

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРЕХМЕРНОЙ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИИ

*ИСМАНОВ Ю. Х.*

(КГТУ им. И. Раззакова, кафедра физики)

[izvestiya@ktu.aknet.kg](mailto:izvestiya@ktu.aknet.kg)

*В цифровой голографии трехмерных объектов существуют две важнейшие проблемы: использование информации о фазе объекта и сведение трехмерного объекта к двумерному. В данной статье рассматриваются возможные методы решения этих проблем. Приведены некоторые результаты компьютерного моделирования.*

### Введение

В общем случае проблема компьютерной записи голограммы трехмерного объекта сводится к численному решению дифракционного интеграла. Однако расчет голограммы с использованием дифракционного интеграла даже для простейших трехмерных объектов математически очень трудоемок. Поэтому в численных расчетах голограмм дифракционный интеграл сводят к интегралу Френеля. Преобразования Френеля, которые лежат в основе математического аппарата, описывающего процесс записи голограммы Френеля, это, по сути, двумерные преобразования, позволяющие увязывать точки одной плоскости с точками другой. Т. е., переходя от дифракционного интеграла как трехмерной задачи к преобразованиям Френеля мы теряем информацию об одной из пространственных координат. Сделав этот шаг, т. е. перейдя от пространственной задачи к плоской, мы, строго говоря, потеряли возможность точного учета глубины и рельефа объекта. Даже в голограмму Френеля входит только расстояние от объекта до плоскости наблюдения, а не глубина рельефа объекта. Тем не менее остается возможность синтезировать поле, восстанавливающее в определенных условиях объект, а значит, остается наиболее важное свойство голографической визуализации – естественность наблюдения объекта. Что касается передачи рельефа, то для нее можно предложить искусственные приемы.

Задача вычисления распределения амплитуды и фазы световой волны, которая рассеивается произвольным трехмерным объектом на произвольную поверхность наблюдения, является по необходимости трехмерной и сводится к решению интегралов вида

$$\begin{aligned} \Gamma(\xi, \eta, \zeta) &= \\ &= \int_{F(x,y,z)} A(x, y, z) |b(x, y, z)| \times \exp i[\alpha(x, y, z) + \beta(x, y, z)] \times T(x, y, z, \xi, \eta, \zeta) dx dy dz, \end{aligned}$$

где  $A(x, y, z) \exp i\alpha(x, y, z)$  — распределение амплитуды и фазы освещения на поверхности наблюдения, интегрирование производится на поверхности  $F(x, y, z)$ . Вид ядра этого преобразования  $T(x, y, z, \xi, \eta, \zeta)$  зависит от пространственного расположения объекта и поверхности наблюдения. Вычисление таких интегралов в общем случае требует чрезвычайно громоздких вычислений. Но, учитывая естественные ограничения процесса визуального наблюдения, эту задачу можно существенно упростить [1,2]. Эти ограничения состоят в следующем:

1. Размеры зрачка глаза наблюдателя намного меньше расстояния от объекта до поверхности наблюдения.

2. Человек с нормальным зрением воспринимает объем тел главным образом благодаря бинокулярному зрению, эффекту перспективных искажений и затенению непрозрачными телами тел, находящихся за ними, а также эффекту образования светотеней и бликов на диффузных поверхностях тел.

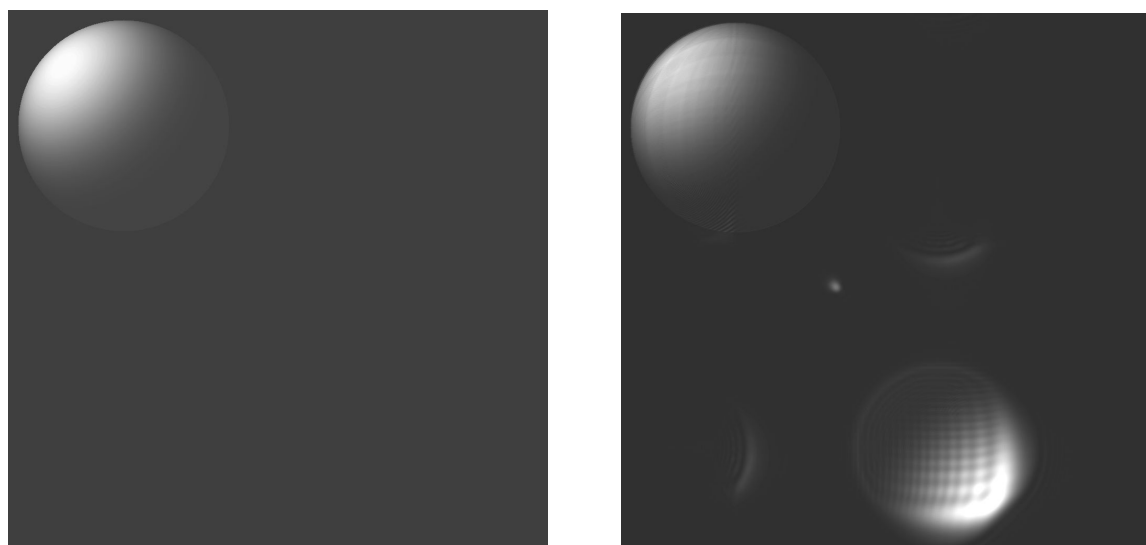
3. Участки поверхности наблюдения размером в межзрачковое расстояние глаз можно считать плоскими.

