

УДК 535.41

© 1997 г. Н.Г. ВЛАСОВ, В.Ф. КОЛЕЙЧУК

ШТРИХОВАЯ СТЕРЕОГРАФИЯ

Описан вариант получения объемных изображений, существенной характеристикой которого является устранение избыточности информации, содержащейся в голограмме, и доведение ее до минимума. В результате при освещении белым светом получается изображение, положение которого смещается при изменении положения наблюдателя.

Из всех разделов физической оптики только в растровой фотографии обращается внимание на то обстоятельство, что изображения, полученные линзами с большой и существенно меньшей апертурами, отличаются друг от друга не только разрешением. Действительно, фотография, сделанная любой из линзочек линзового растра, хранит информацию об изображении объекта под определенным ракурсом, т.е. в направлении фотографирования, а совокупность таких фотографий позволяет, при выполнении определенных условий, получить объемное изображение.

Похожая ситуация возникает и в радужной голографии, в которой в плоскости наблюдения восстановленного изображения образуется радуга, вытянутая по вертикали. Зрачок глаза наблюдателя, «вырезая» узкий участок этой радуги, монохроматизирует тем самым восстановленное изображение. Большая линза, перекрывавшая бы весь спектр, вообще не смогла бы построить изображение, так как его масштаб и локализация изменяются с длиной волны и суммарное изображение оказалось бы размытым. Таким образом, как и в предыдущем случае, возникает существенная разница в изображениях, построенных линзой с большой апертурой и малоапертурной линзой.

В данной статье описан способ получения объемного изображения, непрерывно перемещающегося при изменении направления наблюдения, с присутствием эффекта параллакса. Рассматриваемый способ основан на ограничении спектра пространственных частот, сформированного по определенным правилам, зрачком глаза наблюдателя. Этот способ предложен художником В.Ф. Колейчуком и использован в картинах, создающих впечатление объемных смещающихся изображений или их фрагментов.

Чисто методически такой способ удобно представить как разновидность так называемой «некогерентной» голографии, в которой устранена избыточность. Напомним, что существуют два вида голограмм названного типа, один из которых предложен Дж. Строуком [1], а второй – Л. Мерцем [2]. В первом из них (рис. 1) при помощи вспомогательных оптических элементов, не показанных на рис. 1, создаются два зеркальных изображения I' и I'' одного и того же объекта, освещенного квазимонохроматическим излучением с областью пространственной когерентности, много меньшей, чем размеры объекта. Оба изображения находятся в передней фокальной плоскости линзы 2, осуществляющей их преобразование Фурье, а в ее задней фокальной плоскости находится фотопластинка 3, на которую записывается голограмма.

В связи с тем, что взаимно когерентны только одноименные пары точек двух изображений, каждой из них соответствует своя голограмма, имеющая вид

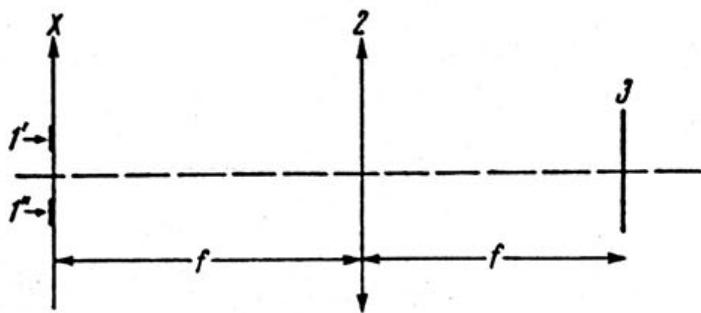


Рис. 1. Схема получения «некогерентной» голограммы Фурье по Дж. Строуку

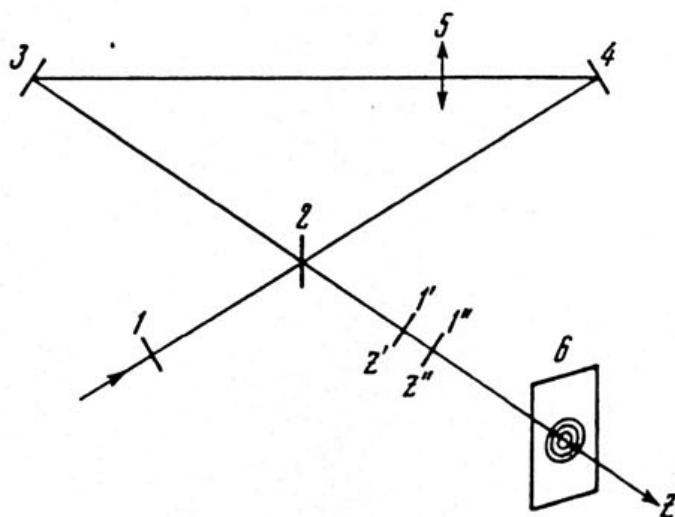


Рис. 2. Схема получения «некогерентной» голограммы Френеля по Л. Мерцу

дифракционной решетки с периодом, определяемым расстоянием x , этих точек от оптической оси:

$$P = \frac{\lambda}{2 \sin \operatorname{arctg} \frac{x_i}{f}}. \quad (1)$$

Так как излучение соседних точек некогерентно, решетки-голограммы с различными периодами складываются по интенсивности и их контраст быстро падает с увеличением числа точек объекта, ограничивая их количество несколькими десятками.

Другой вариант некогерентной голографии иллюстрируется на рис. 2. Записываемый на голограмму предмет 1 помещается на вход интерферометра Харихарана – Сена, состоящего из полупрозрачного зеркала 2, отражающих зеркал 3 и 4 и линзы 5, несколько смещенной по отношению к середине оптического пути в интерферометре.

В связи с тем, что предмет находится на разных расстояниях от линзы 3 для оптических путей по и против часовой стрелки, на выходе интерферометра образуются два изображения объекта l' и l'' , находящихся на одной оптической оси и различающихся по масштабу. Каждые Z' и Z'' – одноименные пары точек этих изображений взаимно когерентны и создают в плоскости 6 интерференционные картины типа зонных пластинок – осевых голограмм Френеля. По сравнению с рассмотренной выше некогерентной голографией Фурье преимуществом является тот факт, что на одном и том же участке фотопластинки регистрируется совокупность голограмм не от всего предмета, а только от его близко расположенных точек и, таким образом, число волновых полей, суммирующихся по интенсивности на

голограмме, уменьшается, что позволяет записывать гологramмы более сложных объектов, содержащих около ста точек. Недостаток же данного метода обусловлен тем, что полученная совокупность голограмм-зонных пластинок относится к осевому типу, то есть к такому, в котором направления опорного и объектного волновых полей при записи совпадают. Соответственно, при восстановлении голограммы все порядки дифракции освещдающего излучения распространяются по одному направлению, что существенно затрудняет восприятие восстановленного изображения. Промежуточный между двумя рассматриваемыми методами вариант некогерентной внеосевой голографии Френеля, в которой различные порядки дифракции освещдающего излучения распространялись бы по различным направлениям, предложен был только недавно В.Ф. Колейчуком и реализован в его картинах, которые изготавливаются не оптическим, а механическим путем, т.е. прочерчиваются вручную на металлической поверхности или на куске плексигласа или другого прозрачного материала. Существенной характеристикой этого метода является устранение избыточности информации, содержащейся в голограмме, и доведение ее до минимума. Краткое сообщение о данном методе опубликовано в работе [3].

Вопрос устранения избыточности в данном случае сводится к следующему: сколько колец в голограмме точки – френелевской зонной пластинке можно стереть, чтобы восстановленное изображение еще сохранилось. Отметим, что наш мысленный эксперимент по стиранию колец целесообразно начать с центра, чтобы по возможности сохранить внеосевую часть зон, восстанавливающих характерное для внеосевой голографии изображение, т.е. не зашумленное излучением нулевого и других мешающих порядков дифракции.

Решение, полученное В.Ф. Колейчуком, оказалось совершенно неожиданным: достаточно сохранить только одно кольцо зонной пластинки. Такое кольцо прочерчивается по металлической или прозрачной основе и наблюдается соответственно на отражение (рис. 3) или на пропускание.

В связи с тем, что кромка резца или другого инструмента, которым наносится окружность, имеет закругление, прочерченный штрих в направлении, перпендикулярном радиусу, действует как вогнутое зеркало, расширяющее освещдающее излучение 1 и обеспечивающее угол наблюдения, в зависимости от профиля штриха, 30–60°.

