

大 场 景 全 息 照 相

幸良梁 印建平
(苏州大学激光研究室)

提 要

本工作根据 Upatnieks 教授的实验全息学^[1], 对光路作了一些改进, 成功地拍摄了苏州园林模型的广角大场景全息图(视场角大于 120° , 场景面积为 $100 \times 250 \text{ cm}^2$, 景深 250 cm), 获得了清晰且真实感强的三维再现像, 为工程建设、陈设展览、广告宣传、艺术摄影及资料存贮提供了一种价廉而实用的大场景全息照相方法。

一、前 言

大场景(或大景深)全息照相国内外已有报道。一般视场角未超过 90° ^[1,3]; 有的还要使用大功率激光器或特制照相乳胶^[2,4,6]。

大场景全息照相要求被摄面积中的每一个地方都应以相干光照明; 即从场景中的任一点处发射且到达全息干板的物光都与参考光相干涉形成有足够可见度的干涉条纹。

鉴于一般腔长 $1 \sim 2 \text{ m}$ 的 He-Ne 激光器输出激光的相干长度仅数十厘米, 我们采用多束与参考光等光程的物光分区照明方法, 使整个 $100 \times 250 \text{ cm}^2$ 面积的苏州园林模型组合的每一个角落都以相干光照明, 从而成功地拍摄到了较好的超广角大场景全息图(视场角 120° , 场景 $100 \times 250 \text{ cm}^2$, 景深 2.5 m), 当肉眼直接观察再现虚像时, 犹如透过一个窗户(即全息片)去观看窗外的景色。观察者远离窗口(全息片), 从不同方向可以看到园林的不同部位; 靠近窗口, 则可以尽览园林的全景。

二、原 理

众所周知, 对于大场景, 虽然一束物光被扩束后可能照明较大一片场景, 但由于相干长度所限, 被照明的大片场景只有其中一小部分可以被全息地记录下来, 其余皆以噪声的形式记录在干板上了。为了解决这个问题, 常采用所谓光程补偿法, 但扩展深度也有限。

为获得光源的最好的复自相干度, 我们采用 Upatnieks 的椭球等光程原理^[3]。以最简单的全息照相系统为例(图 1), B 为楔形分束器, M_1 、 M_2 为反光镜, L_1 、 L_2 为扩束镜, N_1 、 N_2 为针孔滤波器, P 为照相干板。 $\overline{BM_1L_1N_1P}$ 为参考光光程 R_1 , $\overline{BM_2L_2N_2S_0P}$ 为物光光程 R_2 , 令 $R_1 = R_2$, 则对场景中的 S_0 点而言, 光程差 $R_2 - R_1 = \Delta R = 0$ 。以 P 和 N_2 两点为焦点, 以定长 $\overline{N_2S_0P}$ (椭圆长半轴之二倍) 过 S_0 作一椭圆, C_0 为此椭圆的一段弧(图 1 中实线所示)。显然, 经由 L_2N_2 扩束的物光, 被椭圆弧 C_0 上任一点处的景物反射而到达干板 P , 其光程皆为 R_2 , 与参考光的光程差 $\Delta R = 0$ (即与参考光光程相等)。再在场景中选取

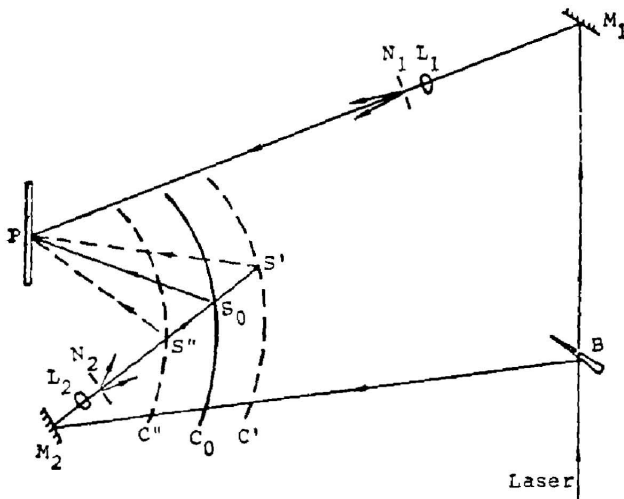


Fig. 1

一点 S' , 令 $\overline{N_2 S' P} - \overline{N_2 S_0 P} = \Delta R$, 仍以 N_2, P 两点为焦点, 过 S' 作一椭圆, O' 为此椭圆的一段弧, 同理, 可在场景中选择一点 S'' , 使得 $\overline{N_2 S'' P} - \overline{N_2 S_0 P} = -\Delta R$, 再以 N_2, P 两点为椭圆焦点, 过 S'' 作一椭圆, O'' 为此椭圆的一部分 (O', O'' 如图 1 中虚线所示)。若 ΔR 小于或等于所用激光器的相干长度, 则由 O' 和 O'' 所围限的场景中的面积为相干长度区, 亦即在此面积内的景物将有相干照明, 可以全息地被记录在全息干板 P 上。

