

# 关于菲涅耳全息滤波器的实验与分析

顾去吾 曹俊卿

(上海机械学院, 上海 200093)

## 提 要

本文对菲涅耳全息滤波器作为强度相关器的功能作了详细的实验分析研究, 结果表明菲涅耳全息滤波器不适宜于用作相关识别检测。

关键词: 菲涅耳全息滤波器, 相关识别。

我国学者在 1986 年北京国际全息会议上首次提出菲涅耳全息滤波器<sup>[1]</sup>, 其全文发表在 Proc.SPIE 上<sup>[2]</sup>。设计者们认为菲涅耳全息滤波器的复位精度远比范德鲁匹配滤波器的要求低, 同时还可以解决尺度和旋转变化的问题。这几年来, 设计者们在国内外连续发表了更多文章, 对菲涅耳全息滤波器试图加以改进。笔者之一曾在 1988 年全息与光信息处理年会(天津)上指出, 所谓的菲涅耳全息滤波器的鉴别力远低于范德鲁匹配滤波器, 实际上是不适宜于作相关识别的, 现在, 笔者就此作进一步讨论, 以期把这个问题弄清。

笔者多次认真地重复了文献[1]和[2]的实验, 光路安排如图 1 所示。特征信号片为一暗背景上的透明字符  $E$ 。参考光为会聚点  $P(h, d)$  的球面波。 $P_2$  平面上放置全息干板。字符  $E$  和  $P$  点对称分布于  $P_2$  平面的两侧。

信号片由平行光照明, 光源为 He-Ne 激光。 $P_2$  平面上的全息干板(薄板)记录下物波和参考波的干涉图样。设  $O, R$  分别为在  $P_2$  平面上的物波和参考波, 则经过处理后得到的菲涅耳全息图的透过率为  $|O|^2 + |R|^2 + OR^* + O^*R$ , 将处理后的全息图严格复位, 这时

- (1) 挡掉字符  $E$ , 仅让  $R$  照明全息图, 在其右面的观察者在原物处看到  $E$  的虚像;
- (2) 挡掉  $R$  而用字符  $E$  衍射出的物光照明此全息图(即用原始物光波照明全息图), 在  $P$  处呈现明亮的光点(用全息术的语言说, 这是用复杂的物波再现了简单的参考波)。应当指出, 只有在这种情况下才能出现明亮的光点;
- (3) 用以  $P$  点为球心的发散球面波(即  $R$  的共轭波)反向照明此全息图, 在原字符  $E$  处呈现  $E$  的实像。

以上三点不难用全息术的一般理论给予解释。

- (4) 在字符  $E$  处放置一点源, 用由此发散的球面波照明此全息图, 在  $P$  点处也呈现清晰的实像  $E$ ;

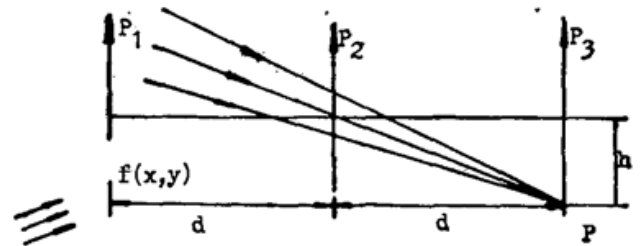


Fig. 1 Schematic diagram of the FHF experimental setup

(5) 重复(4), 但前、后、左、右移动此点源, 则实像  $E$  有相应的后、前、右、左的移动。

按全息图的成像原理的分析<sup>[3,4]</sup>, 当全息图为薄板时, 这也是可以得到解释的。由全息成像公式<sup>[5]</sup>, 不难证明, 上述菲涅耳全息滤波器系统是一个平移不变系统。在非涅耳近似条件下, 这个特定的菲涅耳全息滤波器系统的放大率为 1:1。或者可以这么说, 对于输入平面  $P_1$  上的一个点源的脉冲响应是在输出平面  $P_2$  上给出一个字符  $E$  的实像。

