

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ОПТИКА:
СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ ГОЛОГРАММ**

СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ РАДУЖНЫХ ГОЛОГРАММ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНЫХ ЦВЕТАХ

1. ВВЕДЕНИЕ

За последние три десятилетия, начиная с первых цифровых голограмм, предложенных Ломаном,¹ методы компьютерной голографии получили широкое развитие.² Однако предполагается, что компьютерные голограммы, синтезируемые с помощью существующих в настоящее время методов, реконструируются монохроматическими источниками. Это значительно уменьшает возможности дальнейшего применения этих цифровых методов, особенно в изобразительной голографии.

Другое неудобство, связанное с применением при синтезе голограмм существующих цифровых методов, обусловлено большим объемом вычислительных затрат при полном цикле синтеза голограммы реального трехмерного объекта. Отсутствие вертикального параллакса в радужных голограммах позволяет значительно сократить объем вычислений, заменяя описание трехмерного объекта, серией двумерных кривых, таким образом переходя от двумерной последовательности двумерных интегральных преобразований (Френеля или Фурье) к одномерной последовательности одномерных же интегральных преобразований.

2. ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РАДУЖНОЙ ГОЛОГРАММЫ

Основная сложность описания математической модели радужной голограммы заключается в отсутствии реальных трехмерных объектов обладающих лишь горизонтальным параллаксом. С другой стороны попытка построить модель на основе оптической схемы Бентона приводит к чрезмерно усложненным математическим выкладкам. Мы предлагаем другой способ построения математической модели.

Отметим, что большинство приборов, как и глаз человека, регистрирует лишь двумерные изображения. Более того, большая часть таких изображений является угловыми проекциями трехмерных объектов построенными по законам геометрической оптики. Чувство трехмерности возникает тогда, когда объектив или зрачок меняет

положение в пространстве и соответственно меняется изображение на принимающем устройстве или на сетчатке глаза. Нелинейность изменения изображения в результате движения зрачка, порождаемая различной глубиной проецируемых точек трехмерного пространства, часто называют параллаксом. Учитывая эту особенность восприятия можно сформулировать цель изобразительной голографии как эмуляцию при помощи источника света и голограммы изменения изображения на сетчатке глаза в соответствии с движением зрачка, как если бы в поле зрения находился реальный трехмерный объект.

Требуемой эмуляции можно добиться если любой небольшой фрагмент голограммы (такой, что с расстояния зрачка наблюдателя представляется точкой) дифрагирует волновой фронт источника таким образом, что распределение интенсивности света в некотором телесном угле (приближение геометрической оптики) соответствовало бы реальному распределению света от объекта в телесном угле пространства с вершиной в выбранном фрагменте. Рис. 1. иллюстрирует принцип эмуляции. Допустим (ξ, η) произвольная плоскость в пространстве, а h некоторый достаточно малый фрагмент этой плоскости. Тогда распределение интенсивности света в телесном угле (y'_1, h, y'_2) будет зависеть от объекта O . Так интенсивность вдоль оси (h, y'_1) будет соответствовать световой характеристике в точке p_1 , а вдоль оси (h, y'_2) будет соответствовать световой характеристике в точке p_2 . Если в плоскость (ξ, η) поместить голограмму, каждый фрагмент h которой под действием волнового фронта создавал бы нужное распределение интенсивности в некотором телесном угле то можно считать, что мы добились необходимой эмуляции при движении зрачка из точки y'_1 в точку y'_2 .

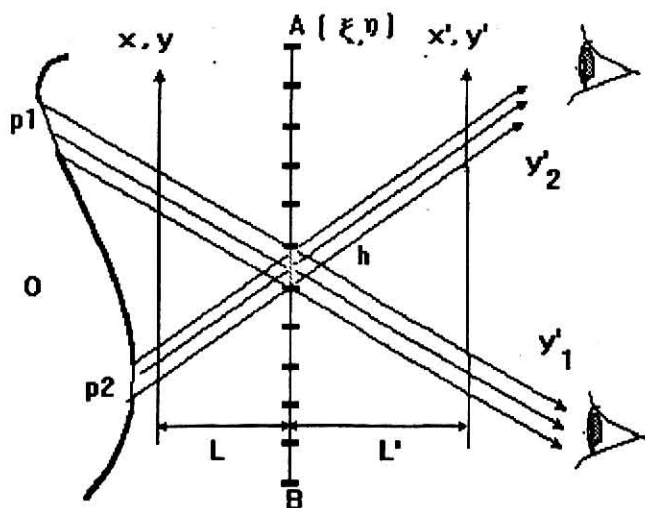


Рис. 1. Схема вертикального параллакса объекта относительно плоскости голограммы (ξ, η) .