在大场景全息照相中, 我们采用多束与参考光等光程的物光, 适当安排光路, 使各束物光照明场景的不同部分, 让整个大场景的每一个角落, 都以相干光照明, 成功地拍摄到了较好的全息图。此外, 也可以选取光程差为激光器腔长的偶数倍, 理论和实验证明可以得到较好的相干反衬度^[3,61]。

一张好的全息图, 必须记录下干涉条纹的精细构造。全息图的最高空间频率与参考光和物光之间最大夹角的关系为^[1,62]:

$$f = \frac{2}{\lambda} \sin\left(\frac{\theta_M}{2}\right).$$

式中 f 为全息图具有的最高空间频率; λ 为所用激光波长, θ_M 为参考光和物光间最大夹角。例如: $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$; 当 $\theta_M = 120^\circ$ 时, $f = 2740 \text{ c/mm}^*$ 。采用如图 1 所示光路系统, 难以确保广角大场景全息照相的质量。为此, 我们采用准同轴全息光路系统, 使 θ_M 下降至 90° 以下, 使用国产天津 I 型全息干板也可确保干涉条纹精细构造的记录。为了克服同轴全息中零级对衍射级的干扰, 我们让参考光从斜上方以与水平方向成 20° 左右的夹角的方位入射到记录干板上 (在图 2 中, 上图为俯视图, 下图为侧视图)。

