

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ НЕРВНЫХ СТРУКТУР. СООБЩЕНИЕ 4

При обычной регистрации изображений, формируемых с помощью линз, осуществляется (в пределах разрешающей способности оптической системы) взаимно-однозначное отображение каждого точечного элемента оригинала в точечный элемент изображения. Однако при использовании некогерентного света такое соответствие имеет место только для сопряженных плоскостей при обычной регистрации светового потока, попадающего через входное окно оптической системы.

Между тем информация об отображаемом оригинале может быть получена в любом из сечений, например плоском, в области пространства, окружающей наблюдаемый объект. Об этом свидетельствует возможность получения изображения (действительного или мнимого) с помощью линзы, расположенной в любой плоскости на пути светового потока, исходящего от предмета. Обычные методы регистрации светового потока и освещения объектов при использовании некогерентного света не позволяют воспользоваться информацией об изображении объекта, имеющейся в любой плоскости, расположенной между объектом и линзой и сопряженной объекту плоскостью и в области за сопряженной объекту плоскостью.

Невозможность обратимой регистрации изображений в указанных областях определяется двумя основными причинами. Одна из них состоит в том, что эквивалентная функция рассеяния оптической системы является гладкой колоколообразной функцией (точное аналитическое описание ее пока безразлично). Только для сопряженных плоскостей оптической системы с собирающей линзой эффективная площадь функции рассеивания стягивается в «точку», размеры которой определяются разрешающей способностью системы.

Неточечность функции рассеяния для указанных плоскостей является причиной того, что световой поток от каждого точечного элемента самосветящегося объекта распределяется почти равномерно на значительную площадь в плоскости регистрации на пути светового потока. Это приводит к необратимой потере высоких пространственных частот изображения и необратимости преобразования сигнала, превращаемого в почти равномерный фон.

Вторая причина необходимости преобразования «сглаженного» по высоким пространственным частотам сигнала заключается в том, что при регистрации такого сигнала обычным способом полностью утрачивается информация о направлении хода регистрируемых пучков лучей.

В предыдущих сообщениях настоящей работы* описана возможность перехода при записи изображений от гладких функций рассеяния к дискретизированным, имеющим один сильно выраженный максимум автокорреляционной функции. Физическая реализация таких функций рассеяния осуществлялась с помощью апертурных масок с необходимым распределением прозрачности, обеспечивающих обратимое кодирование изображений. Апертурные маски размещались на пути светового потока от самосветящегося объекта к плоскости регистрации. Однако при записи самосветящихся объектов в рассмотренной ранее системе не удастся обеспечить только взаимно-однозначное соответствие между оригиналом и его восстановленным образом из-за невозможности восстановления направления хода пучков лучей, имевших место при записи. Здесь фиксируемый предмет и источник света оказываются совмещенными в одном объекте. Отсутствие оригинала при восстановлении по его образу приводит к необходимости использования другого источника света, неизбежно порождающего посторонние пучки лучей и следы этих пучков в плоскости восстановления полезного сигнала.

Другими словами, при восстановлении исходного изображения применялся отдельный источник. Каждая точка регистрируемого изображения при записи формировалась от световых пучков, приходивших под определенным углом к плоскости регистрации. При воспроизведении каждая точка изображения становилась диффузным источником света, содержащим пучки лучей, которых не было при записи. Это приводило к формированию фоновой составляющей при воспроизведении, уменьшающей контраст полезного сигнала.

В настоящем сообщении рассматривается улучшенный вариант многолучевой записи изображений, обеспечивающий «запоминание» направления хода пучков лучей, имевшихся при записи. При голографической записи изображений обеспечивается полное восстановление исходного волнового фронта благодаря использованию воспроизводимого опорного источника когерентного излучения. Применение многослойных апертурных масок позволяет создать аналог опорного освещения. Если этот источник используется и при записи, и при воспроизведении, то появляется возможность более полного восстановления исходного волнового фронта с сохранением первоначального хода пучков лучей, имевших место при записи.

Как известно, в фокальной плоскости объектива интегрируются параллельные пучки лучей, попадающих в оптическую систему. При этом в каждой точке фокальной плоскости, отстоящей от

* Бахтигозин В. А., Бугай Ю. П., Куманин Ю. А., Червов В. Г. Оптическая система для исследования биологических моделей нервной системы. *Сообщение 1, 2.* — В кн.: Проблемы бионики. Вып. 16. Харьков, 1976, с. 66—78.

Преобразование, осуществляемое в такой системе, аналогично (2) с дополнительным множителем под интегралом, который описывает влияние второй маски:

$$F(\vec{x}) = \int_{R^2} d\vec{x}' Q(\vec{x}') M_1(\vec{x}' - k_1\vec{x}) M_2(\vec{x}' - k_2\vec{x}). \quad (4)$$

Здесь $k_2 = l_2/f$ (рисунок).

