

3f 多路光电混合实时模式识别系统

王汝笠 华铁均 王 君 陈高峰 秦伟芳

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要: 介绍一种新型的 3f 多路光电混合实时模式识别系统. 采用一平面微透镜列阵器件得到输入物体的多路傅里叶变换, 匹配滤波器是构造在石英基片上的石英 BPOF. 该系统实现输入图像与存储的多个参考图像的实时并行相关.

关键词: 相关, 模式识别, 光电混合, 匹配滤波器.

引言

实时信号处理是当今信息科学的一个十分重要的应用基础研究课题, 光电混合技术是实时图像处理最有效途径之一. 光相关器是一种成熟的模式识别系统, 在光学模式识别系统的具体应用中, 主要限制是对识别目标所要求的存储容量以及实现存储的具体方法. 利用光学匹配滤波器存储容量大的优点, 加上多路匹配技术, 人们已提出了多种光学模式识别系统, 这些系统可以实现输入物体和一组参考物体的同时相关. 人们还提出了把多个图像或一个物体的多种投影的图像合成到一个匹配滤波器中, 以增大存储容量.

我们使用一个平面微透镜列阵 (3×3) 同时得到输入物体的 9 路傅里叶变换^[1,2], 采用超大规模集成电路技术把二元纯位相匹配滤波器 (BPOF) 列阵 (3×3) 构造在石英基片^[3]上. 我们把 4 个图像或一个物体的 4 种投影图像合成到一个匹配滤波器上, 这样我们的光学系统就可以并行地实现一个输入物体同时和 36 个参考物体的相关, 参考物体可以是不同的物体, 也可以是同一物体的不同投影图像. 由于 3f 系统与 4f 系统相比具有体积小、易准直和调试等优点, 因而我们采用 3f 系统. 本文中我们先介绍系统的结构和原理, 再介绍计算机模拟结果和实验结果.

1 系统结构和原理

最经典的光学相关器是如图 1 所示的标准 4f 光相关器, f 是傅里叶变换透镜的焦距, P_1 是输入平面, L_1 是傅里叶变换透镜, P_2 是匹配滤波面, 匹配滤波器位于此滤波面上, L_2 是傅里叶反变换透镜, P_3 是相关面.

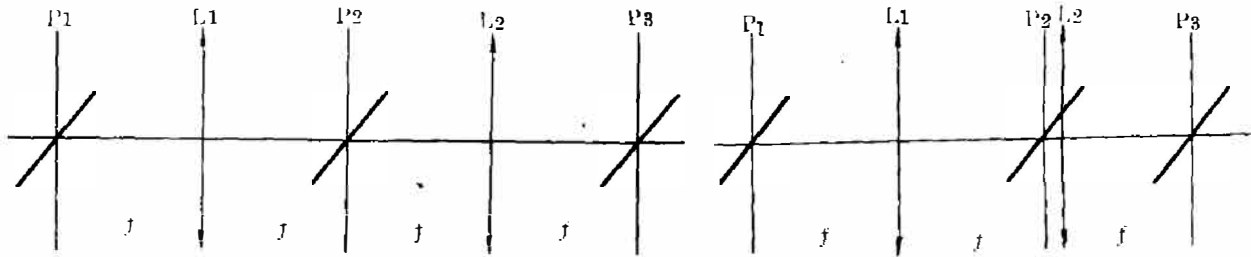


图1 4f光相关器

Fig. 1 4f optical correlator

图2 3f光相关器

Fig. 2 3f optical correlator

如果我们把透镜 L_2 移到 P_2 面处，在相关面上将引进位相因子 $\exp[jk/2f(x^2 + y^2)]$ 。由于在相关面上我们看到的只是光密度而不是光的振幅，因而引进的相位因子对我们的识别没有影响。这样我们就得到了如图 2 所示的 3f 光相关器。