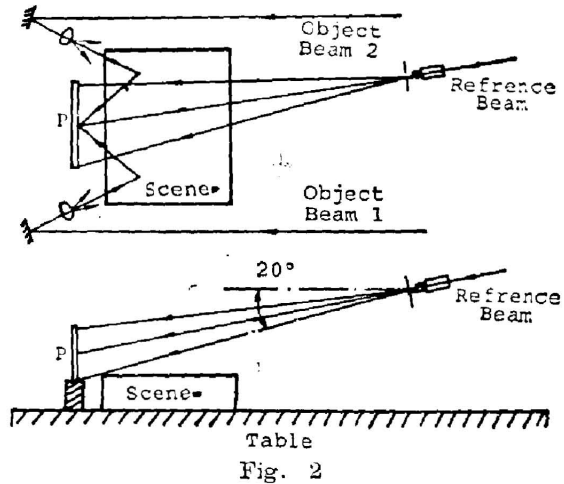


Table
Fig. 2

三、实验和结果

实验光路布置如图 3 所示。实验使用腔长 1.5 m 的 He-Ne 激光器, 输出功率的

* 这个空间频率已接近国产天津 I 型全息干板的分辨率极限 $3000 \text{ c/mm}^{[7]}$ 。

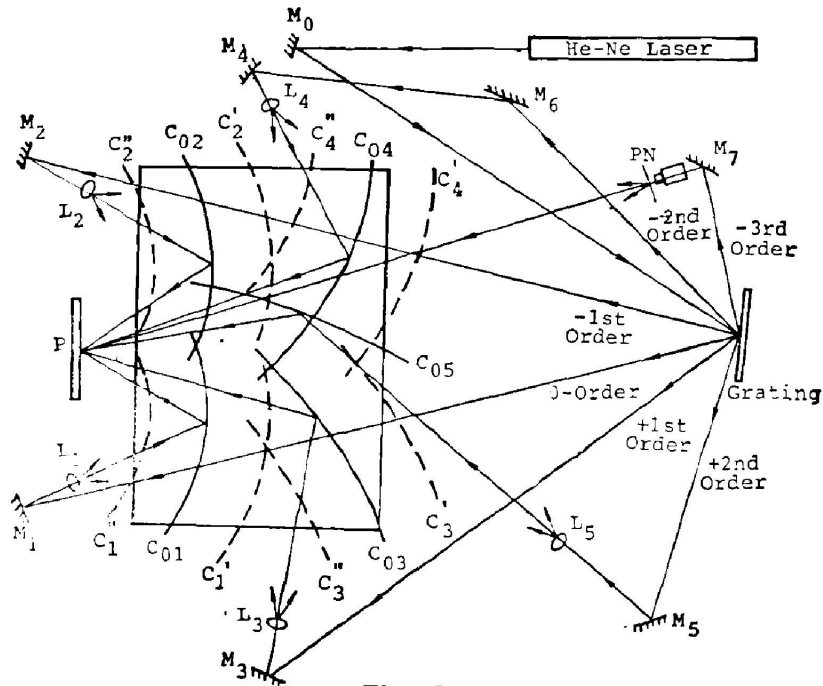


Fig. 3

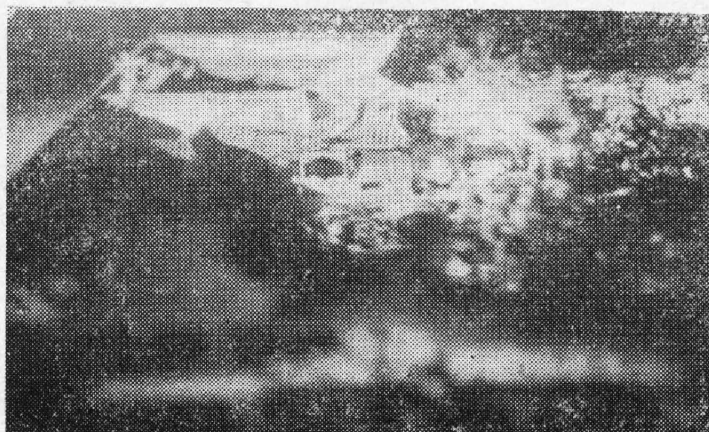
60~80 mW, 有效相干长度约为 20 cm (由实验确定)。使用整张 12" 天津 I 型全息干板, 曝光 60 sec。D 19 显影 150 sec, F5 定影 180 sec, 水洗 10~15 minute 用 R10 漂白成位相型全息图。来自 He-Ne 激光器的光束经 M_0 反射到达分束器 G (G 为 1000 line/mm 的反射全息光栅), 将其衍射的 0、 ± 1 、 ± 2 级用作物光束, -3 级用作参考光束*。各物光束分别经 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 、 M_5 反射, 被 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 扩束后照明场景; L_1 、 L_2 作前场照明, L_3 、 L_4 作后场照明, L_5 作背景照明。在长方形场景中, 实曲线 C_{01} 、 C_{02} 、 C_{03} 、 C_{04} 、 C_{05} 分别为各物光束的等光程椭圆的一段弧, 它们前后的虚曲线 C'_1 、 C''_1 、 C'_2 、 C''_2 、 C'_3 、 C''_3 、 C'_4 、 C''_4 所围限的范围分别为各物光束照明场景的相干长度区。参考光束 (-3 级) 经 M_7 反射及针孔滤波器 PN 扩束后射向全息干板 P 。

实验先用四束物光照明第一个园林模型, 拍摄了第一幅大场景全息图。图 4 是它的再现虚像的两幅普通照片, 其中图 4(a) 为相机对园林的后院聚焦拍摄的, 所以前景不清晰。图 4(b) 为相机对园林的前景聚焦拍摄的。

用五束物光照明苏州艺圃花园的模型 (光路图如图 3 所示), 拍摄了第二幅广角 (视场角 120°) 大场景全息图。图 5 为其再现虚像的三幅照片。图 5(a) 为相机对焦在园林的左后花园拍照。由于视场太大, 普通照相机不能一幅拍下全景, 图 5(b) 是相机对园林的左前部聚焦拍摄的, 图 5(c) 则为相机对园林的右中部聚焦拍摄的。

为了拍摄广角大景深全息图, 用九束物光照明上述两个园林模型和一座金陵宝塔模型的组合场景 (视场角 120° , 相干照明面积约为 $100 \times 250 \text{ cm}^2$), 图 6 是实验中的光路装置的两幅照片。对此组合场景, 我们拍摄了第三幅广角大景深全息图。图 7 是第三幅全息图的

* 为提高激光器输出光能的利用率, 我们采用自制的反射全息光栅作光束分束器, 该光栅的 0 级、 ± 1 级和 ± 2 级的光强相当接近, 而较弱的 ± 3 级正好可作参考光用。



(a)



(b)

