

集成化光学相关器及匹配滤波器的优化设计*

刘文耀 张以谟 董世洪 刘锡久 王金涛 郝永杰

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 教育部光电信息技术科学开放实验室, 天津 300072)

摘 要 介绍了自制的具有超短光路和折迭式结构的集成化光学相关器。采用蒙特卡罗迭代算法对匹配滤波器进行优化设计, 实验证明, 该方法提高了模式识别的准确度。

关键词 光学相关器, 匹配滤波器, 蒙特卡罗迭代算法、模式识别。

1 引 言

光学模式识别具有并行、高速、宽频带和大容量等优点。针对不同的识别对象和目的, 人们提出了适用于光学模式识别的许多方法^[1-4]。然而, 为实现这些方法, 系统多为 Vander Lugt 光学相关器, 即常规光学相关器, 系统尺寸庞大, 各个光学器件分离固定, 防震性能很差, 从而限制了实际应用。本文研制出新型集成化光学相关器, 它采用超短光路设计和折迭型光路结构。为了提高相关识别的准确度, 采用蒙特卡罗迭代算法对匹配滤波器实行优化设计, 效果良好。

2 集成化光学相关器

集成化光学相关器的超短光学系统^[5]如图 1 所示, P_1 和 P_2 平面处分别放置了液晶显示模块 LCD_1 和 LCD_2 作为空间光调制器, 并用透镜组 L_3 进行相位补偿, 以消除由于缩短光路而引起的二次相位影响。透镜对 L_1 和 L_2 以及 L_4 和 L_5 组成望远型傅里叶变换透镜, 在图 1 中, $X_{(1)H}$ 和 $X'_{(2)H}$ 分别为傅里叶变换透镜的两个主平面 H 到光轴原点的距离。在文献[5]中, 详细论述了当傅里叶透镜组的筒长 k 与焦距 f 之比, 即望远物镜的远距比为 $0.5(k = f/2)$ 时, 光学

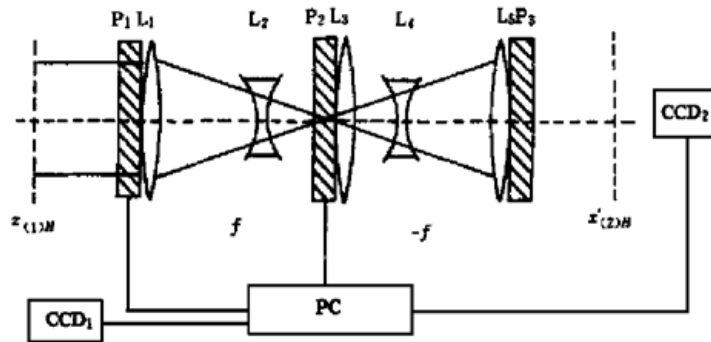


Fig. 1 The shortened optical system of a compact correlator

* 国家科委 863 高科技项目和天津市自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1999-04-07; 收到修改稿日期: 1999-08-18

系统长度缩短约为原长度的四分之一。

新型集成化相关器样机示于图 2 中, 其大小约为 30 cm × 40 cm。图中 1 为激光器; 2 为扩束镜头; 3、6、8 为反射棱镜; 4 为 LCD₁; 5 为缩放镜头; 7、10 为傅里叶变换透镜组; 9 为 LCD₂; 11 为屏 P; 12 为 LCD 的驱动电路。集成光相关器由三大部分组成, 即图像数据运算部件、I/O 和控制电路。

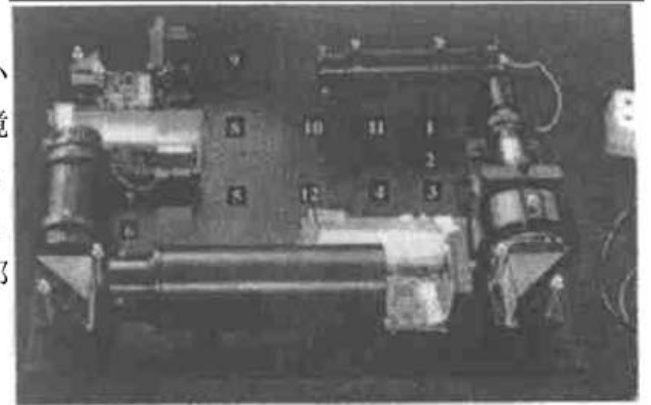


Fig. 2 The photo graph of compact correlator developed in authors' laboratory

3 控制及同步

在集成化光学相关器中, CCD₁、CCD₂、LCD₁ 和 LCD₂ 协同工作才能确保相关器正常工作, 系统的同步驱动与控制显得十分重要。集成化光相关器的工作时序示于图 3 中。

