

# Визуализация объёмных объектов с помощью структурированного оптического излучения

А.М. Вин

humburger49@gmail.com

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия

*В статье рассматриваются оптические методы визуализации объёмных объектов с помощью структурированного оптического излучения (СОИ), получаемого от источников когерентного излучения с помощью различных дифракционных оптических элементов (ДОЭ). Изображение фотографируется цифровым фотоаппаратом. Рассмотрен оптический метод визуализации плоских и объёмных объектов, описана экспериментальная установка и проведение измерений. Получены экспериментальные результаты, показывающие возможность определения параметров различных объёмных объектов.*

**Ключевые слова:** структурированное оптическое излучение, дифракционный оптический элемент, исследуемые объёмные объекты, фотографирование.

## Visualization of volumetric objects using structured optical radiation

A.M. Win

humburger49@gmail.com

National Research University "MPEI", Moscow, Russia

*The article deals with optical methods of visualization of three-dimensional objects using structured optical radiation (SOR) obtained from sources of coherent radiation by means of various diffraction optical elements (DOE). The image is photographed by a digital camera. The optical method of visualization of plane and volume objects is considered, the experimental setup and measurements are described. The experimental results show the possibility of determining the parameters of various volume objects.*

**Keywords:** structured optical radiation, diffraction optical element, investigated three-dimensional objects, photography.

### 1. Введение

Особый интерес на практике, в промышленности, в научных исследованиях представляет определение формы поверхности, а также перемещения объектов бесконтактным способом. В данном методе решается обратная задача: по полученному изображению восстанавливается форма или перемещение поверхности.

На качественно новом научно-техническом уровне разработаны оптические методы диагностики неоднородных сред, которые используются для получения информации об оптической среде или потоке жидкости в выбранном сечении (2D-диагностика) и в объеме (3D-диагностика).

Принцип измерения основан на использовании структурированного оптического излучения (СОИ), получаемого с помощью оптических дифракционных элементов, зондирующего исследуемый экран и регистрации части пучка, прошедшего мимо экрана [1].

Оптическое излучение, пройдя через дифракционный оптический элемент (ДОЭ), даёт совокупность элементарных микропучков, которая может состоять из набора вертикальных и горизонтальных прямых. Назовём плоскость, перпендикулярную выходящей из ДОЭ совокупности элементарных пучков, исходной плоскостью.

Если поместить цифровую камеру под некоторым углом к исходной плоскости, то на изображении, получаемом фотокамерой, расстояние между соседними элементами дифракционной картины (например, вертикальными или горизонтальными прямыми) будет различным в зависимости от формы поверхности исследуемого объекта и угла между прямой, перпендикулярной плоскости камеры, и исходной плоскостью. Зная этот угол, и проанализировав полученные изображения, можно восстановить форму поверхности исследуемого объекта. По фотографии вычисляются координаты точек пересечения вертикальных и

горизонтальных линий. Эти данные в дальнейшем используются для визуализации поверхности изучаемого объекта. При этом для съёмки совокупности элементарных микропучков, расположенных на поверхности предмета, требуются две камеры, расположенные под некоторым углом друг относительно друга (желательно, чтобы этот угол был равен  $90^\circ$ ).

В данном методе применяется СОИ, образующееся с помощью специальных оптических элементов непосредственно на выходе источника. В таком способе сохраняется высокая когерентность и малая расходимость пучков, поэтому для описания модели структурированного оптического излучения можно использовать представления геометрической оптики. Эта модель может быть представлена группой пучков, образующих поверхность в виде дискретного набора плоскостей [2].

Классические оптические элементы позволяют получать СОИ ограниченного вида: узкий пучок, расходящийся пучок, плоскость и крест. Ситуация улучшилась с появлением компактных ДОЭ, изготавливаемых методами дифракционной оптики.

