



Порохов Денис Александрович  
Нешин Константин Григорьевич  
Сельмахович Станислав Игоревич

## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОСТРОЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГОЛОГРАММ

В настоящее время в нашей жизни все большую роль играют высокие технологии. Современная наука и техника меняются очень быстро, и подходит время революционных перемен в оптике. Там, где недавно использовались классические оптические приборы – линзы, призмы, зеркала, – стали использовать и синтезированную с помощью компьютера голограмму. Такие голограммы способны заменять сложные объективы, преобразовывать по заданному закону лазерное излучение и многое другое. Ну, и, конечно же, они могут формировать изображения объектов, рассчитанных компьютером [1].

Как известно, голограмма – это записанная на определенный носитель интерференционная картина нескольких когерентных

пучков волн, один из которых – опорный, а остальные – отраженные от голографируемых объектов. Классический метод создания голограммы заданного объекта состоит в том, что интерференция лучей происходит в действительности, а результат просто фиксируется на фотопластинке. В процессе получения голограммы опорный пучок от лазера делится на два, один из которых направляется на фотопластинку, а другим облучается голографируемый объект. На фотопластинке происходит интерференция опорного пучка и отраженных от объекта лучей (рисунок 1) [2, 3].

Но для этого нужен источник света с высокой степенью не только монохроматичности, но и когерентности. Известен только один такой источник – лазер, но даже его использование требует серьезных материальных затрат, не говоря уже



*Там, где недавно использовались классические оптические приборы – линзы, призмы, зеркала, – стали использовать и синтезированную с помощью компьютера голограмму...*

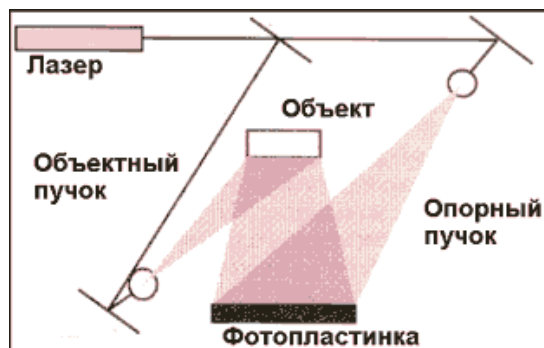


Рисунок 1



*...при создании голограммы необходимо исключить любые внешние помехи...*

о его собственной стоимости. Кроме того, при создании голограммы необходимо исключить любые внешние помехи – сотрясения, побочные источники света, рассеивающие примеси в воздухе и так далее. Для этого требуется большое количество дорогостоящей прецизионной техники и материалов. Также, при малейшей ошибке в структуре голограммы, если она обнаружена после того, как голограмма уже изготовлена, ее придется делать заново. Ошибку координаты структуры в десятую долю микрона на поле в 300 мм уже можно считать браком [1]. Единственный способ избежать подобных трудностей – перенос нагрузки по расчету голограммы на компьютерную технику.

Классический расчет многолучевой интерференции строится следующим образом [4]. Рассмотрим некоторую произвольную точку на поле голограммы. В эту точку приходит ряд лучей (рисунок 2).

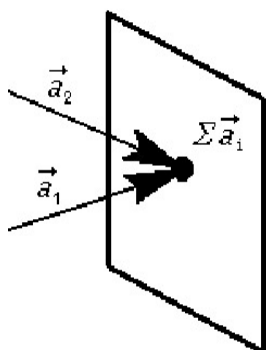


Рисунок 2

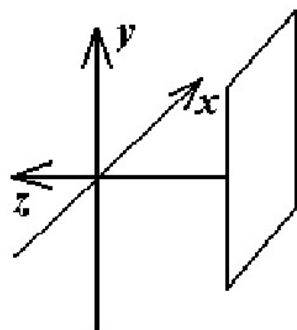


Рисунок 3

Выберем систему координат (рисунок 3).

Интенсивность света в данной точке вычисляется как квадрат результирующей амплитуды:

$$I = a^2 = \sum_{i=0}^N a_i^2 + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N a_i a_j \cos(\varphi_j - \varphi_i), \quad (1)$$

где фаза определяется соотношением:

$$\varphi_i = \frac{2\pi\Delta_i}{\lambda}, \quad (2)$$

а  $\Delta_i$  есть разность хода лучей:

$$\Delta_i = \sqrt{(x_i - x_{\text{экр}})^2 + (y_i - y_{\text{экр}})^2 + z_i^2}. \quad (3)$$

С учетом видимости точки в зависимости от угла падения лучей имеем для амплитуды:

$$a_i = \frac{a_0}{(\Delta_i - z_i)^2 + 1}, \quad (4)$$

где  $N$  – количество точек,  $a_{1..N}$  и  $\varphi_{1..N}$  – амплитуды и фазы предметных пучков,  $a_0$  и  $\varphi_0$  – амплитуда и фаза опорного пучка.

