

УДК 62.506.2

В. А. БАХТИГОЗИН, Ю. П. БУГАЙ, канд. техн. наук,
Ю. А. КУМАНИН, В. Г. ЧЕРВОВ, канд. биол. наук

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОГОЛОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ. СООБЩЕНИЕ 2

В первом сообщении настоящей работы было рассмотрено формальное обоснование выбора параметров кодирующих и декодирующих масок в оптической моделирующей системе. При кодировании и декодировании изображений в эксперименте, как правило, использовались одни и те же маски. Однако, как следует из общего теоретического описания кодирующих и декодирующих операций, роль декодирующих масок могут выполнять любые достаточно представительные выборки из кодирующих масок. Необходимо лишь, чтобы корреляционная функция кодирующей и декодирующей маски имела один достаточно узкий и интенсивный максимум.

Проведенная формальная оценка пригодности масок в операциях кодирования-декодирования еще не включает других существенных параметров системы. Прежде всего необходимо выяснить пределы, в которых можно изменять разрешающую способность системы при приемлемых ее размерах и параметрах масок. Оценку разрешающей способности удобнее произвести для конкретной оптической системы.

Оптическая моделирующая система схематически изображена на рис. 1, где 1 — источник диффузного некогерентного света; 2 — исходный объект, выполненный в виде диапозитива или транспаранта; 3 — кодирующие (они же декодирующие) маски; 4—5 — выходные плоскости (места наблюдения или фотографирования выходного изображения); 6 — второй источник диффузного света, используемый при восстановлении сигнала.

Рассмотрим работу системы в режиме записи и воспроизведения сигналов. Лучи света от объекта 2 (рис. 1), освещающего через матовое стекло источником света 1, через маску 3 попадают на экран (или на фотопластинку), устанавливаемый в выходной области 4—5. При использовании масок с большим числом прозрачных окон (отверстий) в новой области за маской образуется выходной сигнал в виде сложного распределения интенсивности,

овременно не напоминающей исходный объект (см. рис. 2, б). Распределение интенсивности различно в различных положениях выходной плоскости. Выходная плоскость не обязательно должна быть расположена параллельно плоскости маски и объекта.

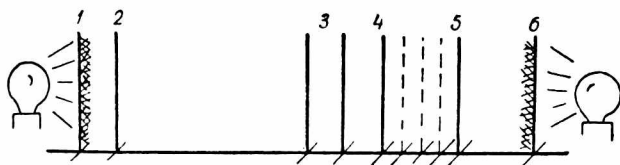


Рис. 1.

При восстановлении исходного изображения диапозитив выходного изображения необходимо установить в том же месте и на таком же расстоянии от плоскости объекта и маски, где стояла при фиксации выходного сигнала фотопластинка, и осветить диффузным немонахроматическим светом от источника 6. Лучи света после рассеивания на диапозитиве через маску 3, установленную в том же месте, в котором она находилась при записи, попадают в плоскость объекта 2. Если вместо объекта 2 поставить рассеивающий экран, то можно в нем наблюдать действительное изображение объекта.

При записи и воспроизведении пространственного объекта все приведенные рассуждения остаются такими же. При восстановлении пространственного сигнала с плоского диапозитива изображение исходного пространственного объекта можно наблюдать в различных сочетаниях в той области пространства, где находился объект при записи. Для этого в соответствующем сечении помещают рассеивающий экран. При выполнении необходимых условий наблюдения восстановленное изображение можно наблюдать непосредственно.

Разрешающая способность системы

Простая оценка разрешающей способности системы в режиме записи может быть проведена для случая, когда изображения исходного объекта в выходной плоскости, повторенные столько раз, сколько отверстий в кодирующей маске, не накладываются друг на друга. Этому условию, сводящему оценку разрешающей способности системы к случаю, когда маска содержит одно-единственное отверстие, соответствуют определенные относительные расстояния от объекта до маски, от маски до выходной плоскости и определенные размеры отверстия в маске.

В указанном случае можно рассчитать для конкретных размеров системы оптимальный диаметр отдельного отверстия в маске. Диаметр отверстия, при котором каждый точечный элемент исходного объекта отображается в выходной плоскости в наилучший точечный элемент, определяется из следующего условия:

$$B = 0,82r_1, \quad (1)$$

где B — диаметр отверстия (окна) маски; $2r_1$ — диаметр первой зоны Френеля в месте расположения отверстия маски.

Радиус первой зоны Френеля определяется из соотношения

$$r_1^2 = \frac{ab}{a+b} \lambda, \quad (2)$$

где a — кратчайшее расстояние от точечного элемента исходного объекта до плоскости маски; b — расстояние от маски до выходной плоскости, в которой помещен экран для наблюдения или фотопластинка для регистрации выходного сигнала; λ — средняя длина волны света (в расчетах принималось равным $0,6 \text{ мкм}$)¹.

Из соотношений (1) и (2) для оптимального размера отверстия в маске получим

$$B = 1,6 \sqrt{\frac{ab}{a+b} \lambda}. \quad (3)$$

Для оптимального размера отверстия в маске, определенного из соотношения (3), введение в отверстие линзы того же диаметра не улучшает качества изображения [1, с. 146]. Оценка угловой разрешающей способности линзы [1, с. 54] (или отверстия в маске) может быть с хорошим приближением произведена с помощью соотношения

$$2\omega_{\min} = \frac{\lambda}{B}, \quad (4)$$

где $\omega_{\min}$ — наименьший угол разрешения; λ — длина волны света; B — диаметр линзы или отверстия.

