

# 高效率的匹配滤波方法

羊国光 傅绍军 苏永刚  
(中国科学技术大学研究生院)

## 提 要

本文分析了纯相位匹配滤波实现特征识别的物理原因。据此我们修改了待识别物体的傅里叶变换的振幅,以减小光强度的动态范围。同时,保持其傅里叶变换的相位不变。用重铬酸盐明胶记录反射式全息匹配滤波器,从而获得高效率的相关检测。

关键词: 特征识别; 全息图。

## 一、引 言

通常的光学特征识别系统采用匹配滤波方法,其中匹配滤波器的制作是用 Vander Lugt 的傅里叶变换全息图方法<sup>[1]</sup>。由于一般的振幅型全息图是一个低衍射效率系统,因此其匹配相关峰值一般很弱。这对功率有限的激光器的应用,如机载的特征识别系统,机器人的视觉系统等的应用带来了限制。

而数字图像处理的研究表明<sup>[2]</sup>,在连续色调图像的傅里叶变换谱的振幅和相位信息中,相位在保存图像信息中占有更重要的作用。计算机产生的相息图(Kinoform)<sup>[3]</sup>仅利用相位信息就可以综合出任意所需的三维物体,这也同样说明了相位的重要性。

近来,Horner<sup>[4]</sup>等利用计算机模拟进行了纯相位匹配滤波试验。用纯相位,纯振幅以及振幅加相位匹配滤波器分别进行相关计算,结果表明用纯相位进行匹配滤波不仅有极高的相关峰值,而且对不同的特征有更强的鉴别能力。他建议<sup>[5]</sup>采用  $0, \pi$  双值相位近似作纯相位光学匹配滤波。

实际上,我们可以对纯相位匹配滤波过程作如下分析。如待识别的特征为  $S(x, y)$ , 相应的匹配滤波器的传递函数为

$$H(u, v) = S^*(u, v), \quad (1)$$

其中  $S(u, v)$  是  $S(x, y)$  的傅里叶变换, \* 号为复数共轭。即

$$S(u, v) = |S(u, v)| e^{i\varphi(u, v)}, \quad (2)$$

当输入信号为匹配滤波器相应的特征时,刚从滤波器出射的光场为  $SS^*$ 。正如 Goodman 指出<sup>[6]</sup>,  $SS^*$  为实数,这意味着它完全抵销了入射波前偏离平面波的全部弯曲。

实际上,只要

$$H(u, v) = e^{-i\varphi(u, v)}, \quad (3)$$

就能使  $S(u, v) \cdot H(u, v)$  的值为实数。也就是说,这时只要相位补偿就可以达到匹配滤波的目的,而对振幅没有任何匹配的要求。这就是 Horner 之所以能够实现纯相位匹配滤波

的物理原因。

据此,本文用重铬酸盐明胶记录反射式纯相位全息匹配滤波器,从而获得高效率的相关检测。

## 二、实 验

为了提高特征识别系统的效率,可以采用纯相位匹配滤波。这是一种相息图型的相位滤波器,一般难以制作。为了避免这个困难,我们用模拟法制作全息相位匹配滤波器。

在记录傅里叶变换全息图时,为避免过大的动态范围,有人曾采用离焦记录,但结果是损失了特征识别的平移不变性。还有人<sup>[7]</sup>对零空间频率与高空间频率分别用不同强度的参考光速并分别曝光,以达到提高效率的目的。但这结果也不够理想。考虑到上节分析的结果,我们设法修改待识别图形空间频谱的振幅,使其基本均匀分布,同时保持其相位不变,从而大大减小了动态范围。

实验上我们首先用银盐干板在频谱面上记录待识别图形的振幅谱。冲洗后将该干板准确复位,使它成为光强的衰减片。如果干板是线性记录,则透过衰减片的光强度将是均匀分布。但基于动态范围过大的同样原因,用银盐干板的线性记录也是不可能的。由于一般衍射图的零级与高级衍射能量差别很大,只要衰减零级衍射就能减小动态范围,因此衰减片只要记录零级振幅谱。当它准确复位时,傅里叶变换全息图的物光束将是比较均匀的强度分布。

但要进行特征识别,必须记录其相位信息。我们将全息底片紧贴在衰减片后,即使衰减片有较精细的空间结构,但底片处于衍射的非涅耳深区之中,这就保证了经衰减片后的相位保持不变。为了记录相位信息,我们从全息底片的背面引入参考光束,制作成反射型全息匹配滤波器。本实验的记录光路如图 1 所示。

为了获得高衍射效率,采用重铬酸盐明胶作为全息记录材料。实验中用 Kodak 649F 全息干板,经处理洗去其上的银盐,保留明胶层,再作重铬酸铵敏化处理而得<sup>[7]</sup>。记录时用 Ar 离子激光器的 4880 Å 谱线曝光。由于通常的重铬酸盐明胶工艺在显影后的乳胶膨胀,而引起反射全息图的中心波长向长波方向移动。在本工艺中中心波长移至 5200~5300 Å。由于反射全息图的衍射效率对再现光的波长十分敏感,故要求记录光与再现光的波长匹配。为此,在明胶片显影并烘干(70°C)后,再在 100°C 下继连烘烤,使乳胶逐渐收缩。经适当时间烘烤,乳胶将收缩至适当厚度,可以保证波长匹配。