Учитывая все сказанное выше, задача цифровой изобразительной голографии заключается в расчете амплитуды и фазы для двумерной матрицы элементарных голограмм (прямоугольник ABCD на Рис.2.) , таким образом, чтобы каждая элементарная голограмма представляла собой точечный дифракционный элемент, создающий нужное распределение интенсивности в телесном угле с вершиной в точке этого дифракционного элемента.

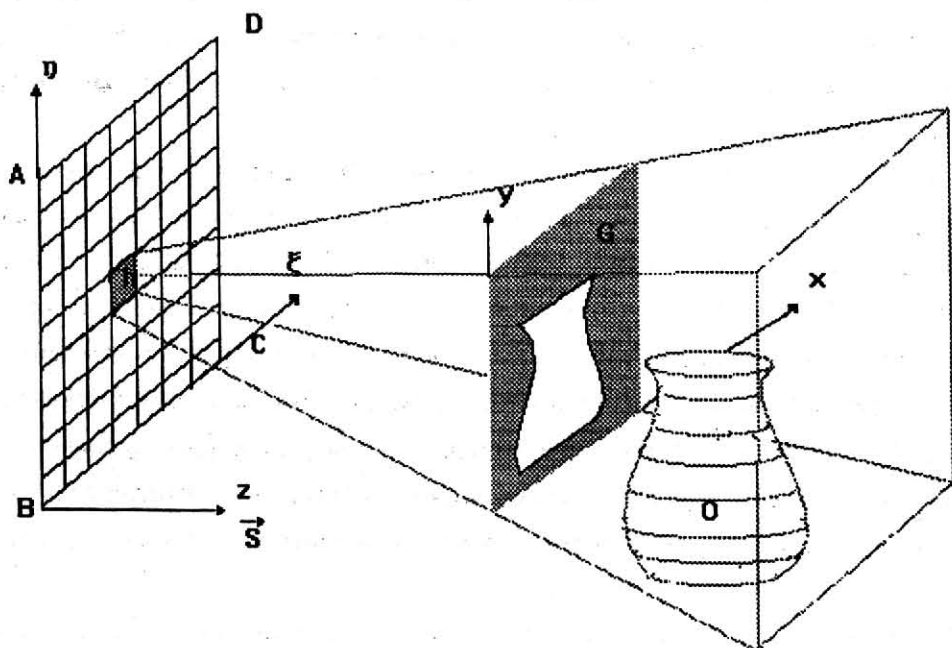


Рис. 2. Иллюстрация интегрального преобразования волнового фронта объекта.

Метод расчета отдельного дифракционного элемента хорошо известен. Для этого необходимо знать распределение интенсивности волнового поля в телесном угле, которое задается геометрической проекцией волнового поля объекта на некоторую плоскость (x,y) Рис.2., называемую плоскостью объекта. Тогда необходимое распределение амплитуды и фазы волнового поля в плоскости голограммы (ξ,η) , иначе в плоскости транспаранта, вычисляется по следующей формуле:

$$H(\xi, \eta) = F\{b(x, y) * \exp(v(x, y))\}, \quad (1)$$

где $H(\xi,\eta)$ - искомое распределение амплитуды и фазы восстанавливаемого поля в плоскости голограммы (ξ,η) Рис.2., F знак преобразования Фурье или Френеля, $b(x,y)$ - проекция функции амплитуды волнового поля объекта на плоскость G Рис.2. $v(x,y)$ - фаза волнового поля (может быть выбрана произвольной, так как при восстановлении в

- * расчет трехмерной модели объекта,
- * расчет серии двумерных функций-срезов трехмерной модели объекта,
- * построение серии одномерных функций проекций двумерных функций-срезов,
- * расчет математической голограммы,
- * кодирование комплексного поля для записи на физическую среду,
- * запись кодированной голограммы на регистрирующую среду.