В рассматриваемой оптической системе расстояниям от плоскости объекта до маски $a = 0,1 \text{ м}$ и от маски до выходной плоскости $b = 0,1 \text{ м}$ соответствует оптимальный диаметр отверстия маски $0,28 \text{ мм}$.

В первом приближении при качественном описании работы системы можно не учитывать эффект дифракции на отверстиях маски и проводить рассуждения в пределах геометрической оптики. В таком приближении можно считать, что при записи лучи света от каждого точечного элемента исходного объекта попадают через множество отверстий кодирующей маски 3 (см. рис. 1) в выходную плоскость 4 и формируют выходное изображение в виде центральной проекции маски. Результирующее изображение исходного объекта в выходной плоскости представляет собой сумму интенсивностей отдельных точек, распределенных по законам центральных проекций маски от всех точек объекта.

Учитывая, что при записи и воспроизведении положение масок относительно входной и выходной плоскости не изменяется, можно сказать, что в системе при записи регистрируются интенсивности лучей и направление их пропускания. При восстановлении в систе-

¹ Поль Р. В. Оптика и атомная физика. М., «Наука», 1966. 552 с.

ме можно наблюдать мнимое изображение исходного объекта, если рассматривать его в выходной области за маской и за диапозитивом записанного изображения.

Источник диффузного света I находится в последнем случае в том же месте, что и при записи. В качестве примера на рис. 2, а, б, в представлены, соответственно, исходный объект, его изображение в выходной области и восстановленное действительное изображение объекта. Запись исходного объекта осуществляется при использовании двух масок (см. сообщение 1 настоящей работы): пропускание первой на пути хода лучей маски определяется как произведение пропускания зонной пластинки Френеля и пропускания маски со случайным размещением прозрачных отверстий, пропускание второй — случайным законом размещения отверстий. Автокорреляционная функция каждой маски, как это отмечено в предыдущем сообщении, имеет один резко выраженный максимум.

Особенностью преобразований сигнала в рассматриваемой оптической системе является их высокая помехоустойчивость. Разрушение значительной части изображения, записанного в распределенном коде, приводит лишь к пропорциональному уменьшению контраста восстановленного изображения.

В данной системе была осуществлена последовательная запись двух различных изображений (каждое изображение записывалось через свою особую маску) на одну и ту же фотопластинку. Каждое из изображений через соответствующую декодирующую маску было восстановлено с одного и того же диапозитива последовательно одно за другим. Осуществлялось также восстановление исходного изображения частью декодирующей маски. Эта последняя особенность системы соответствует ассоциативным свойствам памяти нервной системы.

Выше была проведена качественная оценка параметров системы для простейшего случая, небольшого числа отверстий в масках. Предварительная оценка была сделана и для более общего случая сложного (многоэлементного) входного изображения для

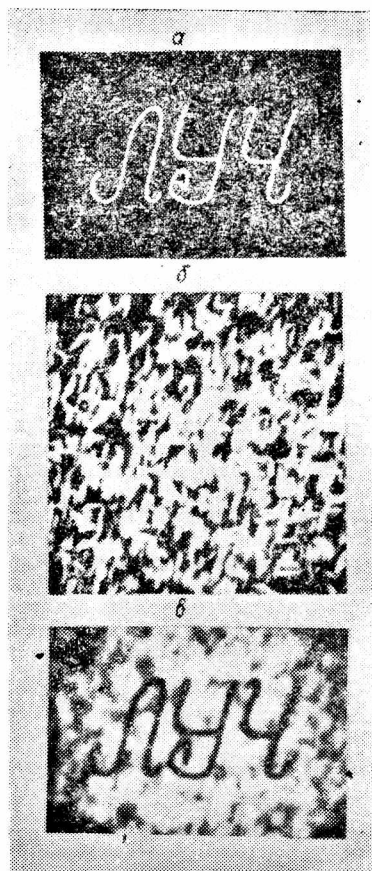


Рис. 2.

масок, содержащих максимально возможное число отверстий с пропусканием более 50% падающего на них светового потока. Проведены экспериментальные исследования многослойных кодирующих и декодирующих масок. Добавление каждого нового слоя в блоке масок приводит к уменьшению фоновой составляющей восстановленного изображения, к увеличению отношения сигнал—шум. Каждый последующий слой маски формируется в соответствии с пропусканием предыдущей маски так, чтобы ни один полезный луч при записи не терялся на последующих слоях маски.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотренная оптическая система позволяет исследовать особенности распределенных пространственных кодов зрительного и других анализаторов нервной системы.

2. В моделирующей системе возможна запись и воспроизведение пространственных изображений в некогерентном свете. Эта особенность позволяет использовать ее в качестве физической модели биологической бинокулярной системы.

3. Показана возможность реализации пространственных кодов в функциональном отношении, подобных голографическим, без использования когерентных колебаний. Это позволяет строить биоголографические модели нервной системы без апелляции к нервным волнам активности, играющим роль предметных и опорных колебаний.

4. Рассмотренную систему можно использовать для исследования ассоциативных особенностей памяти, способной, например, формировать сигнал «узнавания» уже при частичном фрагментарном предъявлении сигнала.

5. При использовании комбинированных наборов масок в модели легко воспроизвести одновременно операции фильтрации и кодирования, осуществляемые, например, в зрительном анализаторе нервной системы.

6. Общим результатом предварительных исследований, проведенных на модели, является следующее: распределенные пространственные коды, реализуемые посредством соответствующих масок, обеспечивают возможность воспроизведения в модели широкого класса операций запоминания, хранения, кодирования и воспроизведения информации, осуществляемых нервной системой.

Поступила 28 октября 1974 г