### 2. Оптическая визуализация трёхмерных объектов

При проведении съёмки с помощью простого фотоаппарата получается плоское изображение, при этом теряется объёмность. Для фотографирования объёмных предметов используется стереосъёмка. Стереосъёмка — это получение стереопары изображений фотографическим способом. Стереопара представляет собой сочетание двух изображений одного и того же объекта с различных точек зрения. Одно изображение предназначается для левого, а другое — для правого глаза. При рассмотрении стереопары, например, в стереоскоп изображение объекта воспринимается с такой же локальной глубиной, что и сам объект.

Основой стереофотографии является изготовление двух подобных, но не идентичных фотоизображений, полученных с двух точек съёмки относительно объекта. Действительное расстояние между точками съёмки называется базовым расстоянием или базисом фотосъёмки; величина его определяется тем, как должен выглядеть объект на стереоизображении. В идеальном случае оси фотокамеры и объективов в этих двух положениях (точках) должны быть параллельны. Избыточная сходимость осей объективов приводит к заметному изменению масштаба вдоль горизонтали изображения; на парных снимках это изменение происходит в противоположных направлениях.





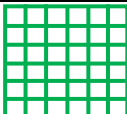



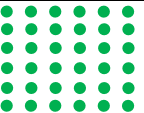
Одним из существующих методов визуализации трёхмерных объектов является измерение формы с использованием проецирования интерференционных полос [3]. Нелокализованная интерференционная картина, образующаяся при детектировании двух пучков света (например, картина, получаемая в интерферометре Майкельсона), может быть использована для формирования интерференционных полос на поверхности предмета. Полоса появляется каждый раз, когда поверхность предмета пересекает интерференционную полосу в световом пучке. Форма этих интерференционных полос зависит от формы поверхности и от направления наблюдения.

Для визуализации геометрических параметров диффузно рассеивающих плоских объектов в работах [4, 5] было предложено использовать СОИ, получаемое с помощью ДОЭ. Для данной задачи СОИ существенно проще, чем использование двухлучевого интерферометра, потому что ДОЭ позволяет получать СОИ с более узкими полосами, чем двухлучевые интерферометры, что повышает точность измерений.

### 3. Основные типы СОИ

СОИ представляет собой пространственно модулированное по амплитуде излучение, получаемое с помощью классических оптических элементов, ДОЭ или структурированных экранов.

Таблица 1. Основные типы СОИ, получаемые с помощью ДОЭ

Линия	Крест	Горизонтальные линии
		
Вертикальные линии	Сетка	Круговая линия
		
Точка	Точечная линия	6 на 6 матрица
		

Дифракционные оптические элементы (ДОЭ), имеют форму тонкой фазовой пластины со специальным фазовым рельефом, выгравированным в ней. Дифракция оптического излучения таким оптическим элементом производит различные виды пространственно модулированного излучения, известного как структурированное оптическое излучение. используется

как с газовыми, так и полупроводниковыми лазерами, генерирующими высоко астигматические лучи. Основные элементы СОИ приведены в таблице 1.

### 4. Схема экспериментальной установки и результаты измерений

Схема созданной установки для визуализации исследуемых объёмных объектов показана на рис. 1. Излучение лазерного модуля 1 с длиной волны излучения 0,552 мкм, мощностью 20 мВт распространяется вдоль оси оптической системы, проходит через ДОЭ 2, которые формируют различные дифракционные картины, фокусируется объективом 3 на исследуемую поверхность 4. Рассеянное излучение регистрируется с помощью цифрового фотоаппарата 5.

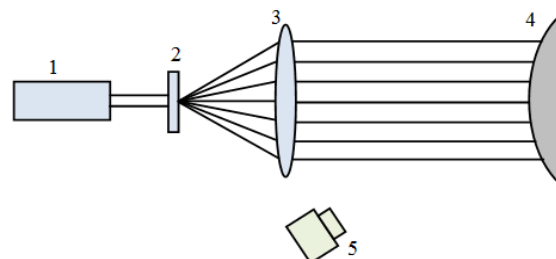


Рис. 1. Принципиальная схема оптического комплекса: 1 – лазерный модуль, 2 – дифракционный оптический элемент (ДОЭ), 3 – объектив, 4 – исследуемая поверхность, 5 – цифровой фотоаппарат.

