

Holographic memory on the basis of synthesized holograms

Ismanov Yu.¹, Ismailov Dz.², Zhumaliyev K.³, Akkozov A.⁴

Голографическая память на основе синтезированных голограмм
Исмаилов Д. А.¹, Исманов Ю. Х.², Жумалиев К. М.³, Аккозов А. Д.⁴

¹Исманов Юсупжан Хакимжанович / Ismanov Yusupzhan - кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник;

²Исмаилов Джапар Авазович / Ismailov Dzharar - кандидат технических наук, заведующий лабораторией;

³Жумалиев Кубанычбек Мырзабекович / Zhumaliyev Kubanychbek - доктор технических наук, академик, Национальная академия наук Кыргызской республики;

⁴Аккозов Абдылдабек Джадраевич / Akkozov Abdyltabek - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт физико-технических проблем и материаловедения, Национальная академия наук Кыргызской республики, г. Бишкек, Кыргызская республика

Аннотация: в статье рассматривается возможность создания голографической памяти, в которой используются синтезированные голограммы для записи отдельных страниц, предназначенной для хранения цифровой информации. Приведены оптическая схема, методика записи голограмм. Показаны преимущества предложенной схемы перед традиционной.

Abstract: the article considers the possibility of creating a holographic memory, in which the synthesized hologram used to record individual pages for storing digital information. The optical scheme and the method of hologram recording are considered. The advantages of the proposed scheme over the traditional one are showed.

Ключевые слова: голографическая память, жидкокристаллический модулятор, синтезированная голограмма, хранение информации, опорный пучок.

Keywords: holographic memory, a liquid crystal modulator, synthesized hologram, information storage, the reference beam.

В ближайшей перспективе появятся задачи, требующие огромных вычислительных мощностей. Это в свою очередь потребует новых методов хранения гигантского объема информации, скорость записи и считывания которой должна быть очень высокой. И тут несомненным приоритетом, в сравнении с большим количеством известных методов хранения информации, обладает голографический метод. Именно этот метод позволяет получить очень высокую плотность записи, при том, что скорость доступа и считывания информации в этом случае остается максимальной. Достигается это тем, что и запись, и считывание происходят здесь огромными блоками – голограммами, каждая из которых несет большой объем информации. Параллельная запись и считывание со скоростью выше 1 Мбит/с, ассоциативность делают ее особенно привлекательной. Современное развитие оптоэлектронных приборов и компьютерных технологий способствуют дальнейшему развитию разработок голографической памяти [1-3].

Практически все известные способы записи информации голографическим методом основаны на фиксации интерференционной картины – голограммы, формирующейся как результат суперпозиции опорного и предметного пучков. Основная проблема, с которой сталкиваются экспериментаторы при разработке таких систем – это необходимость точного совмещения опорного и предметного пучков при записи голограмм. Другая проблема – это использование дорогостоящих дефлекторов, необходимых для отклонения опорного пучка на необходимый угол, что сильно усложняет процесс записи информации. Проблемой также является необходимость решить рассмотренные проблемы, по крайней мере на этапе записи голограммы, можно воспользовавшись следующим способом записи цифровой информации (рис.1). Луч лазера 1 расширяется микрообъективом 2 и коллимируется линзой 3. Далее расширенный луч лазера падает на жидкокристаллический модулятор света 4. На жидкокристаллическом модуляторе света отображается распределение интенсивности световой волны, рассчитанной по методике синтеза цифровой голограммы страницы цифровой информации с использованием опорной волны.

