

УДК 535.41:778.38

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ТАЛЬБОТА В ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

Ю. Х. Исманов

Рассматривается голографический эффект Тальбота. Показана возможность использования этого эффекта в интерферометрии.

Ключевые слова: голографический эффект Тальбота; саморепродукция; многоканальный широкодиапазонный голографический интерферометр.

TALBOT HOLOGRAPHIC EFFECT IN INTERFEROMETRY

Yu. H. Ismanov

It is considered the Talbot effect in its holographic manifestation. It is shown possibility of use of this effect in interferometry.

Key words: Talbot holographic effect; self-reproduction; multichannel wide-range holographic interferometer.

Голографический эффект Тальбота, в его самом общем виде, был обнаружен в процессе развития метода бесщелевой радужной голографии [1]. В работах [1, 2] показано, что при восстановлении отбеленной голограммы линейной решетки белым светом, как в проходящем, так и в отраженном свете на плоскости голограммы восстанавливается радужное изображение решетки. Однако при освещении этой же голограммы когерентной волной восстанавливаются мнимое и действительное изображения решетки и, кроме того, последовательности их саморепродукций, и это при том, что положение решетки, при записи ее голограммы, абсолютно произвольно по отношению к плоскости голограммы. Как будет видно из последующих расчетов, это никоим образом не влияет на возможность восстановления изображений решетки. Наоборот, более общий подход позволяет показать, что при восстановлении голограммы решетки происходит восстановление мнимого и действительного изображений решетки в ± 1 порядках дифракции, причем эти изображения и соответствующие им последовательности саморепродукций видны одновременно, в отличие от обычных голографических изображений.

Не менее важный момент это то, что последовательность изображений решетки восстанавливается также и в нулевом порядке дифракции.

Рассмотрим схему записи голограммы решетки.

Функция пропускания решетки может быть представлена как Фурье – разложение вида

$$t(x) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp(2\pi jmx) / d, \quad (1)$$

где d – период решетки.

Если решетка освещается плоской волной вида

$$u_0(x, y, z) = a \exp(jkz), \quad (2)$$

где $k = 2\pi / \lambda$ – волновой вектор; λ – длина падающей волны; z – ось, вдоль которой распространяется волна; a – амплитуда освещающей волны, то поле вблизи плоскости голограммы имеет вид

$$u_z(x, y, z) = c \exp(jkx \sin \theta) \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp \left[j2\pi \left(\frac{mx}{d} - \frac{m^2 \lambda z}{2d^2} \right) \right], \quad (3)$$

где c – некоторый постоянный множитель.

В качестве объектной волны возьмем плоскую волну, падающую перпендикулярно плоскости голограммы, т. е. направление распространения волны совпадает с направлением оси z :

$$u_R = A \exp(jkz), \quad (4)$$

где A – амплитуда опорной волны.

Согласно методу Габора [3], функцию пропускания решетки можно представить в виде суммы $t = t_0 + t_m$, где t_0 – постоянная составляющая функции пропускания решетки (с нулевой пространственной частотой), а t_m – дифрагированная составляющая, или составляющая с ненулевой ча-

стотой. В соответствии с выражением (3) для объектного поля на расстоянии z от плоскости решетки

$$t_0 = a_0, \\ t_m = \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} a_m \exp\left[j2\pi\left(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2}\right)\right] \quad (5)$$

Коэффициент пропускания такой голограммы, записанной при указанных выше условиях, имеет вид:

$$\tau \sim I(x, y) = A \exp(jkz) c^* \\ \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp\left[-j2\pi\left(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2}\right)\right] \exp(-jkx \sin\theta) + \\ + A \exp(-jkz) c \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_m \exp\left[j2\pi\left(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2}\right)\right] \\ \exp(jkx \sin\theta) + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0^2 + \\ + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_0 \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} \exp\left[-j2\pi\left(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2}\right)\right] + \\ + \frac{\lambda^4}{4\pi^2} a_m \sum_{m=-\infty, m \neq 0}^{\infty} \exp\left[-j2\pi\left(\frac{mx}{d} - \frac{m^2\lambda z}{2d^2}\right)\right]. \quad (6)$$

При освещении такой голограммы исходной опорной волной $u_R = A \exp(jkz)$ за ней возникают три дифракционных порядка, определяемых значением угла θ между направлениями распространения объектной и опорной волн (рисунок 1).