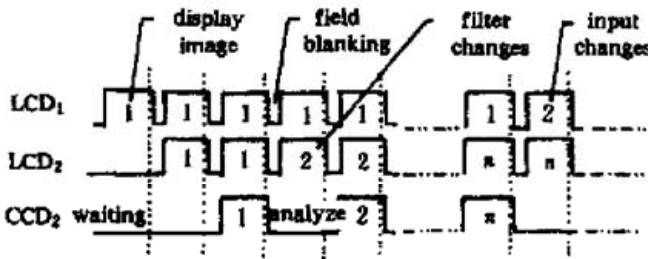


Fig. 3 Working sequences in the compact optical correlator developed in authors' laboratory

被识别的图像由 CCD₁ 经计算机输入到 LCD₁。在 LCD₁ 的时序中, 由 1→2 表示输入图像由一幅转变成新的一幅。同样在 LCD₂ 时序中, 由 1→2 表示更新滤波器数据图像。同步驱动与控制框图示于图 4。系统的同步信号来源于 CCD₂ 的外同步信号, 即先由 CCD₂ 的复合视频信号中分离出同步信号(SYNC), 用于控制整个系统的同步。当然也可以从 CCD₁ 中分离同步信号作为整体系统的节拍。在图 4 中,

图像采集用英文缩写(Image capt.)表示, 同步信号分离用(SYNC separat.)表示, 相位甄别用(Ph. Discri.)表示。

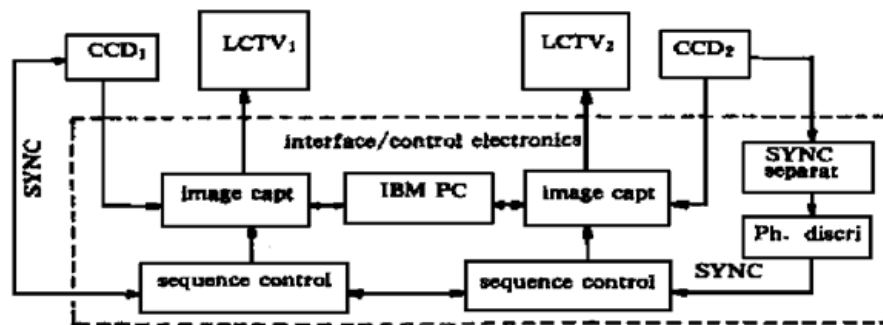


Fig. 4 Scheme of SYNC/Control Electronics in authors' compact optical correlator

4 匹配滤波器的优化设计

集成化相关器采用二值相位匹配滤波器(BPOF)的传递函数 $H(u, v)$, 由下式给出:

$$H(u, v) = |F(u, v)| \exp[-i\theta(u, v)] = \begin{cases} 1, \sin\theta(u, v) \leq 0, \\ 0, \sin\theta(u, v) > 0, \end{cases} \quad (1)$$

其中 $F(u, v)$ 是输入图像 $f(x, y)$ 的傅里叶变换。

在实验中, 如果使用二值相位匹配滤波器, 则相关峰值和信噪比较小, 影响识别准确性。

为了改善这种滤波器,采用蒙特卡罗迭代算法进行优化设计,选择参数 $K(t)$ [由(2)式定义] 为判据,来控制迭代,具体步骤如下:

1) 按照式(2) 计算参数 $K(t)$:

$$K(t) = (P_{\max}^2(t) + R_{\text{SNR}}^2(t))^{1/2}, \tag{2}$$

其中, $P_{\max}(t)$ 为在输出平面 P_3 上 t 时刻相关峰最大值, $R_{\text{SNR}}(t)$ 为信噪比:

$$R_{\text{SNR}}(t) = P_{\max}(t)/\sigma, \tag{3}$$

其中, σ 为输出数据的均方差。优化的目标是尽可能地增大参数 $K(t)$ 的值,实质上,参数 $K(t)$ 为输出平面 P_3 上的信噪比。这是因为

$$K(t) = \sqrt{\sigma^2 R_{\text{SNR}}^2(t) + R_{\text{SNR}}(t)} = \sqrt{(\sigma^2 + 1) R_{\text{SNR}}^2(t)},$$

当 $\sigma^2 \ll 1$ 时, $K(t) = R_{\text{SNR}}(t)$ 。

2) 随机选择滤波器上的一像素 (u, v) , 并进行如下式所示的 0 与 1 的置换:

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & H(u, v) = 0, \\ 0, & H(u, v) = 1. \end{cases} \tag{4}$$

每次只选择一个像素,其它像素保持不变,于是得一新滤波器。

3) 重复 1, 得到新的参数 $K(t)$ 值,并恢复 (u, v) 点处的原始值。

4) 重复 1 到 3, 直到遍历 $H(u, v)$ 所有像元素。在此过程中, 计算

$$K(t) = \max\{K(t)\}, \tag{5}$$

并将保留 $K_{\max}(t)$ 时的 (u, v) 处的值不再复原。

5) 重复 1 到 4, 直到 $K(t)$ 值不再增加为止。

集成化光学相关器将用于车辆交通监测与管理, 即对汽车牌照进行识别与纪录。滤波器的设计主要考虑对高相关字母的滤波器的优化, 如图 5 所示, 输入图像示于图 5(a)、图 5(b) 则为参考图像。从图中可以看出 “P” “F” “E” 与 “B” 均有较大的相似性。