Fig. 4

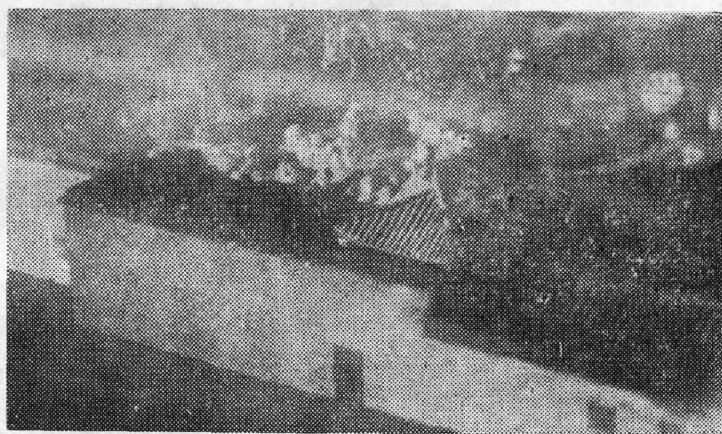
再现虚像的三幅普通照片。图 7(a)为相机对焦在远处的金陵宝塔上拍摄的,图 7(b)为相机对焦在中部的园林模型拍照的,图 7(c)为相机对焦在最近处的艺圃花园模型的中间正门拍摄的普通照片,由于视场很大,普通相机只拍摄到其正面的中段。

按本文介绍的方法,拍摄场景、视场角和景深均可进一步扩展,只要全息台尺寸足够,同时适当延长曝光时间即可。试验表明,对 $100 \times 250 \text{ cm}^2$ 的场景,用反射光栅作分束器,采用九束物光照明,若用腔长为 1 m、输出功率为 30 mW 的 He-Ne 激光器,则曝光 3~5 minute 即可。

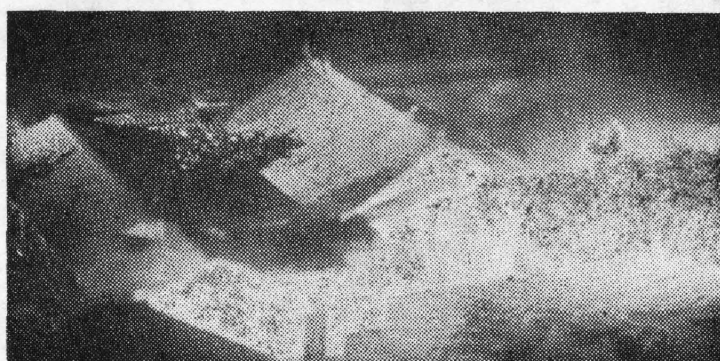
本室姜亚光副教授提供了有关资料,胡祖元同志协助拍摄了部分照片,夏建刚、陆俊发同志为本实验做了很多准备工作。苏州市园林设计室匡振鹏、陆鑫富、叶柏青同志为我们提供了园林模型和帮助,在此一并致谢。



(a)



(b)



(c)