Задача, которая решается в предлагаемой работе, – вычисление интенсивности (1) компьютерными методами.

Алгоритм реализован следующим образом. Поле голограммы делится по вертикали и по горизонтали на участки с определенным шагом дискретизации (рисунок 4), зависящим от разрешения печатающего устройства. В результате мы по-

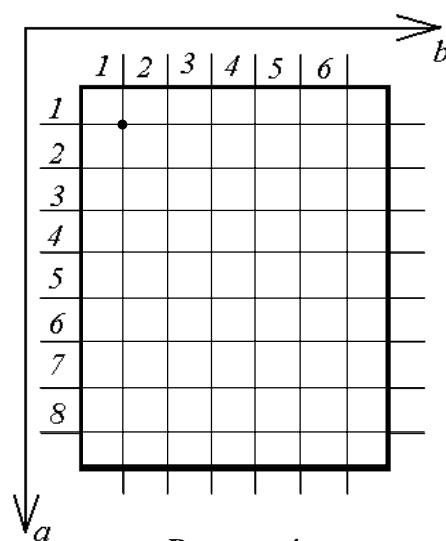


Рисунок 4

лучаем на поле сетку, затем для каждого узла сетки вычисляется интенсивность по описанному выше алгоритму (1)–(4). Интенсивность пересчитывается в единицы яркости печатающего устройства. Так как для современных печатающих устройств существует 256 градаций яркости – от 0 до 255, мы нормируем интенсивность на 255.

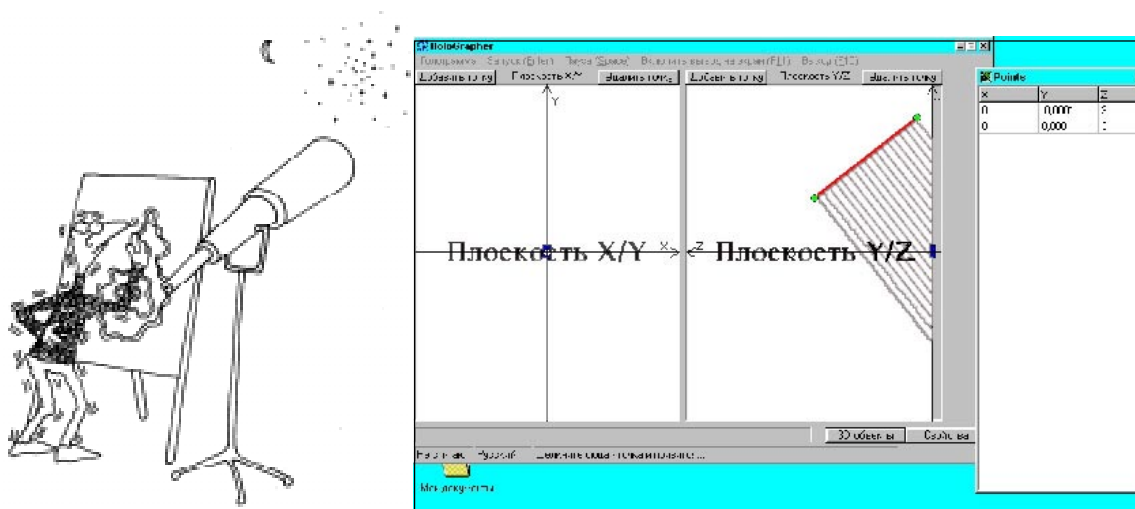
Предлагаемый метод позволяет рассчитывать голограмму от системы несвязанных точек, расположенных в трехмерном пространстве. Таким образом, в качестве голографируемого объекта можно задавать любую поверхность. Например, получить голограмму некоторых объектов практически методами невозможно, а в предлагаемом случае достаточно лишь задать в качестве входных данных видимую поверхность голографируемого объекта как последовательность точечных объектов. Можно представить, каких размеров лаборатория потребуется для создания голограммы, например, туманности Андромеды. А на компьютере такую голограмму можно рассчитать с легкостью. Возможно даже построение голограммы объектов, не существующих в природе – так называемых виртуальных объектов. Также есть возможность задавать для каждой точки области видимости, то есть мы можем сделать точку видимой только из определенного участка поля голограммы, даже из того, до которого лучи от нее

не доходят из-за затенения ее другим объектом.

