

光电混合实时模式识别

王汝笠 华铁均

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

介绍一种光电混合实时模式识别系统, 初步实验结果表明: 该系统可以快速实现图象目标的自动分类、型号辨别和旋转不变的图形识别。

关键词: 模式识别, 光学相关器, 目标自动识别。

1 引言

20世纪90年代将是人类进入高级智能信息系统的时代, 自学习、自组织和自联想的模拟人脑活动的未来计算机研究正在加速全球性科技革命的到来, 光学计算机、神经网络计算机的研究便是其典型例子。

尽管光计算技术和人工神经网络计算技术都具有实时、平行处理二维信息和模糊信息的特点。然而, 现在它们均存在各种技术难点, 离开实用还有一定的距离。但是, 目前已有应用光电混合处理技术来实现实时模式识别与模糊或畸变信息的处理。这一技术的突破引起了各国广泛的关注, 因为它除了对军事、空间技术的现代化会带来深远的影响外, 在智能产业——机器视觉的崛起中也将会发挥出极其重要的作用。

我们也积极开展这一信息科学领域前沿课题的研究, 并取得了初步的结果。比如研制成功了光电混合实时模式识别原理样机, 并结合目标自动识别完成了实验室试验。本文将介绍该系统的结构设计和光学相关器, 以及利用该系统所作的几个应用试验结果。

2 系统结构设计

2.1 系统方框图

系统方框图如图1所示, 光电混合实时模式识别系统由成象获取信息、光信息处理和计算机判定与显示三大部分组成。

该系统工作过程是: 先用CCD摄像机获取二值化的图象或图象数据流(可包括从可见光、红外、雷达、激光以及声纳等多种传感装置所取得的图象), 然后经ORT-LOLV(液晶光阀)把图像快速输入到光相关器, 由光学 $4f$ 相关运算系统完成对目标的识别, 其相关峰是

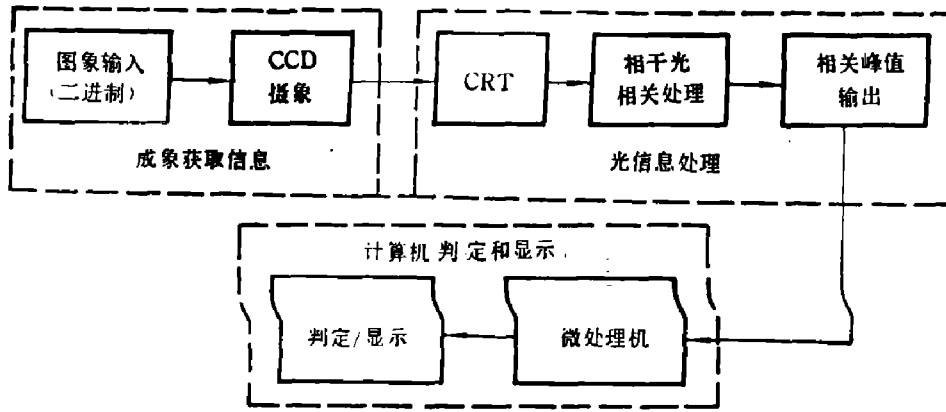


图 1 能够实时识别成象目标的光电混合处理系统原理方框图

Fig. 1 Block diagram of the hybrid electro-optic real-time pattern recognition system

识别目标特征的输出量, 它通过另一个小型 CCD 摄像机获取, 再用视频采集电路传送到

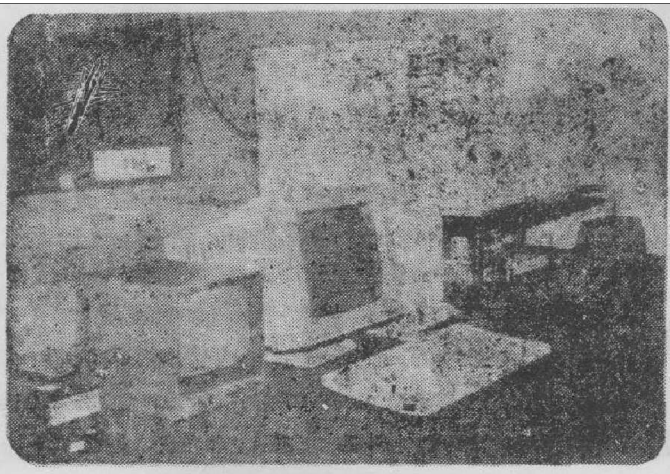


图 2 光电混合实时模式识别系统实物图

Fig. 2 Photograph of the hybrid electro-optic real-time pattern recognition system

