

综合物理实验预习笔记——数字全息及实时光学再现

物理 (4+4) 1801 胡喜平 U201811966

个人网站 <https://hxp.plus/> 电子邮件 hxp201406@gmail.com

2020 年 11 月 17 日

1 实验原理

1.1 全息图的记录

由惠更斯-菲涅尔原理可知,任何物体发出的光波可以看成是由物体上各点发出的球面波总和。光的电场分布可以由复振幅表示为

$$\vec{E}_o(\vec{r}) = A_o(\vec{r}) \exp[-i\varphi_o(\vec{r})] \quad (1)$$

但是传统相机都只能记录光强不能记录相位,因此相片没有立体感。

要想记录光的全部信息,需要借助全息图。常用的方法是干涉法,使具有振幅和相位信息的物体发出的光,和一束参考光干涉,参考光的振幅相位已知,测量到的干涉光的相位振幅已知,因此能反推出物体发出的光的相位和振幅。

假设物光 \vec{E}_o 和参考光 \vec{E}_r 照射在一个感光材料上,感光材料可以记录光强,其中

$$\vec{E}_o(x, y) = A_o(x, y) \exp[-i\varphi_o(x, y)] \quad (2)$$

$$\vec{E}_r(x, y) = A_r(x, y) \exp[-i\varphi_r(x, y)] \quad (3)$$

这两束光叠加后产生的光强是

$$I = (\vec{E}_o + \vec{E}_r) (\vec{E}_o + \vec{E}_r)^* = E_o^2 + E_r^2 + \vec{E}_o \vec{E}_r^* + \vec{E}_o^* \vec{E}_r \quad (4)$$

代入 2 和 3, 得出

$$I(x, y) = A_o^2 + A_r^2 + A_o A_r \{ \exp[i(\varphi_r - \varphi_o)] + \exp[i(\varphi_o - \varphi_r)] \} \quad (5)$$

可以看出,参考光的引入,使得物光的相位信息被转化成了光强,因此可以被感光的芯片或者电子元器件捕获。

将记录介质曝光即可得到全息图,其中全息图上每一点的振幅透射系数和曝光时的光强成线性关系,即

$$t(x, y) = \beta_0 + \beta I(x, y) \quad (6)$$

1.2 全息图的再现

将感光介质生成的全息图放在透射式空间光调制器上, 另照射到透射式空间光调制器的再现光为

$$\vec{E}'_r(x, y) = A'_r \exp(-i\varphi'_r) \quad (7)$$

则经过空间调制器后光的复振幅为

$$\vec{E}_g(x, y) = \vec{E}'_r t \quad (8)$$

将 5、7 和 6 代入, 得到

$$\vec{E}_g = A'_r \exp(-i\varphi'_r) [\beta_0 + \beta (A_o^2 + A_r^2 + A_o A_r \{\exp[i(\varphi_r - \varphi_o)] + \exp[i(\varphi_o - \varphi_r)]\})] \quad (9)$$

当复现光和参考光相位相同, 即 $\varphi_r = \varphi'_r$ 时

$$\vec{E}_g(x, y) = (\beta_0 + \beta A_o^2 + \beta A_r^2) \vec{E}'_r + \beta A_r A'_r \vec{E}_o + \beta A_r A'_r \vec{E}_o^* \exp[-2i\varphi_r] \quad (10)$$

第一项是投射过来的复现光, 算噪声。第二项是沿着原来物光传播方向传播的投射光, 呈原来物体的虚像。第三项是物光的共轭光波, 在原来物体对称位置呈实像。

2 实验内容

- 计算机模拟全息 (数字记录, 数字再现)
- 可视数字全息 (数字记录, 光学再现)
- 数字全息 (光学记录, 数字再现)
- 实时传统全息 (光学记录, 光学再现)