在 3f 系统的基础上，我们研制了如图 3 所示的 3f 多路光学相关器。该系统主要由两大部分组成，即输入物体的多路傅里叶变换部分和多路相关部分。

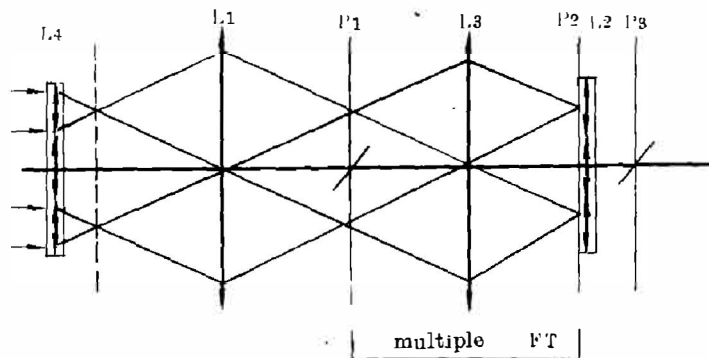


图3 3f多路光学相关器

Fig. 3 3f multiple optical correlator

用一微透镜列阵 (3×3) 器件和两个传统的透镜来得到输入物体的多路傅里叶变换。微透镜列阵 L_4 和透镜 L_1 产生不同方向的照明光，照射到位于 P_1 面上的输入物体，再经过透镜 L_3 ，在 P_2 面上就得到了输入物体的多路傅里叶变换 (3×3)。

二值化纯相位匹配滤波器列阵 (3×3) 位于多路傅里叶变换面 P_2 上，每个匹配滤波器和一路傅里叶变换相对应，傅里叶反变换微透镜列阵 (3×3) 亦位于此面上，这样在相关面上就得到了输入物体的多路相关。

2 计算机模拟

这一部分我们给出计算机的模拟结果。由于每一路的原理都是一样的，所以我们只模拟 9 路中的一路。用于制作匹配滤波器的图像是图 4 的 4 架飞机，图像是二值化的，对其

按 128×128 点进行采样. 对得到的 128×128 点进行二维快速傅里叶变换, 即

$$F_{mn} = \sum_{j=-J/2}^{J/2-1} \sum_{k=-K/2}^{K/2-1} f_{jk} * \exp\left[-j2\pi\left(\frac{mj}{J} + \frac{nk}{K}\right)\right]$$

$$= C_{mn} + jD_{mn}.$$

其幅值和相位值为

$$\begin{cases} A_{mn} = C_{mn}^2 + D_{mn}^2, \\ \Phi_{mn} = \tan^{-1}(D_{mn} / C_{mn}). \end{cases}$$

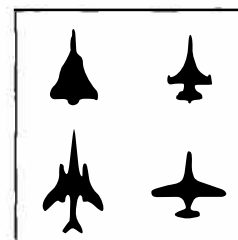


图 4 用于制作匹配滤波器的图像

Fig. 4 Images to be used to make matched filter

取其相位部分, 再进行二值化, 这样就得到了二值化纯相位匹配滤波器 (把二值化相位值保存到磁盘上用于下一部分匹配滤波器的具体制作). 当图 4 中的任何一架飞机 (图 5(a)、(b)、(c)、(d)) 输入时, 在相关面上就得到了图 5(e) 所示的相关峰. 图 6 是图 5(e) 的立体图.