微处理机 (PC 386); 最后, 微处理机实时显示出目标及其相应的资料数据, 如图形、名称与相关峰分布图, 等等。

2.2 关键技术和主要技术指标

图 2 是光电混合实时模式识别系统的实物图, 图中箭头所指是相干光相关器。该系统关键技术包括以下三项:

(1) 运用自行提出的几何三维模型 (GTDM) 模式识别的理论方法, 研制成功三维失真不变的纯位相全息匹配滤波器,

(2) 建立全数字计算机仿真同半物理

仿真相结合的新技术路径, 缩短了匹配滤波器研制周期, 提高了识别精度;

(3) 应用光电子和人工神经网络等新技术开展了器件与装置的研制, 如硅基液晶光阀 (Si-LCLV) 和电子人工神经网络角度判定装置的研究。

系统的主要技术指标如表 1 所示。

表 1 光电混合实时模式识别系统的主要技术指标

Table 1 Main technical performances of the hybrid electro-optic real-time pattern recognition system

光相关器体积 (cm ³)	76 × 31 × 33
空间光调制器	液晶光阀 (LCLV)
响应时间 (ms)	Si-LCLV: ~30 Ods-LCLV: ~100
匹配滤波器	多重纯位相匹配滤波器、旋转不变匹配滤波器、GTDM 滤波器
识别目标数 (单个匹配滤波器)	8

3 光学相关器

3.1 基本原理

本文仅讨论在相干光照明下频域信号的处理。因图 3 所示的相干光处理系统对于复振幅呈线性关系,故它能够实现如下的运算:

$$I(x_3, y_3) = K \left| \iint_{-\infty}^{+\infty} g(\xi, \eta) h(x_3 - \xi, y_3 - \eta) d\xi d\eta \right|^2; \quad (1)$$

式(1)中 I 为光强分布, g 为输入函数, h 为人工脉冲函数。

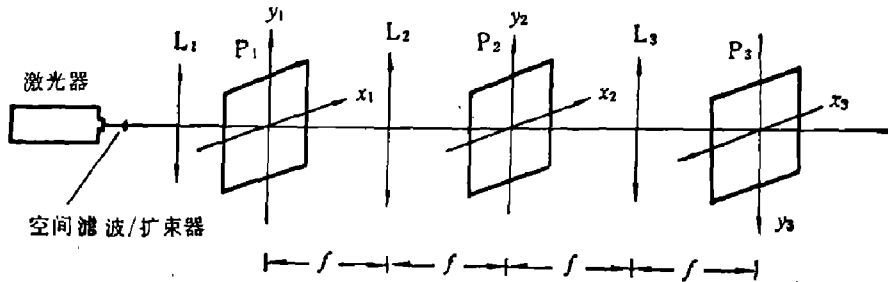


图 3 4f 典型相干光信息处理系统原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the 4f system

运算过程是,先由激光器所产生的单色光经过空间滤波器与光束扩展器以及准直透镜 (L_1) 形成一束平行光,照明物体的输入平面 (P_1),把需要处理的图象放入 P_1 ,再通过第一块傅里叶变换透镜 (L_2) 实现傅里叶变换,即刻在频谱面 (P_2) 上生成一个振幅分布 $K_1 G(x_2/\lambda f, y_2/\lambda f)$ 。显然, G 是作为 g 的傅里叶变换式,即它的频谱。其中 K_1 是一个复常数,假若在 P_2 平面内存有一个滤波器,则会改变频谱 (G) 的振幅与位相。

假设 H 为 h 的傅里叶变换式,那么在频谱面上的滤波器的振幅透射率为

$$t(x_2, y_2) = K_2 H(x_2/\lambda f, y_2/\lambda f), \quad (2)$$

于是,在滤波器后面的振幅分布便与 GH 成正比例关系。因此,傅里叶逆变换透镜 (L_3) 能够将这一振幅分布变换成为 P_3 平面的光强分布 $I(x_3, y_3)$ 。