Чтобы сделать нашу модель более полной, рассмотрим случай радужной голограммы для реальной цветопередачи объекта. Это возможно рассчитать для фиксированного вертикального угла наблюдения если вместо щелевой функции уравнения 2 взять функцию состоящую из трех линий:

$$b(x, y) = \begin{cases} f(x)_{blue} & \text{if } y = y_{blue} = 4c, \\ f(x)_{green} & \text{if } y = y_{green} = 5c, \\ f(x)_{red} & \text{if } y = y_{red} = 6c, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (3)$$

где c константа, а пропорции $y_{blue}:y_{green}:y_{red}$ как 4:5:6 должны быть сохранены для функций $\{f(x)_{blue}, f(x)_{green}, f(x)_{red}\}$ как линейное сокращение горизонтальных размеров объекта для различных спектральных линий. Такие пропорции являются следствием базисного red-green-blue разложения цветных изображений и могут быть заменены на другие пропорции в случае иной цветной декомпозиции в модели объекта.

3. РЕГИСТРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ

В нашем эксперименте мы выбрали простой тестовый объект: светлое кольцо и пять букв внутри, представленный в виде дискретной матрицей 128X128 пикселей. Объект был помещен на бесконечность иными словами выбранный объект можно отнести к Фурье-объектам. Мы отказались от идеи взять более сложный объект, по причине временных технических сложностей, действительно, окончательная голограмма представляет собой фотопленку размером 20X20 мм с разрешением 15μм, что позволяет видеть объект под максимальным углом наблюдения около 6°. Такого угла явно недостаточно для наблюдения объектов с реальной глубиной. После расчета математической голограммы амплитудно-кодированная информация была

зарегистрированная с помощью лазерного устройства чтения-записи FEAG-200, а затем изображение на пленке было уменьшено оптически на фото-слайд.

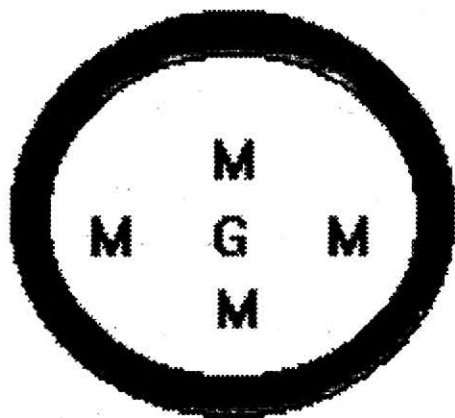


Рис. 5.а) Исходный объект.

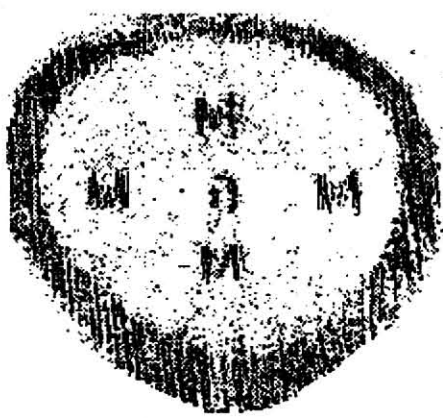


Рис. 5.б) Восстановленный объект.

Реконструкция проводилась двумя различными путями. В первом случае мы восстанавливали объект с помощью лазера цилиндрическая кривизна волнового фронта источника при этом эмулировала эффект спектральной дисперсии. Тестовая голограмма реконструировалась также с помощью точечного источника белого света. Реконструируемое изображение регистрировалось с помощью CCD-камеры. Восстанавливаемое изображение можно также наблюдать глазом. На Рис.5. показан исходный объект и реконструированное изображение. Вертикально линейчатая структура наблюдаемая на восстановленном изображении возникает как следствие дискретного преобразования Фурье.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе мы предложили новый метод расчета цифровых радужных голограмм восстанавливающих объект в реальных цветах. Опыт показал, что этот метод работает, и мы надеемся, что способ расчета и синтеза предложенный в работе найдет дальнейшее развитие в прикладных задачах изобразительной голографии.