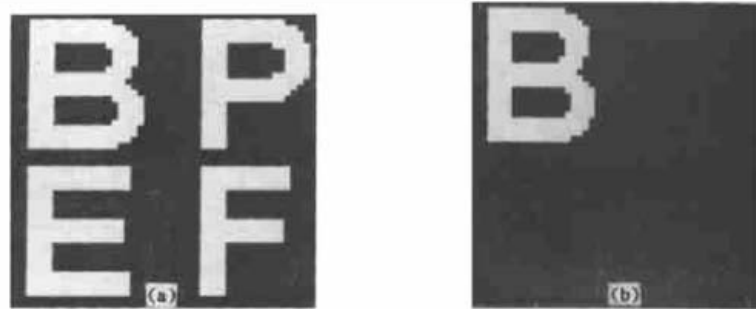


Fig. 5 (a) Input image; (b) reference image

分别采用纯相位滤波器(POF)、二值相位匹配滤波器和优化的二值相位匹配滤波器型匹配滤波器进行实验, 比较结果分别示于表 1 及图 6 中。图 6 为纯相位滤波器、二值相位匹配滤波器和改善型二值相位匹配滤波器的相关峰的三维图形。需要指出的是这三种情况的纵轴坐标尺度是不同的。

Table 1 The comparison among POF, BPOF and optimized BPOF

MSFs	POF	BPOF	Optimized BPOF	MSFs	POF	BPOF	Optimized BPOF
P_{\max}	84.02	27.15	46.92	R_{SNR}	3.7950	3.2015	5.9792

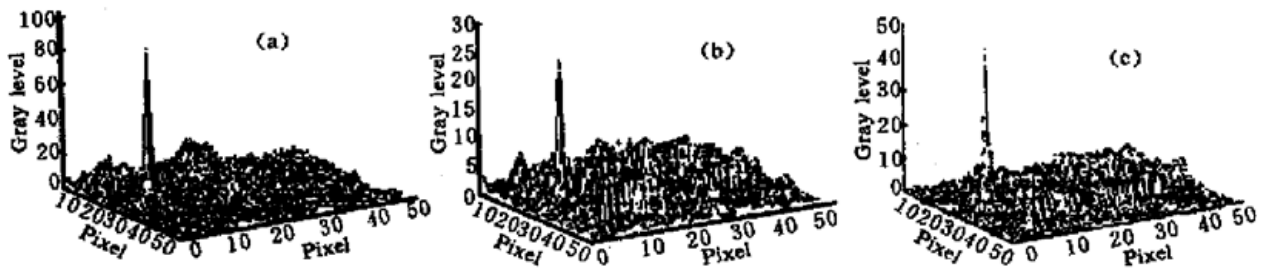


Fig.6 Correlation outputs. (a) POF, (b) BPOF, (c) optimized BPOF

结论 集成光学相关器采用超短光路设计与折迭型光路结构,极大地缩小了尺寸,便于集成化。

优化设计的相关匹配滤波器可增大相关平面(输出)的信噪比和相关峰值,进而提高识别的准确度。

参 考 文 献

- [1] Kumar B V K V. Tutorial survey of composite filter designs for optical correlators. *App. Opt.*, 1992, **31**(23): 4773~ 4801
- [2] Mahalanobis A, Kumar B V K V, Casasent D. Minimum average correlation energy filters. *App. Opt.*, 1987, **26**(17): 3633~ 3640
- [3] Hassebrook L, Kumar B V K V, Hostetler L. Linear phase coefficient composite filters for distortion-invariant optical pattern recognition. *Opt. Engng.*, 1990, **29**(9): 1033~ 1043
- [4] Hassebrook H, Kumar B V K V. Hybrid composite filter bands for distortion invariant optical pattern recognition. *Opt. Engng.*, 1992, **31**(5): 923~ 933
- [5] 李豫华, 刘文耀, 张以谟. 透镜组 Fourier 变换特性及集成化光学系统的进一步修正. *中国激光*, 1998, **A25**(10): 909~ 913
- [6] Lugi A V. Signal detection by complex spatial filtering. *IEEE Trans. Inf. Theory*, 1964, **IT-10**: 139~ 145

Novel Compact Optical Correlator and Optimum Design of Match Spatial Filter for Pattern Recognition

Liu Wenyao Zhang Yimo Dong Shihong Liu Xijiu Wang Jintao Hao Yongjie
(College of Precision Instruments & Optoelectronic Engineering, Tianjin University, Optoelectronic Information Science and Technology Laboratory, MOE, Tianjin 300072)

(Received 7 April 1999; revised 18 August 1999)

Abstract A novel compact optical correlator with a short optical-path system and fold mechanical structure developed in authors' laboratory for pattern recognition is introduced. Experiment shows that the optimized design of MSF by means of Monte Carlo iteration algorithm may greatly improve the accuracy of pattern recognition.

Key words compact optical correlator, Monte Carlo iteration algorithm, pattern recognition.