在光模式识别中,一般应用只注重所探测信号是否存在及其位置等问题,而不强调图象的逼真度。因此,使用纯位相匹配滤波器即可解决实际问题。

再设一个特定信号为 $s(x, y)$, 脉冲响应 $h(x, y)$ 作为一个线性空间不变滤波器。假定

$$h(x, y) = S^*(-x, -y). \quad (3)$$

那么这个滤波器与信号 $s(x, y)$ 就是相匹配的。如果把一输入图象 $g(x, y)$ 加到能够与 $s(x, y)$ 相匹配的滤波器上,这样便会有 $V(x, y)$ 的输出值:

$$\begin{aligned} V(x, y) &= \iint_{-\infty}^{+\infty} g(\xi, \eta) h(x - \xi, y - \eta) d\xi d\eta \\ &= \iint_{-\infty}^{+\infty} g(\xi, \eta) S^*(\xi - x, \eta - y) d\xi d\eta. \end{aligned} \quad (4)$$

显然, 这里的 $V(x, y)$ 是输入图象 $g(x, y)$ 与信号 $s(x, y)$ 的互相关函数, 当 $g(x, y) = s(x, y)$ 时, 则 $V(x, y) \propto SS^*$, 即有自相关函数输出, 它在透镜 L_3 的后焦平面 (P_3) 上将显示一个很锐的亮点. 这里 $S = \{s\}$, $*$ 表示复共轭.

3.2 光路设计和主要功能器件

3.2.1 光路设计

从样机的实用性出发, 我们采用叠式光路设计方案(见图 4). 其中大部分器件能够在市场上买到, 如 He-Ne 激光器, OOD 摄像机等.

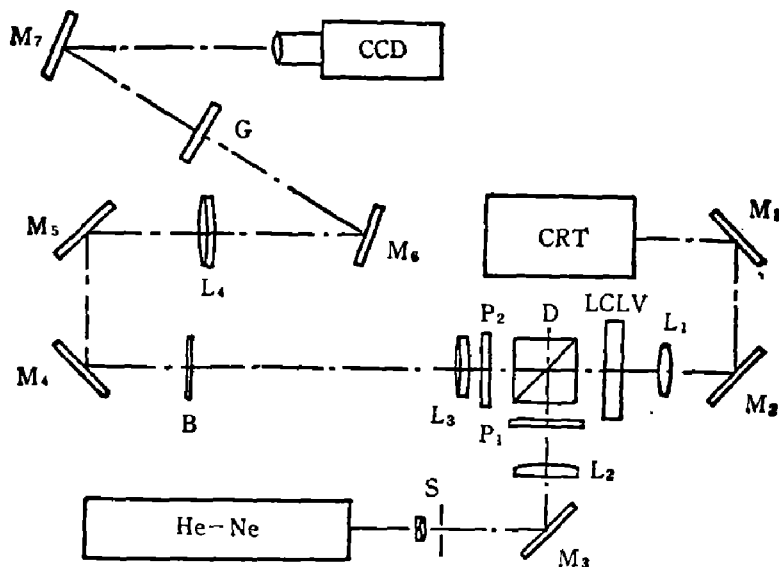


图 4 光相关器折叠式光路示意图

Fig. 4 Folded optical configuration of the optical correlator

$M_1 \sim M_7$: 平面反射镜, L_1 : 成像透镜组, L_2 : 准直透镜, L_3, L_4 : 傅里叶变换透镜, S : 空间滤波/扩束器, P_1, P_2 : 偏振器, D : 分束器, B : 匹配滤波器, G : 投影屏

3.2.2 傅里叶变换透镜

本试验利用国产 300 型傅里叶透镜, 它的性能指标如表 2 所示.

表 2 傅里叶透镜主要技术指标

Table 2 Main technical performances of the Fourier lens

焦距 (mm)	301.85
相对孔径	1/10
最大处理面积直径 (mm)	30
最大频谱面积直径 (mm)	30
最大空间频率 (lp/mm)	78

图 5 和图 6 分别为该傅里叶透镜的点扩散函数与 MTF 曲线图.

3.2.3 空间光调制器——液晶光阀 (LOLV)

空间光调制器 (SLM) 是转换非相干光/相干光的一种重要的光信息处理功能器件. 目前市场上有的一般都是响应时间在 80~100 ms 左右的器件, 例如 CdS-LOLV 和 OdSe-LOLV. 我们试制了两种 LOLV, 即 OdS-LOLV 与 Si-LOLV. 图 7(a) 和图 7(b) 分别是

