

Оптимизация способа амплитудного модулирования матрицы дифракционных решёток для получения полноцветного объёмного изображения

Ч. Б. Кайтуков, А. В. Яновский

АО «Научно-технический центр «Атлас», Москва, Россия

Представлены результаты сравнительного анализа различных способов получения полноцветных объёмных изображений посредством амплитудного модулирования матрицы фазовых дифракционных решёток. Рассмотрены варианты согласования и совмещения фазовых решёток и амплитудных масок.

Ключевые слова: цифровая голография, амплитудная модуляция, 3D изображение, полноцветное изображение.

Цитирование: Кайтуков, Ч. Б. Оптимизация способа амплитудного модулирования матрицы дифракционных решёток для получения полноцветного объёмного изображения / Ч. Б. Кайтуков, А. В. Яновский // НОЛОEXPO 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 101–104.

Введение

Для создания (имитации) полноцветного голографического изображения объёмной сцены, необходимо получить цветные компоненты RGB (red, green, blue — красный, зелёный, синий) набора ракурсов от реального объекта или виртуальной 3D модели. Ракурсом сцены в данном контексте будем называть вид сцены (фотографию, рендеринг) из определённого угла наблюдения. Так же ракурсами можно назвать совокупность плоских проекций объёмной сцены на плоскость создаваемой голограммы. На рис. 1 схематически показан пример получения двух ракурсов объёмного объекта под углами α_1 и α_2 .

Углы для различных ракурсов изменяются только по горизонтали. Это связано с тем, что алгоритм расчёта цифровой голограммы представляет собой математический аналог физической записи по радужной схеме, а радужная голограмма имеет только один горизонтальный параллакс. Любая пара ракурсов из получаемого набора будет являться стереопарой. В случае наблюдения различных ракурсов правым и левым глазом у наблюдателя, вследствие бинокулярной диспаратности будет возникать эффект стереопсиса, т. е. объёмного восприятия сцены либо эффекта глубины.

Следует отметить, что существует несколько способов создания полноцветных 3D голографических изображений. Распространённым способом достижения требуемого визуального эффекта в цифровой голографии можно считать совмещение различных ракурсов изображаемой сцены или объекта в плоскости голограммы. Под совмещением в данном контексте подразумевается размещение мелких (5–20 мкм) участков заполненных дифракционными решетками, относящимися к разным ракурсам объёмного объекта, на расстояниях, не позволяющих наблюдателю детально разглядеть невооружённым глазом эти участки, их форму и

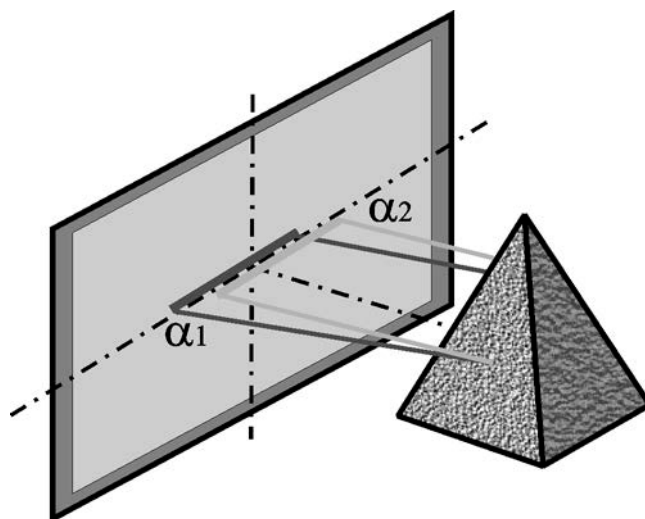


Рис. 1. Построение двух ракурсов объёмного объекта

способ размещения. Такую голограмму можно назвать компьютерно-синтезированной мультиплексной голограммой.

Единичную область голограммы, в которой объединяются все три цветовые компоненты, для всех ракурсов, называют голопикселем. Голограмма состоит из совокупности различных голопикселей. Если записывать мультиплексную голограмму из двенадцати ракурсов, и каждый ракурс содержит цветовые компоненты RGB, то голопиксел должен состоять из 36 областей. Принимая области для каждой цветовой компоненты равными квадрату со стороной 10 мкм, получим, что размер голопиксела составит 60×60 мкм² или 6×6 цветовых областей. Такой размер находится на пределе разрешения человеческого глаза. Для слитного восприятия цветовых компонент требуется компактное расположение единичных цветовых областей внутри голопиксела, чтобы компоненты, относящиеся к одному ракурсу, располагались максимально близко друг к другу.

При оригинации компьютерно-синтезированной голограммы, (при создании голографического рельефа) полноцветного изображения требуется модулировать интенсивность цветовых компонент. Модуляция интенсивности, или более точно, дифракционной эффективности отдельных областей, осуществляется изменением площади создаваемой дифракционной решётки занимаемой ей на поверхности голограммы. То есть в процессе оригинации на поверхности голограммы создаются участки дифракционных решёток, площадь которых соответствует (цифровым) значениям цветовых компонент RGB.