4. Глубина рельефа объектов, расположенных на удобном для рассматривания расстоянии от наблюдателя, обычно мала по сравнению с этим расстоянием.

Они позволяют прежде всего свести трехмерную задачу к двумерной. Для этого поверхность наблюдения можно разбить на участки, аппроксимируемые плоскостями, а распределение амплитуды и фазы волны на поверхности объекта заменить, пользуясь законами геометрической оптики, распределением амплитуды и фазы волны на плоскости, касающейся объекта (или просто достаточно близкой к нему, чтобы при пересчете амплитуды и фазы волны можно было пренебречь дифракцией) и параллельной данному плоскому участку поверхности наблюдения.

### **Результаты моделирования процесса записи и восстановления голограмм простейших трехмерных объектов**

Для моделирования процесса записи и восстановления голограмм были взяты сфера и конус. Распределения фаз и амплитуд по поверхности



(а)

(б)

Рис. 1. Исходное (а) и восстановленное (б) изображение сферы. Освещение параллельным пучком света ( $\theta=135^{\circ}$ ,  $\varphi=135^{\circ}$ ).

входных объектов определялись как результат совместного решения уравнений, описывающих поверхности соответствующих трехмерных объектов, и уравнения плоской волны, падающей на поверхность рассматриваемого объекта. На рис. 1а представлено изображение сферы, подаваемой на вход компьютерной модели. Изображения сферы и фона заданы в виде матрицы размером  $1024 \times 1024$ . Сфера освещается параллельным пучком света. Угол освещения сферы:  $\theta=135^{\circ}$ ,  $\varphi=135^{\circ}$ .

Как видно из рисунка, высокое разрешение позволяет добиться плавного изменения освещенности при переходе от одной точки поверхности к другой. Высокое разрешение позволяет также более четкое выявление закономерностей изменения фазы вдоль поверхности объекта, что, в свою очередь, позволит повысить качество восстановленных изображений.

На рис.1б показан результат восстановления голограммы сферы, входное изображение которой представлено на рис. 1а. Голограмма была записана в зоне Френеля [3,4]. При записи использована плоская опорная волна. Для восстановления использовалась исходная плоская опорная волна, поэтому на рисунке видно только одно сфокусированное изображение – действительное изображение сферы. Место расположения мнимого изображения обозначено расфокусированным пятном.

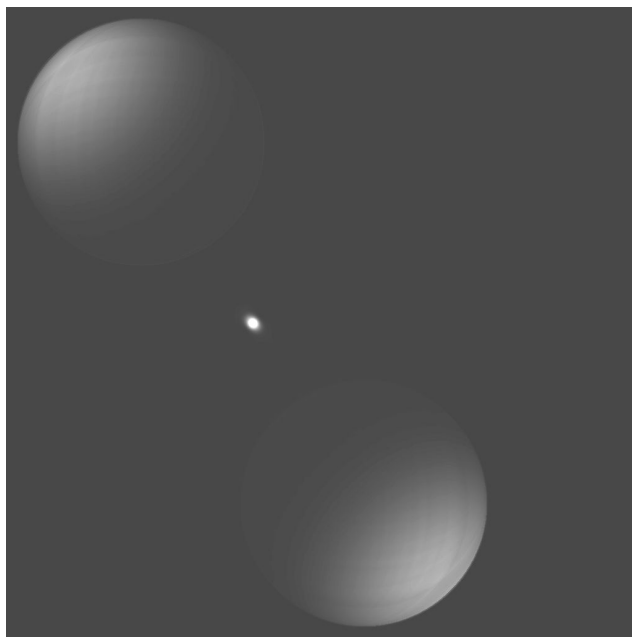


Рис.2. Восстановленное изображение сферы (исходный объект на рис.2). Запись и восстановление сферы осуществлялись сферической опорной волной. Размер изображения 1024×1024.

Рис. 2 показывает результат восстановления голограммы сферы, записанной с помощью сферической опорной волны. Восстанавливалась голограмма также при помощи сферической опорной волны, подобной той, что использовалась при записи. Как видно из рисунка, восстанавливаются при этом оба изображения сферы – мнимое и действительное. Объяснением этому может быть предположение, что при записи или восстановлении голограммы компенсируется фазовый множитель, играющий роль расфокусирующей линзы. Как следствие – оба изображения сфокусированы.

### Литература

1. Ярославский Л. П., Мерзляков Н. С. Цифровая голография. – М.: Наука, 1982. 221 с.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений, ч. 1. – М.: Мир, 1982. 790 с.
3. Исманов Ю. Х. Цифровое восстановление голограммы Френеля // 1-я республиканская научно-техническая конференция молодых ученых Киргизии: Тезисы докладов. – Фрунзе, 1981. С. 70
4. Исманов Ю. Х., Маринов А. Алгоритм восстановления предметного поля из СВЧ-голограммы // Первая Всесоюзная конференция по радиооптике: Тезисы докладов. – Фрунзе, 1981. С. 40-41
5. Оптическая голография, т. 1 / Под ред. Колфилда Г. – М.: Мир, 1982. 376 с.

## **SOME FEATURES OF 3D DIGITAL HOLOGRAPHY**

**Ismanov Y. H.**

*(I. Razzakov's KTSU, Department "Physics")*

*There are two the most important problems in the digital holography of 3D objects: the using of object phase information and consideration of 3D object as 2D one. Methods for the solving of these problems are offered in the given paper. Some results of the computer simulation for the simplest objects are considered.*