Fig. 5

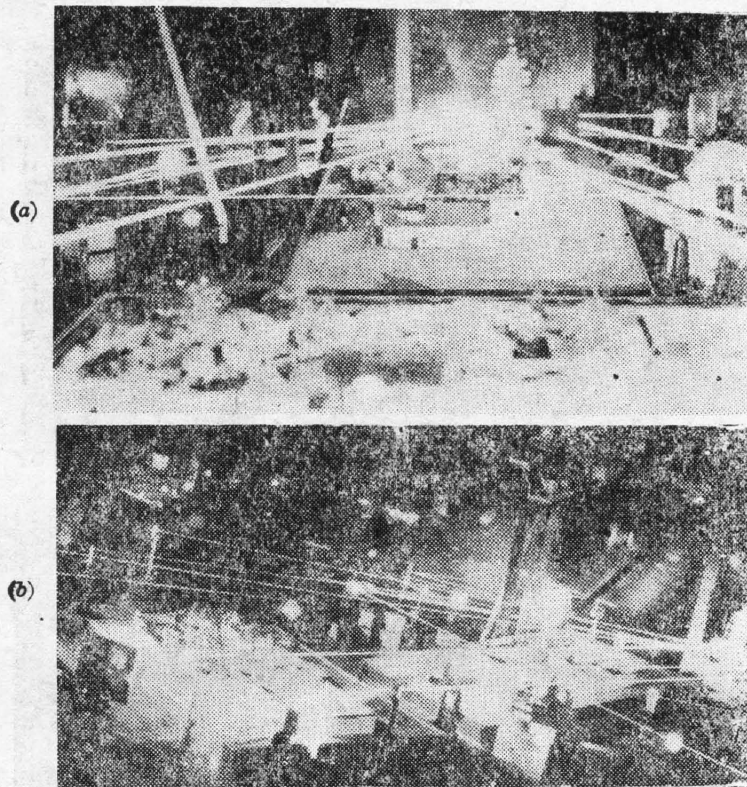
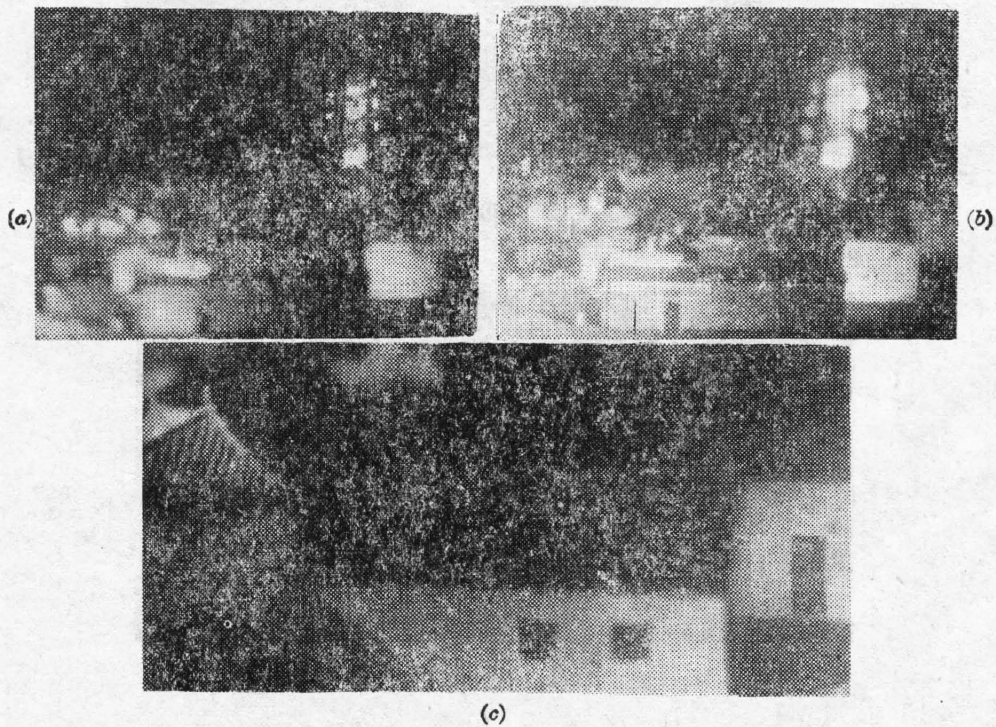


Fig. 6



(c)
Fig. 7

参 考 文 献

- [1] J. Upatnieks; *Experimental Holography*
- [2] J. W. Gates; *J. Scient. Instrum.*, 1968, 1, No. 10 (Oct), 989.
- [3] 葛万福, 熊秉衡; 《光学学报》, 1985, 5, No. 7 (Jul), 600.
- [4] J. M. Fournier *et al.*; *Proc. SPIE*, 1977, 120, 116~121.
- [5] H. I. Bjelkhagen; *Proc. SPIE*, 1977, 120, 122~126.
- [6] 于美文; 《光学全息及信息处理》, (国防工业出版社, 1984), 5, 112.
- [7] 王永昭; 《光学全息》, (机械工业出版社, 1981), 190.

Holography of wide angle and great scene

XING LIANGLING AND YIN JIANPING

*(Laser Research Institute, Suzhou University)**(Received 15 October 1985)***Abstract**

The present work is based upon the teaching materials of experimental holography given by Professor J. Upatnieks used at the Electrical and Computer Engineering Department, Michigan University. After making some improvements in the optical system according the experimental conditions in our institute, we succeeded in taking several holograms of wide angle and great scene of Sozhou garden models (120 visual angle, 250 cm depth and 100×250 cm area) and obtained a bright and sharp 3-D reconstructed image. Therefore, this technique provides a cheap and practical method for taking holograms of great visual angle and scene in engineering structures, holographic display, advertisement, artistic photography, data-storage, etc.