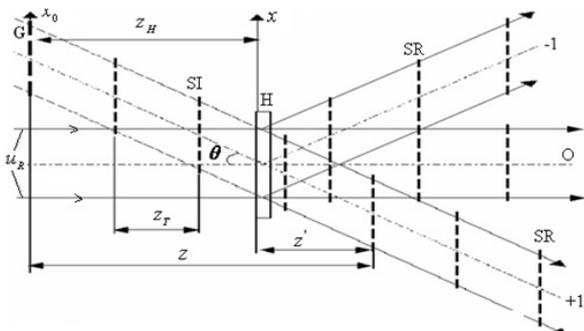


Рисунок 1 – Схема восстановления голограммы линейной решетки:

G – мнимое изображение решетки; SI – положения саморепродукций решетки в мнимой области пространства; SR – положения саморепродукций решетки в действительной области пространства; H – голограмма

В направлении +1-го порядка дифракции, под углом $+\theta$ по отношению к нормали к плоскости голограммы, можно наблюдать мнимое изображение исходной решетки. И здесь также восстанавлива-

ется последовательность саморепродукций, захватывающая обе области пространства. То же самое мы наблюдаем и в -1-ом порядке дифракции. В нулевом порядке дифракции, представляющем собой, по сути, результат восстановления голограммы Габора, мы также наблюдаем восстановление всей последовательности саморепродукций.

Примером использования эффекта Тальбота в голографии является многоканальный широкодиапазонный голографический интерферометр (МШГИ) [4] (рисунок 2). Данный интерферометр представляет собой, по сути, процесс восстановления голограммы решетки и фазового объекта одновременно исходной опорной волной и исходной объектной волной, которая проходит сквозь искаженный фазовый объект. Результатом восстановления такой голограммы является возникновение 4-х дифракционных порядков, которые можно рассматривать как 4 выходных канала интерферометра. Уникальной особенностью такого интерферометра является то, что эти каналы несут информацию об одном и том же объекте, причем эти каналы имеют различную чувствительность. Важным свойством этого интерферометра является то, что чувствительности каналов мы можем изменять в зависимости от потребностей. Интерферометр может работать в реальном масштабе времени, так как вид интерференционных картин в выходных каналах меняется в зависимости от состояния исследуемого объекта.

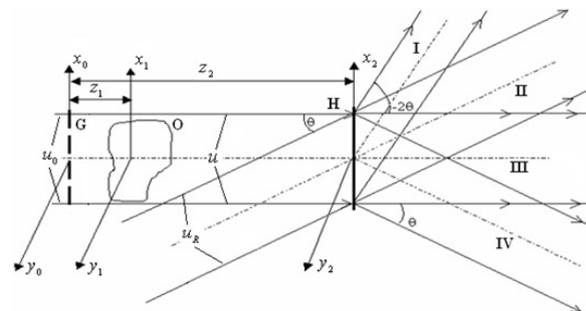


Рисунок 2 – Схема записи и восстановления голограммы H: u – объектная волна; u_R – плоская опорная волна; G – линейная решетка; O – фазовый объект; I, II, III, IV – выходные каналы интерферометра

Метод компьютерного моделирования был взят качестве базового метода, позволяющего исследовать как особенности голографического эффекта Тальбота, так и работоспособность предложенной схемы многоканального голографического интерферометра Тальбота. Работа предложенной модели в интерактивном режиме позволяет легко менять режимы и условия записи голограммы ре-

шётки и фазового объекта, менять тип фазового объекта и его характеристики. Такие возможности компьютерной модели интерферометра делают ее довольно гибким инструментом, позволяющим установить зависимость между видом интерференционной картины, получающейся в выходном канале интерферометра и распределением неоднородностей в исследуемом фазовом объекте и позволяющим решить задачу дешифровки получающихся интерферограмм.