1. Теоретическое обоснование работы

В настоящей работе проверялась возможность разделения процессов создания голографических решёток и их амплитудного модулирования. Матрица дифракционных решёток при таком подходе изготавливается так, как если бы требовалось получить все ракурсы полностью белого поля. Дифракционные решётки цветовых компонент занимают при этом максимально возможную площадь. Далее в соответствие со значениями цветовых компонент для каждой дифракционной решётки в составе каждого голопиксела создаётся амплитудная

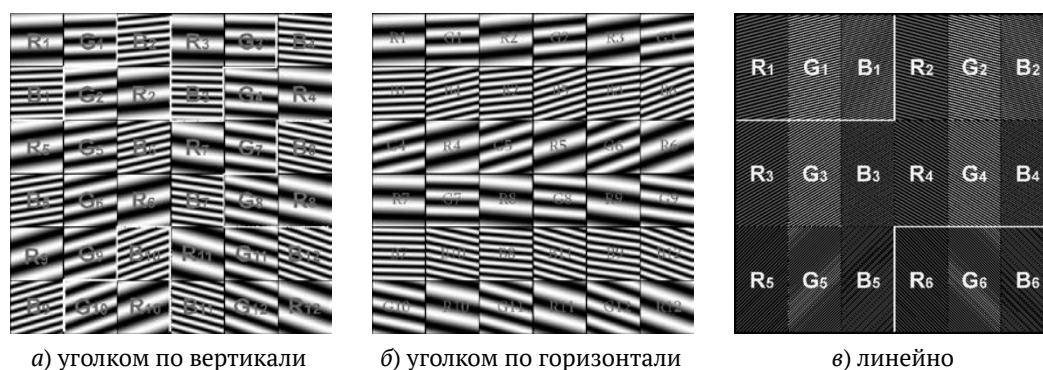


Рис. 2. Способы размещения дифракционных решёток в голопикселе

маска, площадь просветов в которой соответствует значениям цветовой компонент RGB. Требуемый визуальный эффект достигается наложением амплитудной маски на матрицу дифракционных решёток и совмещением просветов в амплитудной маске с соответствующими им дифракционными решётками. Такой подход даёт возможность использовать одинаковую (стандартную), легко тиражируемую матрицу дифракционных решёток как основу для создания различных полноцветных объёмных голограмм. Всю информацию об объекте, включая цвет и форму объекта, несёт в себе амплитудная маска, а матрица дифракционных решёток позволяет направлять (разводить) изображения разных ракурсов в соответствующие им направления.

2. Эксперимент

В настоящей работе были использованы несколько вариантов взаимного расположения единичных цветовой областей в составе голопиксела. На рис. 2 показаны использованные варианты размещения цветовой зон в голопикселе. Цветовые триады ракурсов в вариантах, показанных на рис. 2а и рис. 2б, располагались под углом относительно друг другу. В варианте, представленном на рис. 2в, применена линейная схема расположения цветовой компонент.

После создания экспериментальных пар: матрица дифракционных решёток + соответствующая амплитудная маска, решалась задача их совмещения. В случае создания плоского полноцветного изображения совпадающего с плоскостью голограммы, большой сложности взаимного позиционирования не возникает, так как в этом случае требуется совмещение только по одной оси координат и повороту. Возникающий эффект Муара при совмещении маски с матрицей решёток, позволяет находить требуемое положение поворота вручную, без специальных приспособлений. В случае совмещения сложной структуры матрицы дифракционных решёток с амплитудной маской, которые предназначены для создания 3D эффекта, возникает необходимость совмещения по двум осям и повороту. Линии Муара при этом так же так же возникают, но, при взаимном изменении положения они изменяются периодически как при смещениях по обеим осям, так и при повороте. Это не позволяет найти правильное взаимное положение без специально подготовленных для этого областей на матрице дифракционных решёток и на амплитудной маске. Такие прицельные области были предусмотрены. Они представляют собой полосы, содержащие по одной цветовой компоненте каждого

ракурса. Для точности совмещения использовались горизонтальные и вертикальные полосы. Таким образом, для точного позиционирования амплитудной маски на матрице дифракционных решёток требовалось найти положение, при котором в полосах будут наблюдаться соответствующие им чистые цвета.

Матрицы фазовых дифракционных решёток создавались на пластинках с нанесённым фоторезистом S1813. Амплитудные маски изготавливались на фотопластинках ВРП (высокоразрешающие пластинки ОАО «Компания Славич»).

Далее проводились наблюдения и оценивались как визуально-изобразительные характеристики: совпадение цветов и возникновение эффекта глубины, так и простота нахождения требуемого взаимного расположения матрицы решёток и амплитудной маски. В результате было установлено, что синтезированные конфигурации представленные на рис. 2а и рис. 2б, не позволяют наблюдать ни требуемый эффект глубины ни полноцветное изображение в приемлемом качестве. Недостаточная интенсивность отражённого света (дифракционная эффективность) могла говорить о том, что просветлённые участки амплитудной маски размерами от 0,1 до 10,0 мкм не позволяют свету в достаточной степени проходить сквозь условно прозрачную эмульсию фотопластинки или достаточно эффективно дифрагировать на фазовых решётках после прохождения эмульсионного слоя.

Уменьшение количества ракурсов мультиплексной голограммы или снижение информационной ёмкости поверхности голограммы, позволило увеличить размеры единичных областей дифракционных решёток. Для шести ракурсов использовались области 10×20 мкм². Они размещались в голопикселе в соответствии со схемой, представленной на рис. 2в. В результате этого эксперимента удалось получить визуальный эффект полноцветного объёмного изображения удовлетворительного качества.

Заключение

Экспериментально подтверждена возможность использования высокоразрешающей фотоэмульсии в качестве амплитудной маски для модулирования дифракционной эффективности фазовых дифракционных решёток. Рассеяние света, дважды прошедшего через неэкспонированный слой фотоэмульсии, достаточно мало по сравнению со светом, дифрагировавшим на решётке и отклонённом ею в нужном направлении.

Представленный способ позволяет получать полноцветные мультиплексные голограммы объёмных объектов приемлемого качества.