В глаз наблюдателя при рассматривании верхней части окружности 2 (рис. 3.а) попадают два блика, разнесенные на расстояние, определяемое радиусом дуги. Глаза наблюдателя 3, как и при просмотре стереопары, сводят два блика в один и строят их совмещенное изображение в точке О за плоскостью 2 рисунка – штриховой стереограммы. Если соседняя точка изображения расположена на таком же расстоянии от наблюдателя, ей соответствует окружность с тем же радиусом и со смешенным центром. Если же изображение соседней точки находится дальше или ближе, то радиус отображающей ее окружности соответственно увеличивается или уменьшается. По мере изменения направления наблюдения и приближения его к горизонтальному диаметру расстояние между двумя бликами уменьшается и изображение приближается к плоскости стереограммы, пересекает ее по горизонтальному диаметру (сдвиг между бликами в этот момент равен нулю) и затем перемещается от плоскости стереограммы к наблюдателю, достигая максимального удаления от плоскости рисунка на вертикальном диаметре.

Принципиальным отличием от обычной голограммы является тот факт, что восстановление изображения в голографии основано на эффекте дифракции. В данном же случае микроструктура стереограммы действует на освещдающее излучение как набор изогнутых по окружности узких цилиндрических зеркал и, соответственно, формируемое ими изображение ахроматизовано и немного окрашено на границе области наблюдения в связи с дифракцией на краях штрихов. При необходимости ахроматизованное изображение может быть переведено в радужное путем его перезаписи на радужную голограмму.

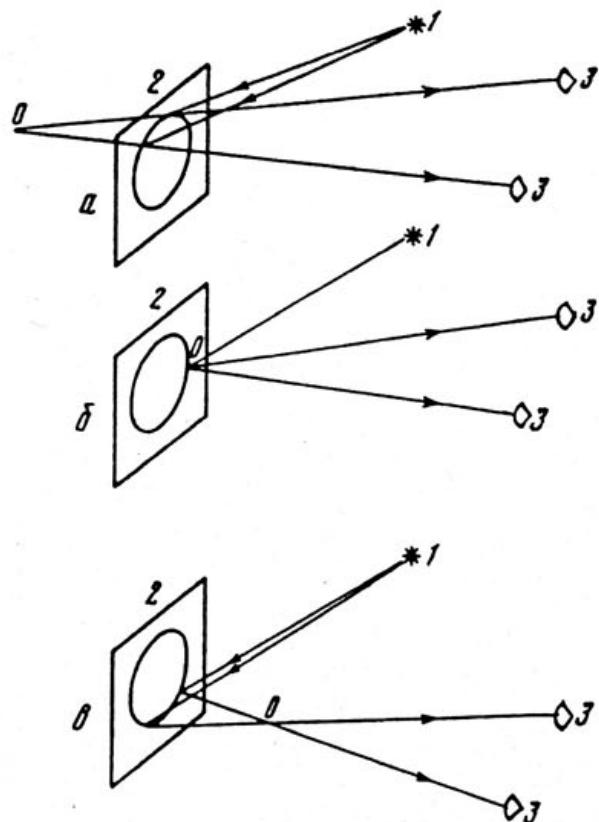


Рис. 3. Наблюдение изображения, восстановленного штриховой стереограммой в верхней (а), боковой (б) и нижней (в) части дуги

Как и в голограммии, для получения резкого изображения необходим источник освещдающего излучения с небольшими угловыми размерами, так как увеличение размеров источника приводит к уширению бликов, строящих изображение точки и, соответственно, к потере разрешения.

Отметим также, что, по сравнению с тисненой радужной голограммой технология тиражирования существенно упрощается, так как сама стереограмма является металлическим штампом, пригодным для тиснения на полимерных пленках.

В заключение интересно рассмотреть, как уменьшение информации в процессе записи увеличивает степень свободы восстановленного изображения. В голограммии Ю.Н. Денисюка запись происходит на трехмерную регистрирующую среду и восстановленное изображение сохраняет информацию даже о спектральном составе объектного волнового поля и направлении его распространения. В голограммии Е. Лейта, при записи на двумерную среду, одновременно восстанавливаются два изображения – действительное и мнимое и появляется произвол в их спектральном составе, ярким примером чего является радужная голограмма. В стереограмме В.Ф. Колейчука информация о предмете уменьшается еще больше и появляется дополнительная степень свободы – локализация восстановленного изображения перестает быть жестко фиксированной и начинает зависеть от положения наблюдателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Струк Дж. Введение в когерентную оптику и голограммии. М.: Мир, 1967. 347 с.
2. Мерц Л. Интегральные преобразования в оптике. М.: Мир, 1969. 181 с.
3. Власов Н.Г., Колейчук В.Ф. // Оптическая техника. 1995. № 3(7). С. 14.