Ниже приведен пример интерференционных картин, получаемых в выходных каналах интерферометра (рисунок 3).

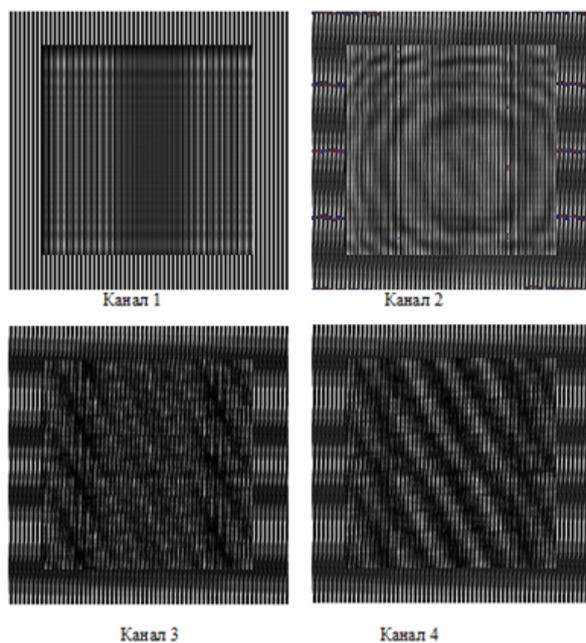


Рисунок 3 – Интерферограммы линзы, полученные в 4-х выходных каналах многоканального широкодиапазонного голографического интерферометра

На рисунке показаны интерферограммы тонкой линзы, которые были получены во всех четырех каналах голографического интерферометра. При восстановлении голограммы решетка в восстанавливающей объектной волне поворачивалась

вокруг оси перпендикулярной к плоскости решетки. Угол между линиями исходной решетки и повернутой составлял $\beta = 0,06$ радиан.

На рисунке 3 видно, что наличие фазового объекта типа тонкой линзы формирует искаженное изображение решетки, при котором линии решетки симметрично смещаются от центральной оси интерференционной картины и одновременно увеличивается период решетки. Такая картина искажений решетки сходна с картиной искажения линий решетки в методе Ронки.

Канал IV дает картину наклонных линий муара. Каналы II и III – это голографические каналы, в которых происходит сложение волн от исходного и измененного фазовых объектов, причем на эту картину накладывается муар, возникающий за счет формирования в данных каналах саморепродукций исходной и повернутой линейной решеток.

Канал II образует картину муара, представляющую собой систему коаксиально размещенных колец, по которому можно судить, во-первых, о том, что фазовый объект радиально симметричен, во-вторых, либо показатель преломления среды симметрично меняется от центра к краям, либо при неизменном показателе преломления симметрично изменяется толщина фазовой среды.

Важнейшей особенностью данного интерферометра является возможность изменять чувствительность каждого из каналов, что может значительно расширить диапазон исследуемых фазовых сред.

Литература

1. *Марипов А.* Радужная голография / А. Марипов. Бишкек: Илим, 1988. 146 с.
2. *Maripov A., Ismanov Yu.* The Talbot effect (a self-imaging phenomenon) in holography / A. Maripov, Yu. Ismanov // J. Appl. Phys. 1993. V. 74. №. 8. P. 7039–7044.
3. *Gabor D.* A new microscopic principle / D. Gabor // Proc. Roy. Soc. (London). 1949. A197. P. 454.
4. *Maripov A., Ismanov Yu.* Interferometer based on the Talbot effect in holography / A. Maripov, Yu. Ismanov // J. Optics (Paris). 1995. V. 26. №. 1. P. 25–28.