Кроме того, предлагаемый метод позволяет обойтись без дорогостоящей и отсутствующей в массовом производстве техники, стерильных лабораторных условий и других вещей, к которым большинство людей на сегодняшний день не имеют доступа. Для того, что раньше требовало наличия мощного лазера и специального высококачественного фотооборудования, теперь достаточно компьютера и лазерного или фотопринтера.

Это обстоятельство позволяет использовать голографию практически в любой области, например, в образовании. Полученные с помощью предлагаемой программы голографические изображения можно использовать в качестве наглядных пособий по волновой оптике – по ним можно легко проследить зависимость результата интерференции от расположения источников света и от длины волны излучения (рисунок 5).

Текущая версия разрабатываемой программы рассчитывает голограмму от совокупности точечных объектов. В редакторе можно легко расставить точки в нужном порядке. Настроить размер голограммы не сложнее, чем расширить окно в Windows. Разрешение голограммы задается в привычных для глаза пикселях на дюйм. Также легко задается и длина вол-



*...для создания голограммы, например, туманности Андромеды...*

Рисунок 5



ны. Предусмотрена возможность печати под голограммой подписи с ее параметрами. В разных режимах расчета можно выключить опорный или предметный пучок. Уже после расчетов можно настроить яркость и контрастность получившегося изображения и инвертировать его. После этого голограмму можно вывести на печатающее устройство и/или сохранить в файле в формате BMP.

Программа разработана в среде Delphi 5 на языке Object Pascal и работает под Windows'95 и выше. В процессе изготовления использованы многие встроенные компоненты Delphi – фреймы, тулбары и т.д., а также современные технологии – OLE Drag'n'Drop и собственная система многоязыковой поддержки.

Отметим, что одним из недостатков представленной программы является время расчетов (время построения голограммы увеличивается пропорционально квадрату количества точек, разрешающей способности и площади голограммы), но с развитием вычислительной техники это будет становиться все менее существенным. Также эту проблему можно решить распределением задачи расчета голограммы по локальной сети. В таком случае заниматься расчетами будут все компьютеры, кроме одного – сервера, который должен координировать работу остальных.

Быстродействие зависит в основном от частоты процессора, но при больших размерах голограммы важную роль играет и объем свободной физической памяти компьютера.

Рассматривается возможность составлять поверхность не только из точек, но и из простейших геометрических фигур и тел – шара, многогранника, отрезка и т.д. Так как расстояние от точек такого объекта тела до плоскости голограммы, а следовательно, и фаза приходящих от них колебаний меняется по определенному закону, то есть является функцией, то мы можем вычислить в общем виде интеграл от этой функции и затем использовать готовую формулу для расчета суммарного вектора амплитуды колебаний, пришедших от этого объекта. Готовые

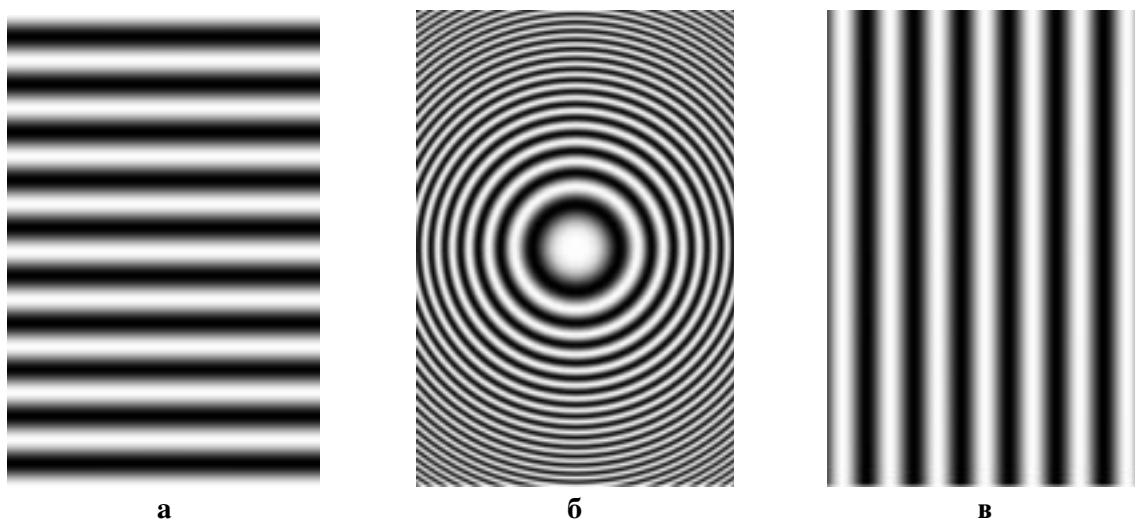
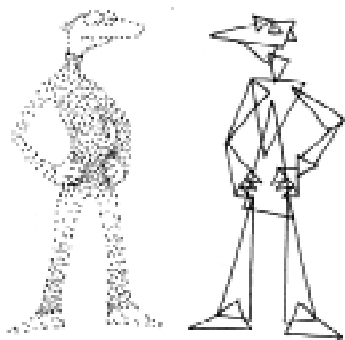