В начале были получены цифровые фотографии дифракционных картин, формирующихся после прохождения оптического излучения через ДОЭ, при их наблюдении перпендикулярно поверхности исследуемого объекта (рис. 1). Использовались 9 различных ДОЭ.

На рис. 2 приведены результаты визуализации прямоугольника с помощью измерительного комплекса при различных расстояниях от объектива до измеряемого объекта. Результаты измерений исследуемого прямоугольника с помощью штангенциркуля: высота 34 мм, длина 84 мм и площадь основания прямоугольника 2856 мм<sup>2</sup>. Здесь  $l$  – расстояние от края СОИ до передней поверхности исследуемого объекта.

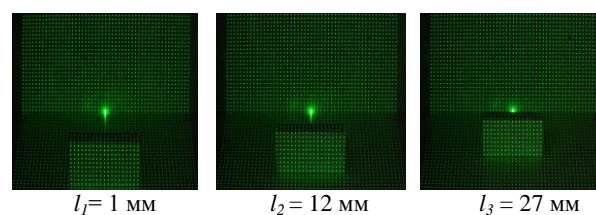


Рис. 2. Визуализация прямоугольника при различных расстояниях от края СОИ до его передней поверхности.

### 5. Виды СОИ

Представлены изображения СОИ на полупрозрачном плоском экране, установленном перпендикулярно направлению распространения рис. 3 и рис. 4. По полученным фотографиям можно найти угол поворота экрана. Расстояние (в пикселях) между крайними горизонтальными точками на картине СОИ. Фотографии были получены при одинаковых условиях эксперимента, а именно – одинаковое расстояние до плоскости падения СОИ, и при одних и тех же параметрах фотокамеры.

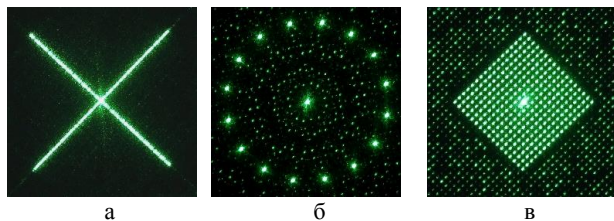


Рис. 3. Изображения СОИ на экране: а – крестовидный пучок, б – круговая точечная сетка, в – прямоугольная точечная сетка.

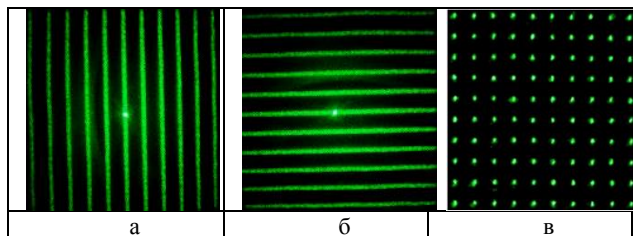


Рис. 4. Изображения СОИ на экране: а – вертикальные линии, б – горизонтальные линии, в – точечная сетка.

## 6. Визуализация объемных объектов

На рис.5 приведены изображения трёхмерных объектов при естественном освещении. На рис. 6 приведены изображения трёхмерных объектов с помощью СОИ.

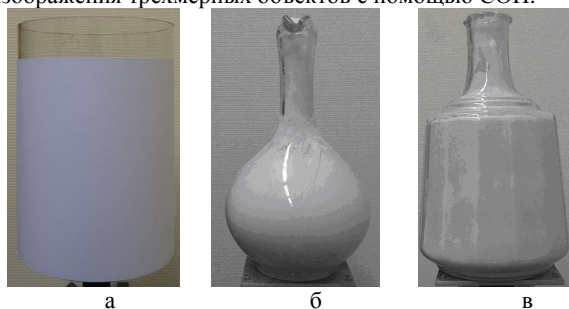


Рис. 5. Изображение цилиндрических и сферических поверхностей при естественном освещении: а – цилиндр, б – сферический кувшин, в – цилиндрический кувшин.