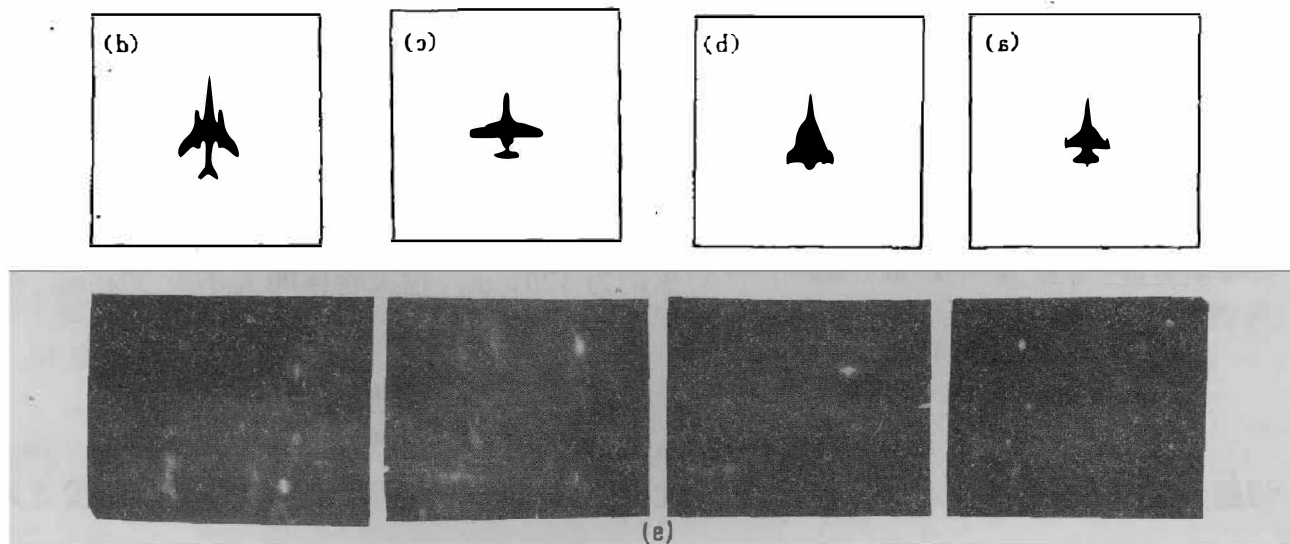


图 5 输入图像及其相关峰

(a)、(b)、(c)、(d) 为输入图像; (e) 为它们的相关峰

Fig. 5 Input images and their autocorrelation peaks

(a), (b), (c) (d): Input images; (e) Autocorrelation peaks

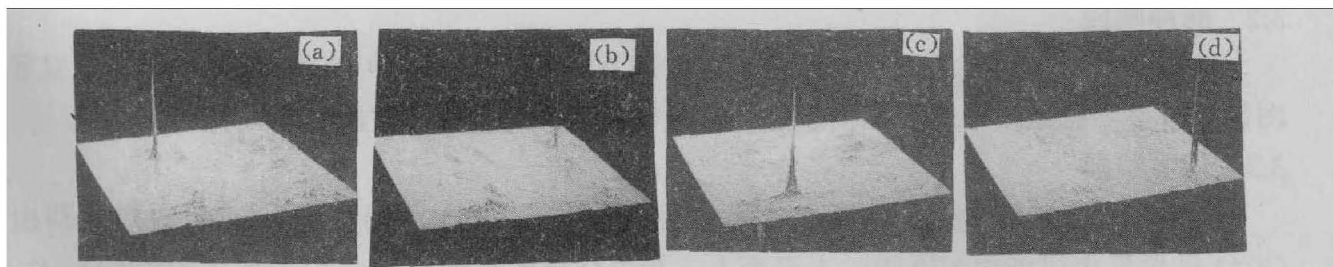


图 6 立体图

Fig. 6 Stereogram

信噪比的定义为

$$SNR = I_{\max} \left(\frac{1}{N} \sum I^2 < 50\% \right)^{1/2}$$

其中 N 是比最大值小 50% 的像素数. 输入图 5 的 4 个物体时, 相关面上的信噪比分别为 100.6、88.5、134.9、165.9.

3 实验结果

3.1 匹配滤波器列阵的制作

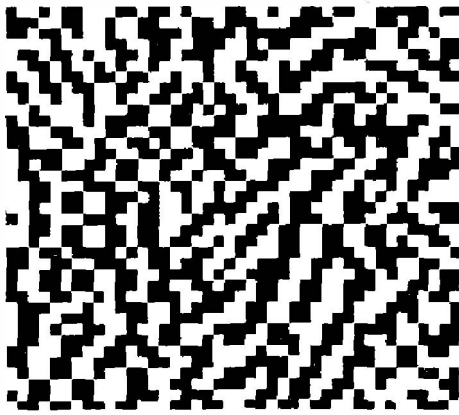


图 7 部分光掩模板

Fig. 7 Part of the photomask

把前一部分得到的二值化相位值进行编码, 得到的光掩模板如图 7 所示, 其中的黑点代表相位 0, 白点代表相位 π .

