

УДК 778.38

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФА РАДУЖНОЙ ГОЛОГРАММЫ

Канд. физ.-мат. наук, доц. ЗВЕРЕВА В. В.

Белорусский национальный технический университет

Широкое использование радужных голограмм обусловлено достижениями в науке и технике, включающими усовершенствованные схемы регистрации голограмм, материалы для записи и способы их тиражирования. Для наблюдения большого класса голограмм можно использовать лампы дневного света, что позволяет применять голограммы в изделиях рекламного назначения, таких как слайды, этикетки, иллюстрации, а также кодированные изображения для защиты изделий и документов от подделки.

Создание радужной голограммы включает два основных последовательных этапа:

- записывается рельефная голограмма на фотопластине;

- затем в результате нанесения каучука на голограмму, последующего его отделения от оригинала и осаждения на него металлического слоя серебра и никеля формируется металлическая штамп-матрица, которая и используется для тиражирования радужных голограмм тиснением.

Передача объема восстанавливаемого изображения на радужной голограмме определяется качеством металлической штамп-матрицы, глубина рельефа которой зависит от свойств исходной голограммы.

Стандартный метод получения голографического изображения – запись голограммы непосредственно с физического объекта, однако это не всегда представляется возможным из-за больших габаритов и отсутствия объектов как таковых. В этом случае предполагается изготовление компьютерной модели объекта в трехмерной компьютерной графике 3D Studio-MAX (рис. 1).

Программа позволяет создавать объекты практически со всеми существующими в реальной жизни оптическими эффектами. С целью формирования множества изображений относительно созданной модели объекта раз-

мещаются камеры с заданным угловым шагом, которые фиксируют определенный ракурс сцены с объектами [1]. Каждое изображение при его записи на регистрирующую среду соответствует своей субголограмме, совокупность которых образует мастер-голограмму. При ее восстановлении записанные разноракурсные изображения сливаются воедино, образуя объемный образ компьютерной модели объекта. Таким образом, величина искажений конечного изображения, связанных с дискретностью представляемой информации, определяется угловой плотностью повторения ракурсов, а рельефность голографического изображения – геометрическими параметрами съемки объекта.

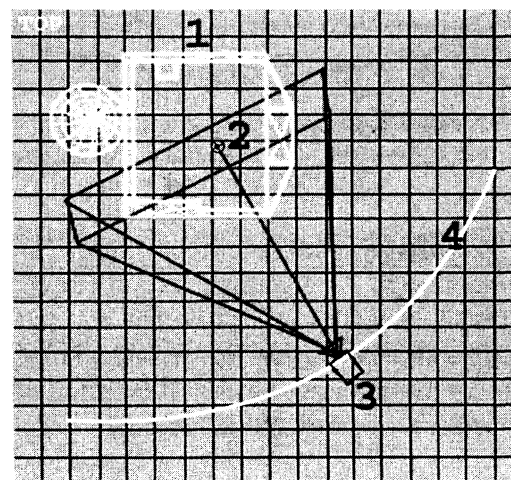


Рис. 1. Размещение камеры относительно созданной модели объекта в среде 3D StudioMAX (вид сверху): 1 – модель объекта; 2 – точка, соответствующая прицелу камеры; 3 – камера; 4 – одна из возможных линий размещения камер

Процесс установки камер относительно модели объекта, а также расчет требуемых параметров можно представить в виде следующей последовательности действий.

На начальном этапе подбирается поперечный размер транспаранта  $a$ , фотопластины  $s$  и рассчитывается дистанция съемки, т. е. рас-

стояние между самой камерой и ее прицелом, по формуле:

$$l_b = \frac{l_a b}{a} + \frac{d((l_a b/a) - f)}{2(l_a b/a) + d - 2f}, \quad (1)$$

где  $l_a$  – расстояние, с которого рассматривается голограмма;  $b$  – поперечный размер модели объекта;  $d$  – глубина модели объекта;  $f$  – фокусное расстояние объектива (рис. 2).

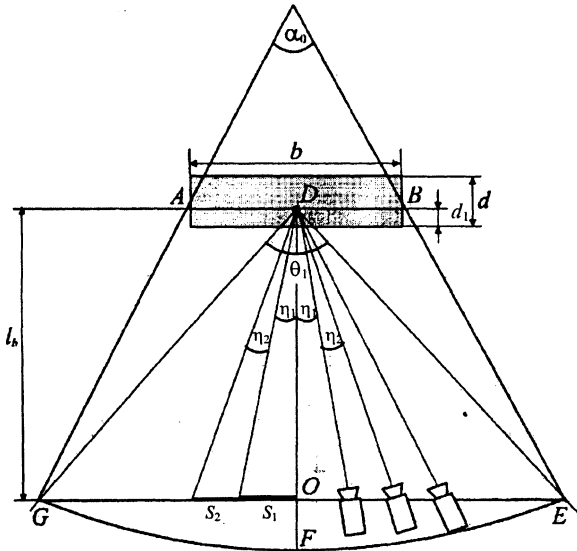


Рис. 2. Размещение камер относительно модели объекта:  $AB$  – модель объекта;  $D$  – точка, соответствующая положению всех прицелов камер

Регистрирующий носитель может быть различных форм — цилиндрической (округлой) и плоской. Нами рассматривается плоская регистрирующая среда как более распространенная [2]. В этом случае возможно два варианта размещения камер относительно модели объекта:

1) по дуге  $GFE$  – только в случае, если выполняется условие:

$$\theta_1 < 2 \arccos \frac{a}{D + a}, \quad (2)$$

где  $D$  – диаметр зрачка глаза;  $\theta_1$  – угол между осями камер в их крайних положениях; 2) в остальных случаях по прямой  $GE$  – в пределах угла, определяемого выражением:

$$\theta_1 = 2 \arctg \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha_0}{2} + \frac{b}{2l_b} \right), \quad (3)$$

где  $\alpha_0$  – угол, в пределах которого наблюдается стереоэффект, определяемый размерами и взаимным расположением транспаранта и голографической фотопластины:

имным расположением транспаранта и голографической фотопластины:

$$\alpha_0 = 2 \arctg \frac{c-a}{2x}. \quad (4)$$

Как видно из рис. 2, при размещении камер по прямой  $GE$ , расстояние от камеры до ее прицела изменяется по мере отдаления первой от точки  $O$ . Увеличение дистанции съемки требует ограничения максимальной дистанции, когда разность размеров объектов на сформированных объективом изображениях не будет еще превышать 7 % размера объекта на большем изображении. Проведенные исследования показали, что изображение на стереопаре воспринимается без дискомфорта до тех пор, пока разность размеров соответствующих объектов на изображениях не превышает 7 % большего размера объекта. Поэтому определяется допустимая максимальная дистанция съемки  $l_{\max}$ , которая затем сравнивается с рассчитываемым значением  $l_1$  для нашего случая:

$$l_{\max} = \frac{l_{\min} - 0,07}{0,93}; \quad (5)$$

$$l_1 = \frac{l_a b + d_1 a}{a \cos(\theta_1/2)}, \quad (6)$$

где  $d_1$  – выступающая относительно прицела камеры часть модели объекта.

Максимальная дистанция съемки  $l_{\max}$  должна обязательно превышать величину  $l_1$ , в противном случае необходимо уменьшать угол  $\theta_1$ , в пределах которого размещаются камеры.

Если итоговую голограмму предполагается рассматривать с расстояния 350 мм и угол между осями крайних камер  $\theta_1$  меньше величины  $2 \times 1,95\beta$  ( $\beta$  – угол, под которым пересекаются визирные оси глаз при рассматривании изображения с расстояния 350 мм), то съемка может производиться с равными углами  $\eta$  между осями камер. Если данное условие не выполняется, то – с равными интервалами  $S$  между камерами. В первом случае изменяющиеся интервалы между камерами определяются из (7), во втором – изменяющиеся углы рассчитываются по (8):

$$S_n = \left( \frac{l_a b}{a} + d_1 \right) \frac{\sin \eta}{\cos k \eta \cos(k-1)\eta}; \quad (7)$$

$$\eta_N = \operatorname{arctg}\left(\frac{NS}{l_b}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{(N-1)S}{l_b}\right), \quad (8)$$

где  $\eta$  – угол между осями соседних камер;  $k$  – номер интервала, соответствующий расстоянию между соседними камерами при получении  $k$ -го и  $(k+1)$ -го изображений объекта, (отсчет номера интервала производится от точки  $O$ );  $N$  – номер транспаранта;  $S$  – расстояние между соседними камерами [3].

Если размещение камер производилось на равных интервалах  $S$ , то осуществляется проверка соответствия суммарной ширины всех промежуточных субголограмм, расположенных между образующими стереопару на фотопластине, стереоскопическому базису человека. Если указанная ширина меньше межзрачкового базиса наблюдателя, то увеличивается число промежуточных (между образующими стереопару) ракурсных изображений или ширина субголограмм до тех пор, пока суммарная ширина всех узких голографических полос, заключенных между образующими стереопару, не станет равной межзрачковому базису наблюдателя. При достижении последнего условия осуществляется установка камер для последовательной съемки объекта.

Полученные ракурсные изображения по схеме записи пропускающей голограммы Лейта и Упатниекса переносятся на регистрирующую среду, где объект заменяется на транспарант с изображением объекта (в нашем случае использовался ЖК-экран) [4]. На узкие горизонтальные участки регистрирующей среды последовательно записываются все ракурсные изображения, формируя мастер-голограмму, с кото-

рой по стандартной схеме копирования формируется пропускающая, являющаяся исходной рельефной голограммой для последующего формирования металлической матрицы путем гальванического выращивания.

На основании проведенного исследования и полученных результатов были созданы радужные голограммы Новогрудского замка и Минской церкви XIII в. Исходными материалами для создания компьютерных моделей послужили восстановленные рисунки, планы и чертежи объектов. Выполненные голограммы – голограммы высокого качества, при изучении изображений которых возникала полная иллюзия объемности объекта, а также воспринимались выступающие и заглубленные части сцены. Единственным существенным недостатком таких голограмм являлся их маленький размер (50...60 мм), увеличение которого было недопустимо из-за низкого числа пикселей ЖК-экрана, что соответствует низкому разрешению транспарантов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Валюс Н. А. Стереоскопия. – М.: АН СССР, 1962. – 364 с.
2. Зверева В. В., Маникало В. В., Сташкевич И. В. Стереозффект и синтез композиционных голограмм // Вестник БГУ. – 1999. – № 2. – С. 3–7.
3. Зверева В. В. Съемка объекта для синтеза композиционной голограммы // ЖПС. – 2001. – Т. 68, № 3. – С. 403–406.
4. Зверева В. В. Получение синтезированной голограммы из набора плоских изображений объекта // Прикладная оптика-98: Сб. тез. и прогр. междунар. конф., С.-Пб., 16–18 дек. 1998 г. / ГОИ им. С. И. Вавилова. – С.-Пб., 1998. – 112 с.