих точек (рис. 1).

Коэффициент контрастности для улучшаемых изображений (в частности, функции рассеяния) должен быть $\gamma=2$, а для фильтра пространственных частот $\gamma=1$.

Вторая серия экспериментов имела своей целью улучшить абберационные изображения, даваемые одиночной линзой большого относительного отверстия (1:1.8) и светосильным длиннофокусным фотообъективом «Таир-18» 1:2.5/300 мм. Фотографические изображения одной и двух точек, созданные одиночной линзой, удалось улучшить (аналогично дифракционным изображениям, как описано выше). Изображения абсолютно контрастных штриховых мир, улучшенные в результате фильтрации, отличались повышенным контрастом по сравнению с первоначальными (улучшаемыми) изображениями мир. Увеличение контраста в изображении для элементов мир различных пространственных частот, измеренного с помощью микрофотометра, как показали опыты, достигает 2-4. Хотя разрешающая способность заметно не повышается, тем не менее улучшенные изображения, несомненно, выигрывают в четкости и легкости опознавания различных деталей снимка и букв текста (рис. 2).¹

Результаты описанных экспериментов являются предварительными. Они получены на лабораторном макете установки. Основные трудности при проведении описанных экспериментов связаны с необходимостью точного выдерживания соответствующего значения γ , устранения появившихся из-за лазерного освещения дефектов фотографических изображений, компенсации фазовых искажений (помещением фотопленки в иммерсионную жидкость), а также связаны с малыми размерами функции рассеяния.

В дальнейшем намечается перейти к практическому исследованию методов улучшения изображений расфокусированных, смазанных из-за движения объекта съемки или фотоаппарата за время выдержки, абберационных изображений для краевых зон поля зрения (т. е. при несимметричной функции рассеяния), а также изображений, искажен-

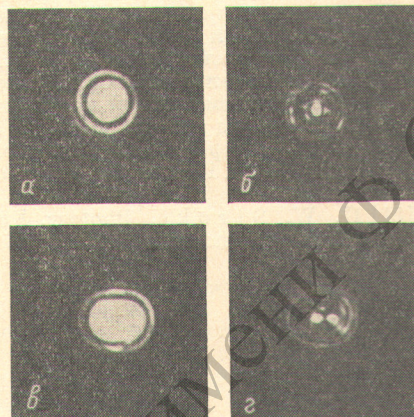


Рис. 1. Улучшение изображения одной точки (а, б) и двух точек (в, г) при введении фильтра пространственных частот (схема с когерентным освещением).

а, в — без фильтра, б, г — с фильтром.

¹ По техническим причинам рис. 2 не воспроизведен.

ных из-за турбулентности слоя атмосферы между объектом съемки и объективом фотоаппарата.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Д. С. Волосову и Э. Я. Соколовскому за внимание и ценные обсуждения.

Литература

- [1] Л. А. Халфин. Об увеличении разрешающей способности оптических приборов. Докл. на сессии Отделения общей физики и астрономии, 1968.
- [2] Л. А. Халфин. Опт. и спектр., 26, 1065, 1969.
- [3] Л. А. Халфин. Тез. докл. VIII Всесоюзн. совещ. по ядерной спектроскопии. Изд. АН СССР, М., 1958.
- [4] Л. А. Халфин. Тр. Всесоюзн. совещ. по теории вероятностей и математической статистике. Изд. АН СССР, Ереван, 1960.
- [5] Л. А. Халфин. Информационно-статистическая теория оптических и спектральных приборов. Курс лекций на физ. фак. ЛГУ, 1960—1961 г.
- [6] Л. А. Халфин. Тр. Всесоюзн. совещ. по теории вероятностей и математической статистике. Изд. ГИПНЛ ЛитССР, Вильнюс, 1962.
- [7] Л. А. Халфин. Сб. «Качество аэрофотоизображения» (материалы семинара Междуведомственной комиссии по аэросъемке АН СССР), 26. Л., 1969.
- [8] В. Н. Судаков, Л. А. Халфин. ДАН СССР, 157, 1058, 1964.
- [9] А. Н. Королев. Усп. физ. наук, 96, 261, 1968.
- [10] J. Upatnieks, A. Van der Lugt, E. Leith. Appl. Optics, 5, 589, 1966.
- [11] G. W. Stroke. Photogr. Korresp., 104, 82, 1968; Optica Acta, 16, 401, 1969; Industr. Photogr., 19, 26, 1970.

Поступило в Редакцию 15 июля 1971 г.

УДК 535.317.1

О ВОЗМОЖНОСТИ УСТРАНЕНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ПОРЯДКОВ В СИНТЕЗИРОВАННЫХ БИНАРНЫХ ГОЛОГРАММАХ

Л. Ш. Егиазарян, С. Х. Оганесян, Б. Е. Хайкин и В. С. Хитрова

Появление дифракционных порядков при восстановлении синтезированных бинарных голограмм [1] обусловлено дифракцией на сетчатой структуре синтезированной голограммы. Это явление может быть отнесено к недостаткам синтезированных голограмм, так как оно приводит к ослаблению интенсивности изображения в каждом дифракционном порядке, что нежелательно при использовании синтезированных голограмм для устройств отображения информации и в качестве решающих фильтров [2], в которых требуется достаточно большая мощность лазера.

Известен метод устранения дифракционных порядков в киноформе, т. е. отбеленной фазовой голограмме [3] посредством отбеливания и согласования фаз. Фаза в киноформе представляется в виде

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta(\mu d), \quad (1)$$

где $\Delta(\mu d)$ — изменение произведения толщины пленки и показателя преломления. Величина $\Delta\Phi$ зависит от экспозиции при записи на фотопленку. При проявлении фотопленки согласование фаз обеспечивается тем, что луч, попадающий на область $\Phi=0$, должен получить запаздывание на 2π по сравнению с лучом, попадающим на область с $\Phi=2\pi$. Процесс отбеливания с одновременным согласованием фаз является достаточно сложным процессом, требующим фотометрирования.

В настоящем сообщении указывается на возможность устранения дифракционных порядков в синтезированных бинарных голограммах посредством выбора параметров точек синтезированных голограмм при использовании вывода точек синтезированной бинарной голограммы на экран электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Определение фаз для каждой точки синтезированной голограммы выполняется на основе метода [1], т. е.

$$\cos \theta \approx \sum_{i=1}^N \cos kr_i. \quad (2)$$