Рисунок 6



*Рассматривается возможность составлять поверхность не только из точек, но и из простейших геометрических фигур...*

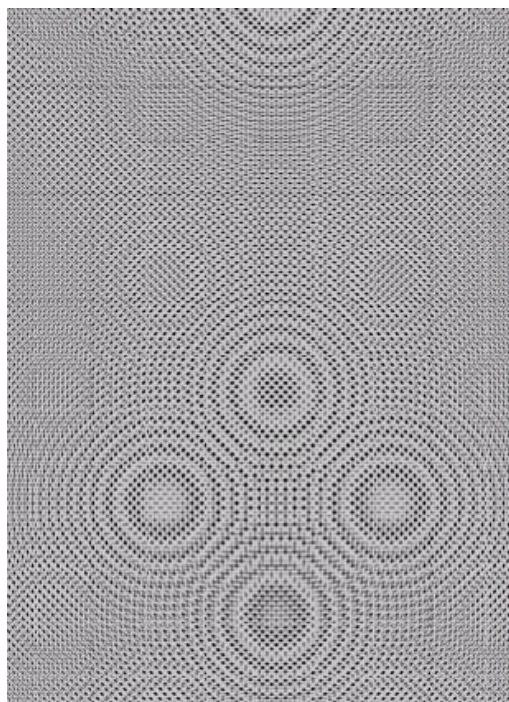
формулы можно будет объединять в модули – plug-in'ы.

Проведена верификация программы по следующим критериям:

– в режиме, когда включен только опорный пучок или только предметный пучок от одной точки. Результат представляет собой равномерно освещенное поле, то есть во всех его точках интенсивность одинакова;

– в режиме, когда включены только предметные пучки от двух точек, а опорный выключен, получается классическая картина интерференции от двух точечных источников (то есть при расположении их по оси Z, перпендикулярной плоскости голограммы, мы получили кольца (рисунок 6б), а по осям X и Y – полосы (рисунок 6а, 6в)).

Реальная голограмма выглядит примерно так (рисунок 7). На рисунке изображен увеличенный в несколько раз цен-



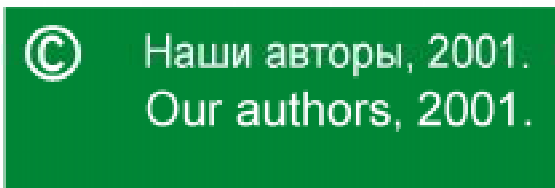
**Рисунок 7**

тральный участок голограммы от четырех точек, установленных «ромбом».

Следующим шагом предполагается восстановление голограммы, рассчитанной под определенный лазер, соответствующим опорным пучком. Если при этом будет наблюдаться та система объектов, которая была задана в качестве входных данных программы, то предлагаемый метод верен. К сожалению, на сегодняшний день у нас нет доступа к профессиональному лазерному оборудованию, поэтому приходится пользоваться лазерной указкой.

#### **Литература.**

1. «Голография». БСЭ, том 7, стр. 29, 3-е изд. М.: Сов. Энци-я, 1972.
2. О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, Н.И. Шефер. Факультативный курс физики, т. 2, М.: Просвещение, 1985.
3. А.А. Пинский. Физика–11, М. Просвещение, 2000.
4. В.В. Слабко. Принципы голографии. Соросовский образовательный журнал, № 7, стр. 87, 1997.



*Порохов Денис Александрович,  
учитель физики высшей категории,  
гимназия № 498, Санкт-Петербург.*

*Нешин Константин Григорьевич,  
Сельмахович Станислав Игоревич,  
выпускники гимназии № 498,  
Санкт-Петербург.*