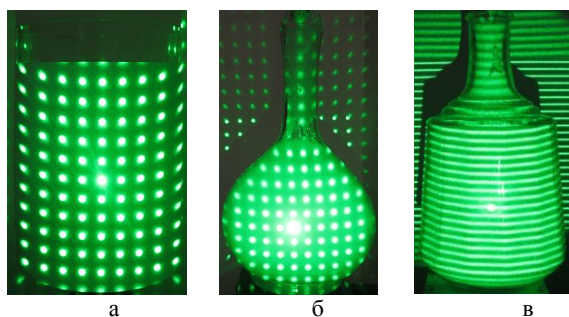


Рис. 6. Визуализация цилиндрических и сферических поверхностей с помощью СОИ: а – цилиндр, б – сферический кувшин, в – цилиндрический кувшин.

На рис.7 приведены изображения трёхмерных объектов при естественном освещении и с помощью СОИ.

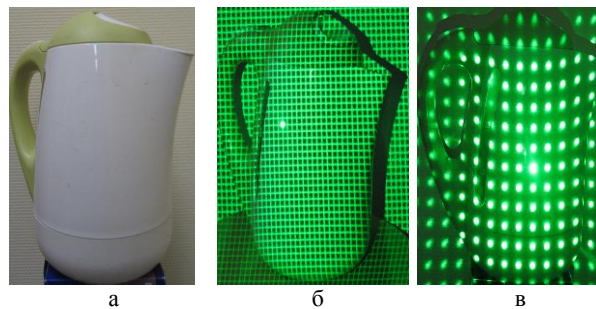


Рис. 7. Визуализация сферических поверхностей: а – освещение некогерентным излучением, б – освещение линейным оптическим излучением, в – освещение точечным оптическим излучением.

## 7. Заключение

Разработана экспериментальная установка, содержащая полупроводниковый лазер с мощностью излучения 20 мВт, 6 дифракционных элементов для получения пучков различной формы, цифровую фотокамеру. Освоена методика проведения экспериментальных исследований. Проведены эксперименты по измерению прямоугольной поверхности как при помощи интерферирующих пучков, так и при помощи СОИ, получаемого с помощью ДОЭ. Получено удовлетворительное совпадение расчетных значений угла поворота плоской поверхности с параметрами, задаваемыми при помощи поворотного столика.

Сделан краткий обзор методов визуализации трёхмерных объектов: стереофотография, интерференционный метод. Проанализирован способ визуализации трёхмерных объектов с помощью СОИ. В результате эксперимента получены изображения дифракционных картин на поверхности различных объектов (плоскости, при различных углах наблюдения, и поверхности сложного объекта).

## 8. Литература

- [1] Rinkevichyus B.S., Evtikheva O.A., Raskovskaya I.L. Laser Refractography. New York, Springer, 2011. – 189 p.
- [2] Соيفер В.А., Безус Е.А., Быков Д.А., Досколович Л.Л., Ковалев А.А. и др. Дифракционная оптика и нанопотоника. М.: Физматлит, 2014. – 608 с.
- [3] Джоунс Р., Уайкс К. Голографическая и спекл-интерферометрия. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
- [4] Вин А.М., Павлов И.Н., Ринкевичюс Б.С. Визуализация геометрических параметров диффузно рассеивающих плоских тел с помощью структурированного оптического излучения: Научная визуализация, 2017, Том 9, № 2. С. 43 – 48.
- [5] Вин А.М., Павлов И.Н., Ринкевичюс Б.С. Оптико-электронный комплекс для визуализации формы шероховатой поверхности с помощью структурированного оптического излучения: Труды XIV Международной научно-технической конференции. [Электронный ресурс] – М. Издательство Перо, 2017. С. 389 – 393.

## Об авторе

Аунг Мью Вин, аспирант кафедры физики им. В.А. Фабриканта Национального исследовательского университета «МЭИ». E-mail hamburger49@gmail.com.