Процесс восстановления описывается интегральным преобразованием

$$\tilde{Q}(\vec{x}') = \int_{R^2} d\vec{x} F(\vec{x}) M_1(\vec{x}' - k_1\vec{x}) M_2(\vec{x}' - k_2\vec{x}). \quad (5)$$

Подставляя выражение (4) в (5) и изменяя порядок интегрирования, получаем выражение, аналогичное (3):

$$\tilde{Q}(\vec{x}') = \int_{R^2} d\vec{x}'' Q(\vec{x}'') G(\vec{x}'', \vec{x}'). \quad (6)$$

Функция $G(\vec{x}'', \vec{x}')$ может рассматриваться в качестве аппроксимации δ -функции ввиду ее хороших фильтрующих свойств, позволяющих восстанавливать входной сигнал $Q(\vec{x})$. Однако структура функции $G(\vec{x}'', \vec{x}')$ сложнее обычной корреляционной функции

$$G(\vec{x}'', \vec{x}') = \int_{R^2} d\vec{x} M_1(\vec{x}'' - k_1\vec{x}) M_2(\vec{x}'' - k_2\vec{x}) M_1(\vec{x}' - k_1\vec{x}) M_2(\vec{x}' - k_2\vec{x}). \quad (7)$$

В случае $k_1 = k_2 = k$, что означает $l_1 = l_2$ (см. рисунок), имеем вариант «произведения» двух масок в одной плоскости. Ранее нами был рассмотрен пример такой комбинации для шумоподобной маски и зонной решетки Френеля. Функция $G(\vec{x}'', \vec{x}')$ совпадает тогда с автокорреляционной функцией для произведения двух масок и функционирует так же, как и одна маска, но с иным распределением плотности прозрачности: по закону распределения произведения плотностей прозрачности отдельных масок. В этом случае замена переменных $\vec{x}' - k_1\vec{x} = \vec{y}$ приводит к

$$G(\vec{x}'', \vec{x}') = k \operatorname{cor} (M_1 M_2, M_1 M_2). \quad (8)$$

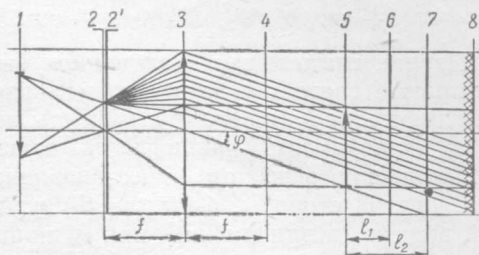


Схема оптического устройства для квазиголографической записи и воспроизведения изображений:

1 — плоскость восстановленного изображения; 2, 4 — фокальные плоскости объектива; 2 — плоскость регистрации квазиголограммы; 3 — объект; 5 — объект; 6 — маска M_1 ; 7 — маска M_2 ; 8 — источник диффузного освещения; f — фокусное расстояние объектива; l_1, l_2 — расстояния между масками и объектом.

Для уяснения эффекта разнесения двух масок вдоль оптической оси, что соответствует $k_1 \neq k_2$, выделим из выражения (7) часть, соответствующую (8). Разложим $M_2(\vec{x})$ по степеням $(k_1 - k_2)\vec{x} = \vec{h}$ и возьмем линейную часть разложения. После замены переменных, как в формуле (8), получим

$$\begin{aligned}
 G(\vec{x}'', \vec{x}') &\approx k_1 \int_{R^2} dy \vec{M}_1(\vec{y}) M_1[(\vec{x}'' - \vec{x}') + \vec{y}] \{M_2(\vec{y}) + \\
 &+ M_2'(\vec{y}) \vec{h}\} \{M_2[(\vec{x}'' - \vec{x}') + \vec{y}] + M_2'[(\vec{x}'' - \vec{x}') + \vec{y}] \vec{h}\} \approx \\
 &\approx k_1 \{ \text{cor} [M_1 M_2, M_1 M_2] + \text{cor} [M_1 M_2' \vec{h}, M_1 M_2' \vec{h}] + \\
 &+ \text{cor} [M_1 M_2, M_1 M_2' \vec{h}] + \text{cor} [M_1 M_2' \vec{h}, M_1 M_2] \}. \quad (9)
 \end{aligned}$$

Первое слагаемое в полученном выражении совпадает с (8). Остальные слагаемые могут обеспечивать различные эффекты в зависимости от конкретной структуры используемых масок. Обычно в эксперименте наблюдается сглаживание высокочастотных составляющих фона при восстановлении изображения объекта.

С другой стороны, формула (9) отражает принципиально новый эффект, возникающий при использовании масок, разнесенных относительно одна другой. Процесс кодирования становится неоднородным. Функция $G(\vec{x}'', \vec{x}')$ уже не является ядром с разностным аргументом. В (9) от разности $\vec{x}'' - \vec{x}'$ полностью зависит лишь первое слагаемое — остальные этим свойством не обладают. Неоднородность тем заметнее, чем большие значения принимает величина \vec{h} , которая линейно связана с величиной расстояния между масками. Последнее свойство позволяет, например, производить запись на один носитель нескольких квазиголограмм разных объектов путем использования одного и того же комплекта масок, смещая их каждый раз в их плоскостях. После этого объекты могут быть избирательно восстановлены с одного носителя.

В дальнейшем предполагается продолжать исследования в направлении использования новых возможностей метода. Интересные результаты, по-видимому, могут быть получены и при составлении описанной модели с динамикой процессов распределенного кодирования образов в зрительном анализаторе, где имеются довольно веские основания предполагать использование небольшого набора «масок» при одновременном сохранении гибкости и избирательности системы в целом.