由于二值化纯相位匹配滤波器对输入物体的大小很敏感, 要使输入物体的傅里叶变换和匹配滤波器的尺寸匹配, BPOF 的像元大小 d 必须满足

$$d = \frac{f}{L} \lambda (\mu\text{m})$$

式中 f 是透镜 L_3 的焦距, λ 是波长, L 是输入物体的大小. 我们所用的激光波长为 $0.633 \mu\text{m}$, L_3 的焦距为 120mm, 输入物体的大小为 32mm, 得到

$$d = \frac{f}{L} \lambda = \frac{0.633 \mu\text{m}}{32\text{mm}} \times 120\text{mm} = 2.3 \mu\text{m}$$

用超大规模集成电路技术把得到的二值化纯相位值的编码构造到石英基片上. 刻蚀深度为

$$h = \frac{\lambda}{2(n-1)},$$

其中 n 是折射率. 于是就得到了大小为 0.3mm ($2.3 \mu\text{m} \times 128$)、刻蚀深度为 $0.7 \mu\text{m}$ 的匹配滤波器. 用同样的方法可以得到其它 8 个匹配滤波器, 这样就得到了 3×3 匹配滤波器列阵.

3.2 脉冲响应

由图 4 制成的匹配滤波器的脉冲响应如图 9 所示. 从图 8 中可以看出脉冲响应是双重图像的重叠, 这是由于二值化引起的. 该图也显示了纯相位滤波器的高频特征.

3.3 相关结果

实验时把 BPOF 放置到傅里叶变换面上, 把图 5(a)、(b)、(c)、(d) 的图形分别由 CCD 摄像机传送到相关器的输入平面上, 相关结果实时地显示在监视器上. 图 9(a), (b) 分别是图 5(b)、(c) 的自相关结果. 图 9(a) 中相关峰在右上角, 图 9(b) 中相关峰在左下角, 结果和计算机模拟一致.

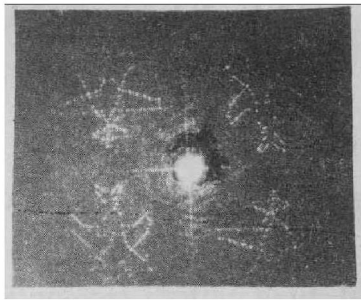


图 8 脉冲响应

Fig. 8 Impulse response

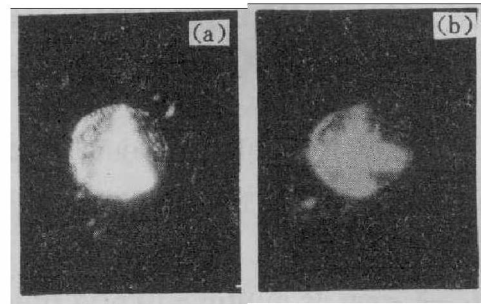


图 9 相关结果

(a) 为图 5(b) 的相关峰, (b) 为图 5(c) 的相关峰

Fig. 9 Correlations (experimental)

(a) Correlation of Fig. 5(b); (b) Correlation of Fig. 5(c)

4 结论

由于构造在石英基片上的二值化纯相位匹配滤波器 (BPOF) 不能被实时地改变, 因而它并不是真正的实时器件, 但由于它能用标准的 VLSI 技术方便地构造, 价格便宜; 并且极易集成化, 适用于多路系统. 而空间光调制器 (SLM) 虽然能被实时地改变, 但它价格昂贵, 得不到高的空间带宽积, 不易集成化, 而且它还必须和计算机接口. 从我们的实验结果可以看出, 对于一定范围内的模式识别问题, 石英 BPOF 可以很好地取代昂贵的实时 SLM 器件.

致谢: 该项目得到郭中原、李正宇、傅艳红等同志的帮助, 在此表示感谢.

参考文献

- 1 Hamanaka K, Nemoto H, Oikawa M et al. *Appl. Opt.*, 1990, **29**:4064~4070
- 2 Hamanaka K, Nemoto H, Oikawa M et al. *Appl. Opt.*, 1990, **29**:4087~4090
- 3 Mary A Flavin, Joseph L Horner. *Optical Engineering*, 1989, **28**:470~473

3f MULTIPLE HYBRID OPTO-ELECTRONIC REAL-TIME PATTERN RECOGNITION SYSTEM

Wang Ruli, Hua Tiejun, Wang Jun, Chen Gaofeng, Qin Weifang

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academic of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: A new 3f multiple hybrid opto-electronic real-time pattern recognition system is introduced. A planar microlens array is used to generate multiple Fourier transforms of the input patterns. The matched filters are binary phase-only filters fabricated by standard VLSI techniques on a fused quartz substrate. This system performs the correlations of the input patterns and many reference images.

Key words: correlation, pattern recognition, hybrid opto-electronic, matched filter.