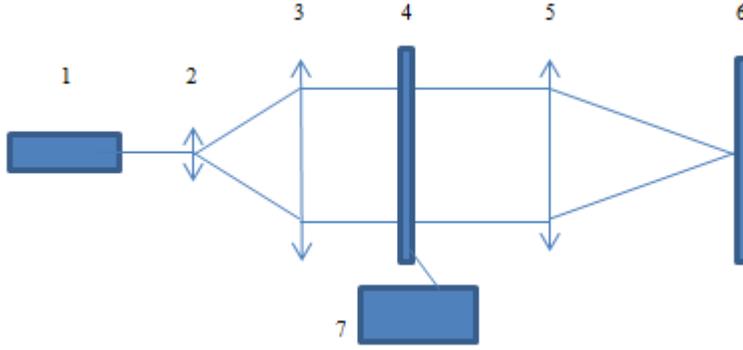


Рис. 1. Схема записи цифровой информации в виде синтезированных голограмм. 1 - лазер, 2 - микрообъектив, 3, 5 - линзы, 4 - жидкокристаллический модулятор света, 6 - фотоматериал, 7 - компьютер

Синтезированные голограммы рассчитываются с помощью интеграла

$$\Gamma(\xi, \eta) \sim \int_{(x,y)} b(x, y) \exp\{i\pi\lambda^{-1}d^{-1}[(x-\xi)^2 + (\eta-y)^2]\} dx dy \quad (1)$$

где $b(x, y)$ - описывает распределение амплитуд и фаз записываемого объекта, d - расстояние между плоскостями объекта и голограммы, λ - длина волны.

Голограммы, синтезированные в соответствии с этим соотношением, называются синтезированными голограммами Френеля.

Рассмотрим дискретное представление голограммы Френеля.

Поскольку объект, описываемый функцией $b(x, y)$, имеет ограниченные размеры, скажем $(-X_{\max}, X_{\max}; -Y_{\max}, Y_{\max})$, то функция $\Gamma(\xi, \eta) \exp\{-i\pi\lambda^{-1}d^{-1}[(x-\xi)^2 + (\eta-y)^2]\}$ может быть восстановлена интерполяцией своих отсчетов:

$$\begin{aligned} \Gamma(\xi, \eta) \exp[-i\pi\lambda^{-1}d^{-1}(\xi^2 + \eta^2)] &= \sum_r \sum_s \Gamma(\Delta\xi, \Delta\eta) \exp\{-i\pi\lambda^{-1}d^{-1}[(r\Delta\xi)^2 + (s\Delta\eta)^2]\} \times \\ &\times \text{sinc}\left[\frac{\pi}{\Delta\xi}(\xi - r\Delta\xi)\right] \text{sinc}\left[\frac{\pi}{\Delta\eta}(\eta - r\Delta\eta)\right] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{где } \Delta\xi = \lambda d / 2X_{\max}, \Delta\eta = \lambda d / 2Y_{\max}.$$

В задаче синтеза голограмм естественно считать, что объект характеризуется достаточно гладкой функцией $|b(x, y)|$, описывающей его коэффициент отражения по интенсивности. Пусть $|b(x, y)|$, может быть восстановлена по ее отсчетам путем интерполяции их некоторой функцией $\varphi(x, y)$:

$$|b(x, y)| = \sum_k \sum_l |b(k\Delta x, l\Delta y)| \varphi(x - k\Delta x, y - l\Delta y) \quad (3)$$

где Δx и Δy - интервалы дискретизации по координатам x и y в прямоугольной системе координат. Тогда

$$\begin{aligned}
& \Gamma(r\Delta\xi, s\Delta\eta) \exp\{-i\pi\lambda^{-1}d^{-1}[(r\Delta\xi)^2 + (s\Delta\eta)^2]\} = \\
& = \sum_k \sum_l |b(k\Delta x, l\Delta y)| \iint_{(x,y)} \varphi(x-k\Delta x, y-l\Delta y) \exp\{i\frac{\pi}{\lambda d}[\beta(x, y) + \\
& + (x^2 + y^2)]\} \exp\{-i\frac{2\pi}{\lambda d}[xr\Delta\xi + ys\Delta\eta]\} dx dy
\end{aligned} \quad (4)$$

где $\beta(x, y)$ – функция, пропорциональная фазе коэффициента отражения объекта, пересчитанной на касательную к нему плоскость.