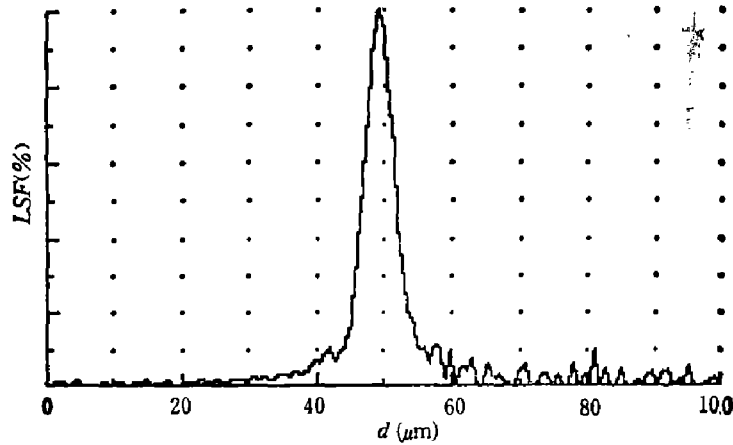


图 5 透镜的点扩散函数曲线

Fig. 5 Point spread function of the lens

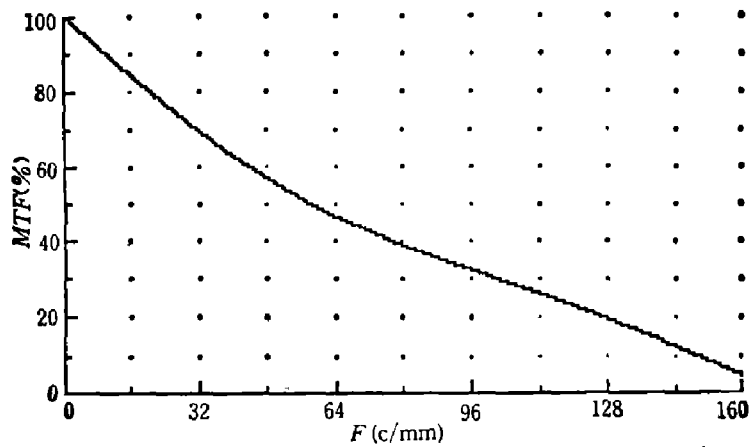


图 6 透镜 MTF 函数曲线

Fig. 6 MTF of the lens

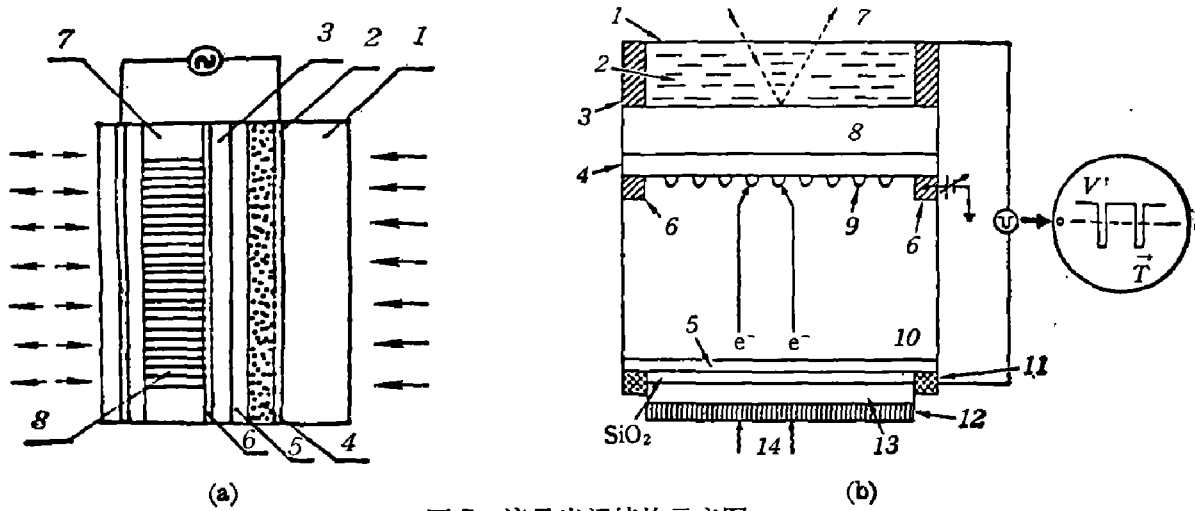


图 7 液晶光阀结构示意图

Fig. 7 Schemato construction of the LCLV

(a) CdS-LCLV

1—玻璃基片 2—透明电极 3—介质反射镜 4—CdS 光敏层 5—CdTe 阻光层 6—定向膜 7—垫圈 8—液晶层

(b) Si-LCLV

1—透明电极 2—液晶光电层 3—绝缘层 4—SiO₂ 门绝缘体 5—薄 P⁺⁺ 背面接触 6—N 环 7—读出光束 8—Si/SiO 介质反射镜 9—N 微二极管 10—n 硅 11—铝基接触热 12—光纤面板 13—光学胶 14—输入光束

CdS-LOLV 和 Si-LOLV 结构示意图.