实验结果示于图 2。其中照片图 2(a) 为挡掉  $R$  而用原始字符  $E$  衍射出的光波照明全息图所得到的亮点。照片图 2(b) 是在输入一个点源时在输出平面  $P_2$  上生成的字符的像。为获得非相干照明, 按照文献[2]的做法, 在字符  $E$  之前加上毛玻璃并使之运动, 用其漫射光照明字符  $E$ 。这样, 字符  $E$  上各点都发出非相干球面波。每一点发出的球面波都在输出平面  $P_2$  上给出各自的字符  $E$  的像。例如, 对于  $P_1$  平面上相距为  $\Delta$  的两个点源, 在输出平面  $P_2$  上便有相距为  $\Delta$  的两个  $E$  的实像(图 2(c))。令字母  $E$  上各点都同时发出许许多多球面波, 在输出平面上便是许许多多字符  $E$  的移位像的叠加。其输出显然不可能是一个亮点, 实际观察到的是一个有复杂结构的大光斑, 如图 2(d) 所示, 其分布符合众多移位字符  $E$  的像的强度叠加。因此可以把这个系统看作是强度的线性平移不变系统。可以断言, 若用其它字符(例如  $F$ 、 $T$ ...) 制作各自的菲涅耳全息滤波器, 它们在  $P_2$  面上的输出也将是各不相同的。若用不同的字符输入到同一个菲涅耳全息滤波器上, 其各自的输出也必然是不同的。但是有一点是共同的, 即复杂结构的中心并不呈现出比周围明显得多的亮点。这与范德鲁匹配滤波器输出平面上有一个接近  $\delta$  函数的自相关亮点是有本质上的区别的。

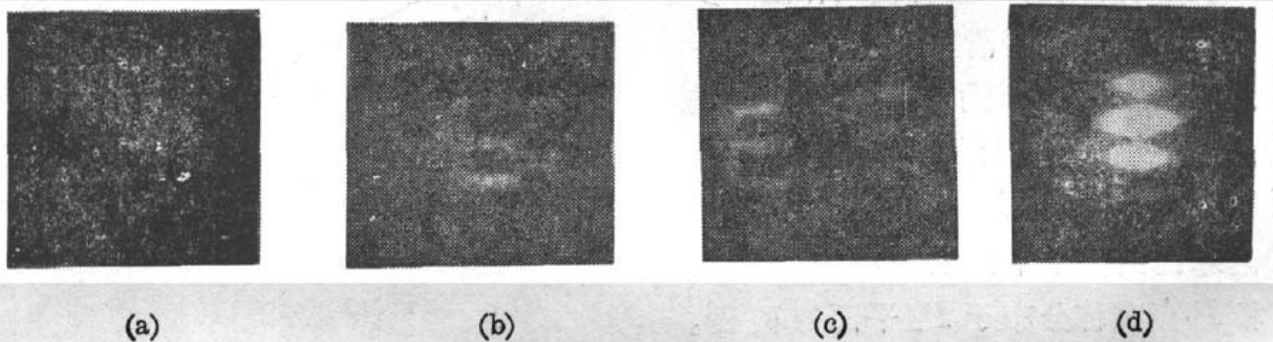


Fig. 2 The output of the FHF by character letter  $E$

- (a) Illuminating the FHF by original object wave;
- (b) Illuminating the FHF by one point source;
- (c) Illuminating the FHF by two point sources;
- (d) Illuminating the FHF by the object wave after through a moving diffuser

必须指出, 如果把由原始物光波所再现的亮点, 如图 2(a) 所示, 作为待识别物信号的自相关识别的亮点, 则一旦插进毛玻璃, 此亮点便立刻完全消失, 而输出图 2(d) 的光斑, 令毛玻璃开始运动, 只是使此光斑上的结构更加清晰而已。

我们也按文献[2]的安排作过实验, 即在记录时, 在字符  $E$  前面插进毛玻璃, 其结果与前述的大致相同。实验结果如图 3 所示。其中图 3(a) 为特征信号片字符  $F$ , 而图 3(b) 则是字符  $F$  经菲涅耳全息滤波带后强度叠加的结果。由图可知, 输出光斑的结构确是随选取不同的特征片而异。同时还作了定量的测量, 在毛玻璃准确复位, 在  $P_2$  平面上有明亮的光点出现后, 原始物信号片只要有 0.03 mm 的面内位移, 该亮点便完全消失。

最后, 我们还要指出, 文献[2]得到强度相关结果的数学推导是值得商榷的。该文从公



Fig. 3 The experiment by character letter F with a diffuser  
(a) Letter F; (b) The output from FHF by the object wave after passing through a moving diffuser