Нетрудно понять, что $\beta(x, y)$ описывает профиль объекта по отношению к этой плоскости. Максимальные значения r и s , для которых нужно вычислять сумму, определяются равенствами

$$N_x = \lambda d / \Delta\xi \Delta x, N_y = \lambda d / \Delta\eta \Delta y. \quad (5)$$

Эти же величины определяют число членов суммы в (4), так как

$$2X_{\text{макс}} / \Delta x = \lambda d / \Delta\xi \Delta x; 2Y_{\text{макс}} / \Delta y = \lambda d / \Delta\eta \Delta y. \quad (6)$$

Таким образом, имеем

$$\begin{aligned}
\Gamma(r, s) = & \exp\{i\frac{\pi}{\lambda d}[r^2(\Delta\xi)^2 + s^2(\Delta\eta)^2]\} \times \sum_{\kappa=0}^{N_x-1} \sum_{l=0}^{N_y-1} b(\kappa, l) \times \\
& \times \exp\{i\frac{\pi}{\lambda d}[\kappa^2(\Delta x)^2 + l^2(\Delta y)^2]\} \times \exp[-i2\pi(\frac{\kappa r}{N_x} + \frac{l s}{N_y})]. \quad (7)
\end{aligned}$$

Чтобы устранить в (7) размерные величины, обозначим

$$\eta_\xi^2 = (2X_{\text{макс}})^2 / \lambda d / (\Delta\xi)^2, \quad (8)$$

$$\eta_\eta^2 = (2Y_{\text{макс}})^2 / \lambda d = \lambda d (\Delta\eta)^2.$$

Из (7) и (8) получаем

$$\begin{aligned}
\frac{(\Delta x)^2}{\lambda d} &= \frac{1}{N_x^2} \frac{(2X_{\text{макс}})^2}{\lambda d} = \frac{\eta_\xi^2}{N_x^2}, \quad (9) \\
\frac{(\Delta y)^2}{\lambda d} &= \frac{1}{N_y^2} \frac{(2Y_{\text{макс}})^2}{\lambda d} = \frac{\eta_\eta^2}{N_y^2}.
\end{aligned}$$

Окончательно имеем

$$\Gamma(r, s) = \exp[i\pi(\frac{r^2}{\eta_\xi^2} + \frac{s^2}{\eta_\eta^2})] \sum_{\kappa=0}^{N_x-1} \sum_{l=0}^{N_y-1} b_1(\kappa, l) \times \exp[i\pi(\frac{\kappa^2 \eta_\xi^2}{N_x^2} + \frac{l^2 \eta_\eta^2}{N_y^2})] \exp[-i2\pi(\frac{\kappa r}{N_x} + \frac{l s}{N_y})]. \quad (10)$$

Это соотношение является дискретным представлением преобразования Френеля, сведенным к ДПФ. Для его вычисления, кроме матрицы $b(\kappa, l)$, определяющей комплексную амплитуду поля на объекте, необходимо еще задаться и величинами η_ξ и η_η , характеризующими относительные размеры объекта, наблюдаемого из воображаемой точки регистрации голограммы. При их выборе следует руководствоваться условиями малости ошибки при дискретизации фазовых множителей.

Таким образом, задача синтеза голограмм Френеля сводится к расчету матрицы $\{\Gamma(r, s)\}$ по матрице отсчетов объекта $\{b(\kappa, l)\}$ и аналоговой интерполяции полученных отсчетов.

Расчет синтезированной голограммы осуществляется с помощью компьютера 7 (рис. 1). Линза 5 уменьшает изображение распределения интенсивности, до требуемых размеров на плоскости фотоматериала

б. Т. е., изменяя положение фотоматериала б, можно записать множество голограмм без использования реального опорного пучка. Для записи таких голограмм не потребуются когерентные источники света, и значительно упрощается процесс записи голограмм.

Литература

1. *Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л.* Оптическая голография. Пер. с англ. М.: «Мир», 1973. 686 с.
2. *Акаев А. А., Майоров С. А.* Когерентные оптические вычислительные машины. Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отделение), 1977. 584 с.
3. *Jeenbekov A. A., Zhumaliev K. M., Ismailov D. A.* Research methods of recording overlapped holograms in archival holographic memory. // Optics & Photonics (Japan, 5 ноября-7 ноября 2014). 6aDS1.