5. БЛАГОДАРНОСТЬ

Мозеров М. Г. и Мерзляков Н. С. благодарят Российский фонд фундаментальных исследований 93-012-7 за поддержку этой работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. B.R.Brown and A.W.Lohmann, "Complex spatial filtering with binary masks", *Apple. Opt.*, Vol.5., pp. 967, 1966.
2. G.Trickles, "Computer generated holograms:an historical review2, *Apple. Opt.*, Vol.26,20. pp. 4351-4360, 1987.
3. T.S.Huang, "Digital Holography", *Proc. IEEE*, Vol. 59, No. 9, pp.1292-1304, 1971.
4. L.P.Yaroslavskii and N.S.Merzlyakov, *Methods of Digital Holography*, Const.Bureau, Plen.Publ.Cor., N.-Y., 1980.
5. L.P.Yaroslavskii and N.S.Merzlyakov, *Digital Holography*, Pub.House "Nauka", Moscow, 1982.(in Russian)
6. S.A.Benton, "White light transmission holograms" in *Proc. of the Int.Sym. on Display Holography*, Vol.1, Lake Forest, Illinois, 1984, pp. 5-14.

Справочник

"WA-2.РЕГИСТР. ПРОИЗВОДИТЕЛИ ТОВАРОВ И УСЛУГ.1994/1995"

3-е издание, в двух томах, 1424 стр.в каждом

В регистре 47500 предприятий: основная промышленность бывшего СССР, оборонные предприятия со специальной и конверсионной продукцией, компании новой экономики.

В регистре данные по каждому предприятию: наименование, форма собственности, адрес, телефон, факс, телекс, телетайп руководитель, полный перечень продукции.

Цена комплекта справочника в 2-х томах 80 ам.долл.

Цена электронной версии РЕГИСТРА в среде DOS или WINDOWS на дискетах 100 ам.долл.

Цены на издания указаны с учетом стоимости почтовой пересылки в пределах СНГ.

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ МЦНТИ:

- при расчетах по Москве и Московской области: МЦНТИ, р/с 900603538 в АКБ "Кредит-Москва", МФО 997 191, код участника 7М.
- при иногородних платежах: МЦНТИ, р/с 900603538 в АКБ "Кредит-Москва", корр.счет 501161700 в ГРКЦ ГУ ЦБ РФ по г.Москве, МФО 201791, код участника 83.

Заказы вместе с копией платежного поручения об оплате направлять по адресу:

Россия, 125252, Москва, ул.Куусинена,216, МЦНТИ.

Сектор организации, подготовки и распространения изданий.

Факс (095) 943-00-89 Телефон для справок 198-72-10

Synthesis of computer-generated true-color rainbow holograms

M.G. Mozerov, N.S. Merzlyakov

Abstract

Over the past three decades, starting with the first digital holograms proposed by Loman¹, computer holography methods have been developed actively². However, it is assumed that computer holograms synthesized using the current methods are reconstructed by monochromatic sources. This reduces significantly the possibility of further application of these digital methods, especially in fine holography.

Citation: Mozerov MG, Merzlyakov NS. Synthesis of computer-generated true-color rainbow holograms. *Computer Optics* 1995; 14-15(2): 23-30.

References

- [1] Brown BR, Lohmann AW. Complex spatial filtering with binary masks; *Apple. Opt.*; 1966; 5: 967.
- [2] Trickles G. Computer generated holograms: an historical review 2; *Apple. Opt.*; 1987; 26,20: 4351-4360.
- [3] Huang TS. Digital Holography, *Proc. IEEE*, 1971; 59(9): 1292-1304.
- [4] Yaroslavsky LP, Merzlyakov NS. *Methods of digital holography*; Const.Bureau, Plen.Publ.Cor.; New York: 1980.
- [5] Yaroslavsky LP, Merzlyakov NS. *Digital holography*; Moscow: Nauka Publisher; 1982.
- [6] Benton SA. White light transmission holograms; *Proc. of the Int. Sym. on Display Holography*; Illinois; Lake Forest: 1984, 1: 5-14.