

用合成全息术和漂白技术产生高效率 宽动态范围的空间滤波器

郑师海 董碧珍 鄂云 杨克敏

(中国科学院物理研究所)

提 要

本文介绍了用合成全息术产生高效率宽动态范围空间滤波器的方向,并将这种方法应用到对离焦模糊图象的处理,获得了较好的效果。

Production of a spatial filter with high efficiency and broad dynamical range by using composite hologram and bleaching technique

Zheng Shihai Dong Bizheng E Yun Yang Keming

(Institute of Physics, Academia Sinica)

Abstract

A method is described which produces a spatial filter with high efficiency and broad dynamical range by using composite hologram and bleaching technique. The method was used in processing the defocus blurred images and good results have been obtained.

一、前 言

在制造消模糊空间滤波器时^[1],为了使恢复象具有最好的逼真度和高的分辨率,需要滤波器具有尽可能大的动态范围。例如,在严重离焦的模糊象处理中,滤波器一般要求100:1以上的线性动态范围。使用高分辨率银盐片做记录材料一般只能做到10:1。显然不采用特殊手段,使用银盐胶片得到100:1以上的范围是困难的。为了扩展空间

滤波器的动态范围,许多人在这方面作了大量工作。本文在S. I. Ragnarsson提出全息方法产生高效率宽动态范围空间滤波器^[2]的基础上,用合成全息技术把滤波器的动态范围进行了进一步扩展。这种方法原则上可以把动态范围扩展到任何需要的值。

二、原 理

S. I. Ragnarsson方法制造的空间滤波

收稿日期:1979年4月9日。

器实质上是一弱参考漂白纯相位全息图, 漂白后乳胶的总相位延迟包含由于乳胶膨胀产生的浮雕象和由于乳胶折射率变化产生折射象的和。为了去掉浮雕象的影响, 需将滤波器放置在液体门中。

记录这种滤波器所用的装置如图1所示。在透镜 L_1 的前焦平面 P_1 放置一个小孔, 距光轴为 d 。将振幅透过率为 $h(x, y)$ 的透明片也放置在 P_1 平面, 其中心在光轴上, 用相干平面波照明, 则在后焦平面的光场分

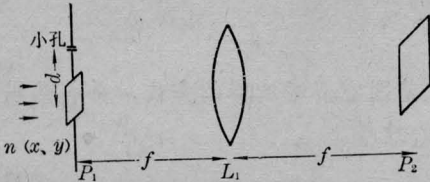


图1 滤波器的记录装置

布为:

$$a_2(u, \nu) = A e^{-j\pi \frac{d}{\lambda f} u} + |H(u, \nu)| e^{-j\theta(u, \nu)} \quad (1)$$

$H(u, \nu)$ 是脉冲响应函数 $h(x, y)$ (由模糊因素决定) 的傅里叶变换, u, ν 为空间频率, $\theta(u, \nu)$ 为 $H(u, \nu)$ 的相位。对应这样一个振幅分布的胶片曝光量为:

$$\varepsilon(u, \nu, t) = E(u, \nu, t) \times \left\{ 1 + M(u, \nu) \cos \left[\pi \frac{d}{\lambda f} u - \theta(u, \nu) \right] \right\} \quad (2)$$

式中

$$E(u, \nu, t) = t(A^2 + |H(u, \nu)|^2) \quad (3)$$

$$M(u, \nu) = 2A |H(u, \nu)| / (A^2 + |H(u, \nu)|^2) \quad (4)$$

t 为曝光时间。在 $A^2 \ll |H(u, \nu)|^2$ 条件下漂白处理后所得滤波器的一级衍射的振幅分布^[2,3]为:

$$T(u, \nu) = \frac{A}{H(u, \nu)} \left[\frac{1}{A^2 / |H(u, \nu)|^2 + 1} \right] r(E) e^{j\phi(E)} \quad (5)$$

式中第一因子比例于 $H(u, \nu)^{-1}$, 正是我们

需要的空间滤波器。第二因子

$$\frac{A}{A^2 / |H(u, \nu)|^2 + 1} = \frac{1}{A} \frac{|H(u, \nu)|^2 A^2}{|H(u, \nu)|^2 + A^2} \quad (6)$$