式(5)过渡到公式(7)是通过在输出平面  $P_3$  上的场分布取时间平均来实现的。问题就出在对时间平均的求法是根本错误的。该文公式(5)为

$$E(\xi, \eta, t) = \int f'(x_1, y_1) \exp[i\theta(x_1 - vt, y_1)] f^*[(x_1 d/d_1) + (\xi d/d_2) + 2p_0 + h, (y_1 d/d_1) + (\eta d/d_2) + 2q_0] \exp[i\varphi(x_1, y_1, \xi, \eta)] dx_1 dy_1$$

按经典的定义,其时间平均应为

$$I(\xi, \eta) = \langle E \cdot E^* \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T E(\xi, \eta, t) E^*(\xi, \eta, t) dt$$

将该文公式(5)代入此定义式,则得

$$\begin{aligned} I(\xi, \eta) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left\{ \left[ \int f'(x_1, y_1) e^{i\theta(x_1 - vt, y_1)} f^*(x_1 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2p_0 + h, y_1 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2q_0) e^{i\varphi(x_1, y_1, \xi, \eta)} dx_1 dy_1 \right] \right. \\ &\quad \times \left. \left[ \int f'^*(x_2, y_2) e^{-i\theta(x_2 - vt, y_2)} f(x_2 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2p_0 + h, y_2 d/d_2 + \eta d/d_2 + 2q_0) e^{-i\varphi(x_2, y_2, \xi, \eta)} dx_2 dy_2 \right] \right\} dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \left\{ \int \int f'(x_1, y_1) e^{i\theta(x_1 - vt, y_1)} f^*(x_1 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2p_0 + h, y_1 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2q_0) e^{i\varphi(x_1, y_1, \xi, \eta)} \right. \\ &\quad \times f'^*(x_2, y_2) e^{-i\theta(x_2 - vt, y_2)} f(x_2 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2p_0 + h, y_2 d/d_2 + \eta d/d_2 + 2q_0) e^{-i\varphi(x_2, y_2, \xi, \eta)} dx_1 dy_1 dx_2 dy_2 \left. \right\} dt \end{aligned}$$

且不论运动毛玻璃的时间特性对时间平均的影响如何,仅就两个空间积分而言,只有将两对不同的积分变量元错弄成了同一对的积分变量元,而且将两个积分的乘积错弄成了两个乘积的积分后才能得到该文的公式(7)即

$$I(\xi, \eta) = \int |f'(x_1, y_1)|^2 \cdot |f(x_1 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2p_0 + h, y_1 d/d_1 + \xi d/d_2 + 2q_0)|^2 dx_1 dy_1$$

结论: 根据上述实验及分析,我们认为:

(1) 如果要求在相关识别中,把是否有亮点出现作为是否相关的判据(一般的光学相关要求如此),那么,在所谓的菲涅耳全息滤波实验中,仅当特征片准确复位,由它产生的

波阵面与照相记录时完全相同时,才能呈现明亮的光点(图 2(a)),也就是说,此系统势必完全丧失平移不变性,更说不上有旋转和尺度变化的不变性了。一句话,这种系统不适用于相关识别。

(2) 如果不要求出现亮点,而以出现内部有复杂结构的光斑为满足,则应指出,不同的特征片具有不同的光斑结构,利用这些光斑作识别判据,其误判率是很大的,根本不能与范德鲁匹配滤波器的系统相比拟。

(3) 菲涅耳全息滤波器设计者已在文献[2]的基础上做了不少工作,例如把图象作预处理和把结果作后处理等,我们认为,只要仍使用菲涅耳全息图作为相关器,则无论怎处理都是达不到相关识别的目的的。

### 参 考 文 献

- [1] Mu Guoguang *et al.*; *«Proc. Int. Conf. Holography Application»*, (Beijing, 1986). 256.
- [2] G. G. Mu *et al.*; *Proc, SPIE*, 1986, Vol. 673, 546.
- [3] 顾去吾;《全息与光信息处理年会文集》,1989,大连,13。
- [4] 顾去吾;《光学学报》,1981, 1, No. 2 (Mar), 135.
- [5] R. Collier *et al.*; *«Optical Holography»*, (Academic Press, New York and London, 1971), 71.

## Experiments and analyses on Fresnel holographic filter

GU QUWU AND CAO JUNQING

(Shanghai Institute of Mechanical Engineering, Shanghai 200093)

(Received 7 January 1991)

### Abstract

This paper describes some experiments and analyses on the Fresnel Holographic Filter (FHF). Its conclusion is that the FHF is not appropriate to be used as a correlator for pattern recognition.

**Key words:** FHF, correlation recognition.