本实验采用英文字母“O”作为待识别的特征(图 2),用它制作相位型匹配滤波器。用图 3 的光路进行相关识别。由于采用反射型的滤波器,故在全息图的前面进行相关检测。当

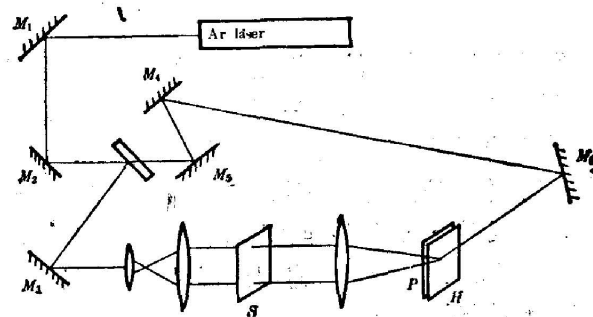


Fig. 1 Optical arrangement of match filter recording, S-object, P-attenuation plate, H-holographic plate

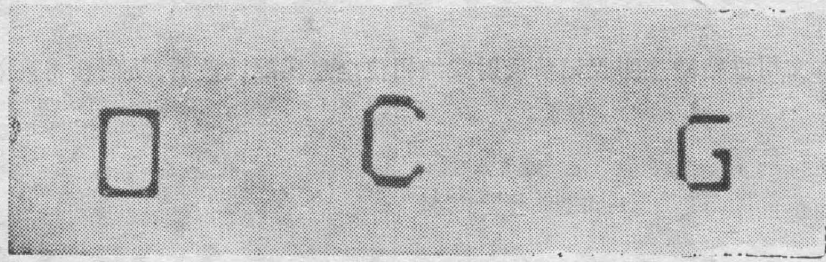


Fig. 2 Characters for pattern recognition

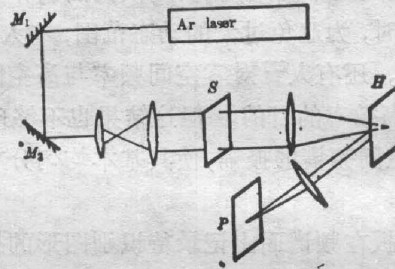


Fig. 3 Optical pattern recognition system using reflection phase match filter,  $S$ -signal for recognition,  $S$ -match filter,  $S$ -correlation plane

用原图形与该匹配滤波器作相关时,衍射效率为 45%。

为了比较该系统对不同特征的鉴别能力,我们用相似的“O”与“G”(图 2)作输入,与“O”字滤波器相关。如定义“O”与“O”的滤波器相关值为 1,则“O”与“O”的滤波器的相关值为 0.8,“G”与“O”为 0.7。可见,这种相位匹配滤波对不同的特征具有相当好的鉴别能力。

### 三、讨 论

重铬酸盐明胶反射全息图的衍射效率原则上可以达到 100%。由于本文实验条件的限制,衍射效率只达 45%,但这不是本方法的极限。采用更仔细的工艺处理,原则上本文描述的实验方法可以达到更高的衍射效率。因此,与通常的振幅型匹配滤波的极限衍射效率为 6% 相比,本文的方法是一种高效率的匹配滤波方法。

利用反射全息图制作匹配滤波器还有几个好处。一是光路折回,可以缩短光学系统,使它更为紧凑。二是反射全息图对再现光的波长有很强的选择性,因此本文的方法可以用白光点光源进行特征识别。

### 参 考 文 献

- [1] Vander Lugt; *IEEE Trans. Inf. Theory*, 1964, **IT-10**, No. 2 (Feb), 139.
- [2] A. V. Oppenheim and J. S. Lim; *Proc. IEEE*, 1981, **69**, No. 5 (May), 529.
- [3] L. Lesem *et al.*; *IBM. J. Res. Dev.*, 1969, **13**, No. 3 (Mar), 150.
- [4] J. L. Horner and P. D. Gianino; *Appl. Opt.*, 1984, **23**, No. 6 (Mar), 812.
- [5] J. L. Horner and P. D. Gianino; *Appl. Opt.*, 1985, **24**, No. 6 (Mar), 851.
- [6] J. W. Goodman; 《傅里叶光学导论》, (科学出版社, 1976 年)。
- [7] J. L. Horner; *Appl. Opt.*, 1982, **21**, No. 24 (Dec), 4511.
- [8] L. Solymar and P. D. Cooke; “Volume Hologram and Volume Grating” (Academic Press, 1981).

## A match filtering method with high efficiency

YANG GUOGUANG, SU YONGGANG AND FU SHAOJUN

(Graduate School, University of Science and Technology of China, Beijing)

(Received 22 October 1985; revised 26 April 1986)

### Abstract

The physical justification of pattern recognition with a phaseonly match filter is analysed in this paper. In the experiment the amplitude of Fourier transform of object is modified to reduce the intensity dynamic range, while phase information is preserved. The holographic match filter was made by dichromatic gelation. The high efficiency correlation is obtained by using this method.

**Key Words:** Pattern recognition; Hologram.