适当选取 A^2 值, 它同第一因子相乘, 可获得最佳滤波函数^[2]。 $r(E)$ 是乳胶的相位延迟同曝光量对数的关系曲线的斜率, 它代表振幅误差, 如果在全部曝光范围内是一常数 r_a , 滤波器没有振幅误差。第四因子表示相位误差, 如果相位误差控制在

$$\phi[tH^2(0, 0)] - \phi[tA^2] \leq \frac{\pi}{4} \quad (7)$$

可以允许所得滤波器的振幅透过率为

$$T(u, \nu) = \frac{r_a}{AH(u, \nu)} \frac{|H(u, \nu)|^2 A^2}{|H(u, \nu)|^2 + A^2} \quad (8)$$

由(3)式给定的最大曝光量为 $tH^2(0, 0)$, 最小平均曝光量为 tA^2 。如果相位延迟 $\phi(E)$ 同 $\log(E)$ 的曲线的线性区域的最小值为 E_a , 最大值为 E_b , 则要求

$$\frac{H^2(0, 0)}{A^2} \leq E_b / E_a \quad (9)$$

可以采用低 r 高动态范围显影液以及漂白技术扩展动态范围, 但由于(7)式和(9)式的限制, 所得动态范围仍然是有限的。如果我们把 $|H(u, \nu)|$ 分成为 $|H(u, \nu)| \geq B$ 和 $|H(u, \nu)| < B$ 区域, B 为常数, 在 $|H(u, \nu)| \geq B$ 区域, 用参考强度 $A_1^2 = B^2$, 且 $tA_1^2 = E_a$, $tH^2(0, 0) \leq E_b$ 进行全息记录, 得到在这个区域滤波函数 $T(u, \nu) \propto \frac{1}{H(u, \nu)}$ 。在

$|H(u, \nu)| < B$ 区域, 此时底片仅得到最小曝光量 E_a , 这样可以利用另一参考强度为 A_2^2 , 令 $\frac{B^2}{A_2^2} \leq \frac{E_b}{E_a}$, $tA_2^2 = E_a$ 进行全息记录同样得到 $T(u, \nu) \propto \frac{1}{H(u, \nu)}$ 。如果我们定

义单张全息图所得的动态范围为 R_1 , 合成全息图的动态范围为 R_2 , 则

$$R_2 = \frac{H^2(0, 0)}{A^2} = \frac{E_b}{E_a} \frac{E_a}{E_b} = R_1^2 \quad (10)$$

其步骤为：第一步用参考强度为 A_1^2 进行记录，第二步保持记录片不动，用一膜片令其在 $|H(u, \nu)|^2 \geq A_1^2$ 的透过率为零； $|H(u, \nu)|^2 < A_1^2$ 的透过率为 1，放置在光路中，用参考强度为 A_2^2 进行第二次记录后进行处理，在第二曝光区域内曝光量

$$\begin{aligned} \varepsilon_2(u, \nu, t) &= E_1 \left[1 + M_1 \cos \left(\pi \frac{d}{\lambda f} u + \theta(u, \nu) \right) \right] \\ &+ E_2 \left[1 + M_2 \cos \left(\pi \frac{d}{\lambda f} u + \theta(u, \nu) \right) \right] \end{aligned} \quad (11)$$

其中

$$E_1 = t_1(A_1^2 + |H(u, \nu)|^2) \quad (3)$$

$$M_1 = 2A_1 |H(u, \nu)| / A_1^2 + |H(u, \nu)|^2 \quad (4)$$

$$E_2 = t_2(A_2^2 + |H(u, \nu)|^2) \quad (12)$$

$$M_2 = 2A_2 |H(u, \nu)| / A_2^2 + |H(u, \nu)|^2 \quad (13)$$

t_1, t_2 为第一、第二次曝光时间。在这个区域内：

$$A_1^2 \gg |H(u, \nu)|^2 \gg A_2^2 \quad (14)$$

令

$$t_1 A_1^2 = t_2 A_2^2 \quad (15)$$

得

$$\begin{aligned} \varepsilon_2(u, \nu, t) &\approx E_2 \left[1 + M_2 \cos \left(\pi \frac{d}{\lambda f} u + \theta(u, \nu) \right) \right] \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} T_2(u, \nu) &= \frac{A}{H(u, \nu)} \left[\frac{1}{A^2 / |H(u, \nu)|^2 + 1} \right] \end{aligned}$$

$$\times r(E) e^{j\phi(E)} \quad (17)$$

只要控制两次曝光均落在 $\phi(E) - \log(E)$ 曲线的线性区，并保持(7)式成立，就在更大范围有

$$T(u, \nu) \propto \frac{1}{H(u, \nu)} \quad (18)$$

依次分区下去可得动态范围为

$$R_n = R_1^n \quad (19)$$

n 为分区数。

三、实验结果

1. 乳胶的特性

为了确定最佳曝光时间和预期的动态范围，首先必须制作乳胶的相位特性。它是通过改变不同曝光量记录一恒定调制度的全息光栅，进行胶片处理后测量该全息光栅一级衍射效率同曝光量关系，根据[3]

$$r(E) = \frac{2\sqrt{\eta(E)}}{M} \quad (20)$$

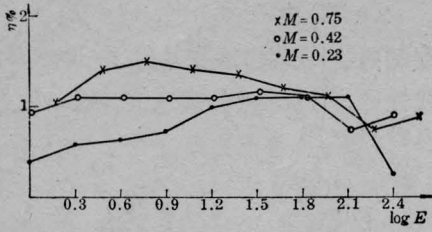
和

$$r(E) = d\phi(E) / d\log(E) \quad (21)$$

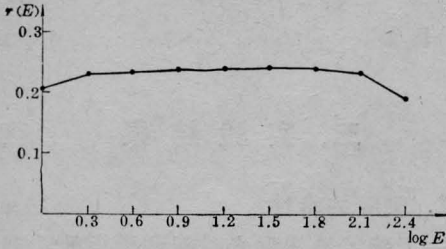
计算得到的。 $\eta(E)$ 为一级衍射效率， M 为调制度。由于 $H(u, \nu)$ 的变化，调制度 M 取 0~1 中任何值。需用一族不同调制度曲线统计说明。从曲线看出，在一定范围内，衍射效率与曝光量无关。本实验选用了 Kodak 649F 干板处理方法，见表 1。正弦光栅的产生和调制度的改变是用约为 2.5 毫瓦 He-Ne 激光器直接分束相干和改变分束比得到的。干涉条纹频率约 100 条/毫米，实验给出了 0.75、0.42、0.23 三个调制度，曝光时间从 $\frac{1}{15}$ 秒到 256 秒，结果如图 2 所示。所得动态范围约等于 80。

表 1 胶片处理

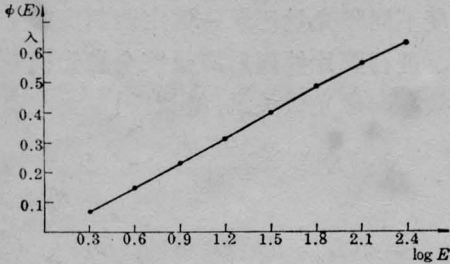
坚膜	水洗	显影	停显	定影	水洗	漂白	水洗	清洁	水洗
SH-5		Pota 22°C 1次/分	2% 乙酸溶液	F-5		5% 溴化铜溶液			
3分	30秒	5分	30秒	5分	5分	7分	5分	5分	10分



(a) 乳胶衍射效率与曝光量的关系



(b) $\tau(E) - \log(E)$ 关系曲线(由(a)的三条曲线平均得到)



(c) $\phi(E) - \log(E)$ 曲线(由(b)数字积分得到)

图 2

2. 输入片

为了便于求出脉冲响应函数, 选择了三十六条线的幅条样品, 另外选择了消模糊三字的草写体。使用相对孔径 2.8, $f=50$ 毫米的 135 相机, 物距由 0.65 米有意对焦到 0.90 米。显影处理后幅条第一次相位反转的空间频率为 2.39 条/毫米, 求得模糊盘直径为 0.5 毫米。

输入片制作采用正负片, 负片在上述条件下用 Agfa 10E75 片记录, 1:25 D-165 显影 11 分半, 正片使用 Kodak 649F 片, 1:10 D-165 显影 8 分。两次显影都在 20°C , 搅拌 82 次/分, 所得两次 r 相乘近似等于 2。

3. 滤波器的制作

本实验的光路安排如图 3 所示。实验步骤是: 第一步在 P_2 平面放置一 649F 片, 乳胶

面向后, 挡住参考光, 记录 $|H(u, v)|^2$, 用 D-19 显影, 使 $|H(u, v)|^2 > A_1^2$ 区域透过率为零,

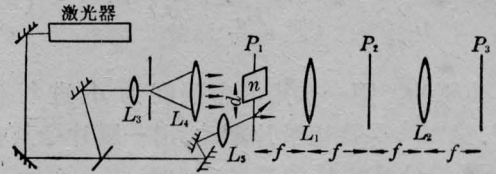
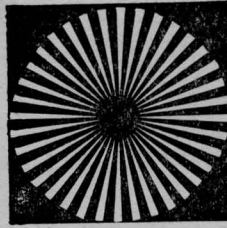
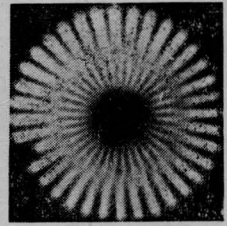


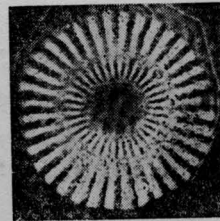
图 3 实验装置的排列



(a) 幅条正焦点象



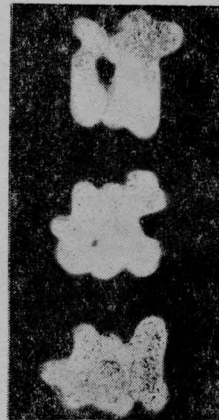
(b) 离焦幅条象



(c) 恢复幅条象



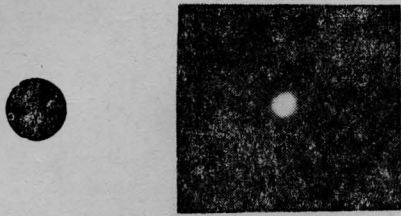
(d) “消模糊”正焦点象



(e) “消模糊”离焦点象



(f) “消模糊”恢复象



(g) 模糊图

(h) 恢复点

图 4

$|H(u, \nu)|^2 < A_1^2$ 区域透过率为 1; 第二步将第一步制做的膜片复位, 紧贴后面固定一 649F 片, 用强度为 A_2^2 的参考平面波进行第一次全息记录; 第三步将第一步制作的膜片取下, 用参考强度为 A_1^2 平面波进行第二次全息记录; 第四步, 将所得片子按表 1 进行处理。

实验使用 $H^2(0, 0)/A_1^2 \approx 80$, $A_1^2/A_2^2 \approx 12$, $t_1 \approx 10t_2$, $R \approx 900:1$ 。

4. 实验结果

将滤波器严格复位到 P_2 平面, 待处理图象放置在 P_1 平面, 挡住参考光, 在 P_3 平面记录结果如图 4 所示。

从实验结果看出这种方法是方便可行的。但由于我们实验条件限制, 结果还不够理想。

参 考 文 献

- [1] G. W. Stroke, R. G. Zech; *Phys. Lett.*, 1967, **25A**, 69.
- [2] S. I. Ragnarsson; *Phys. Scripta*, 1970, **2**, 145-153.
- [3] AD-785904.

简 讯

电子计算机运控的激光热导仪研制成功

中国科学院上海硅酸盐研究所与上海激光技术研究所、中国科学院沈阳金属研究所及上海钢铁研究所协作, 于 1973 年研制成功激光热导仪。在此基础上, 经过几年的努力, 上海硅酸盐所把电子计算机的先进技术应用到材料的热物理测试上, 最近研制成功电子计算机运控的激光热导仪, 并通过了鉴定。

激光热导仪是将激光技术应用于导热系数测量的新型设备, 而导热系数是材料重要的热物理参数之一, 特别是对于航天材料, 这更是不可缺少的关键数据。激光热导仪采用电子计算机运控后, 使它的测试准确度、速度、自动化程度和测试功能等都有了明显的提高。实际测试表明, 仪器的主要技术指标已接近国际先进水平。测试误差从原来的 $\pm 8 \sim 9\%$

减小到 $\pm 4 \sim 6\%$, 测试速度提高近百倍, 测试的重复性也大大提高, 避免了繁杂的作图取点操作以及由此引进的偶然误差。除测温外, 整个测试过程已全部自动化。

该仪器除了可测返地卫星头部烧蚀材料的导热系数外, 还可测定陶瓷及涂层、金属及合金、玻璃、单晶、铁电材料以及如酚醛-涤纶和碳-石英之类的复合材料的导热系数。目前可测的温度范围为 $300 \sim 2100^\circ\text{C}$, 若进一步改进, 测温的范围还可向两头伸展。参加鉴定会的代表认为, 这是一台技术综合性较强, 可同时用于测试和科学研究的大型精密仪器, 建议推广应用。

(中国科学院上海硅酸盐研究所科技处供稿)