3.2.4 空间匹配滤波器

1964年, Vander Lugt 利用光学全息原理研制成功光学空间匹配滤波器, 这一技术的提出促进了光学信息处理的迅速发展. 然而, 这种匹配滤波器的搜索空间太大, 而且不能离开物体制作匹配滤波器, 所以它在实用中存有一定的困难. 现在, 应用计算机全息技术能够方便制作各色各样有效的空间匹配滤波器, 如振幅与位相匹配滤波器、纯振幅滤波器以及纯位相滤波器, 等等.

在本系统中, 我们采用了自行设计的纯位相复合滤波器和 GTDM 纯位相滤波器, 能够在 1 cm^2 内容纳 64 个匹配滤波器, 而每一个滤波器可存贮 9 幅图象. 即 1 cm^2 中可以存贮 576 幅图象(见图 8).



(a) 用参考光照明产生的图形

(b) 复合纯位相滤波器图形

图 8 9 架不同型号的飞机被制成一个纯位相匹配滤波器

Fig. 8 Phase-only match filter for nine different model planes

4 试验结果

4.1 目标分类识别

应用原理样机可以实时识别出战斗机、民航客机和导弹(见图 9 和图 10).

4.2 目标型号识别

图 11 显示了由 16 种不同类型的战斗机作为识别目标; 图 12 是它们可以被制成一个复合纯位相匹配滤波器来实现目标的自动识别.

4.3 目标旋转不变识别

由于飞行器存在六个自由度的瞬时变化, 因此研制出目标旋转不变的匹配滤波器是非常重要的. 图 13 是 F-16 C 战斗机在 $0\sim 90^\circ$ 之间旋转时, 运用 GTDM 匹配滤波器对目标能作出正确判定.

当目标从正视向侧视旋转变小时, 利用 GTDM 匹配滤波器可同样被识别(见图 14). 目前, 我们在计算机仿真试验中已经证实了研究一种多目标旋转不变的 GTDM 滤波器是可能的.

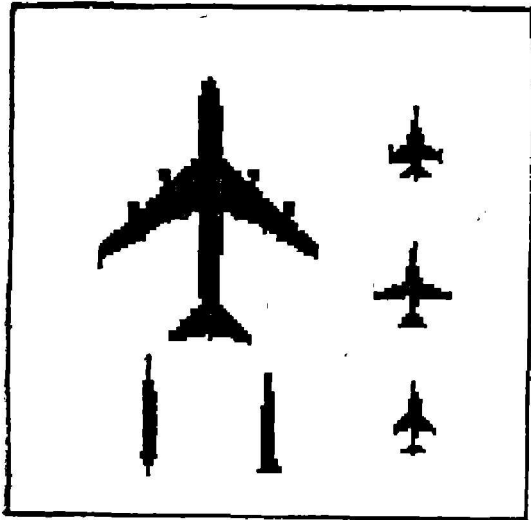


图 9 一架波音 747 客机、二枚导弹和
三架战斗机输入图象
Fig. 9 Input images

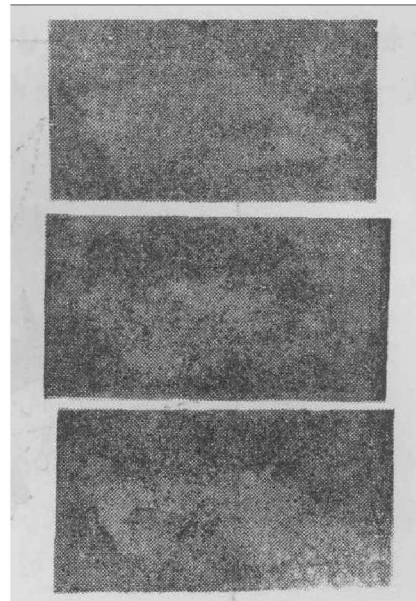


图 10 用一匹配滤波器相关运算得
到的输出峰值

Fig. 10 Output peaks by using the match filter

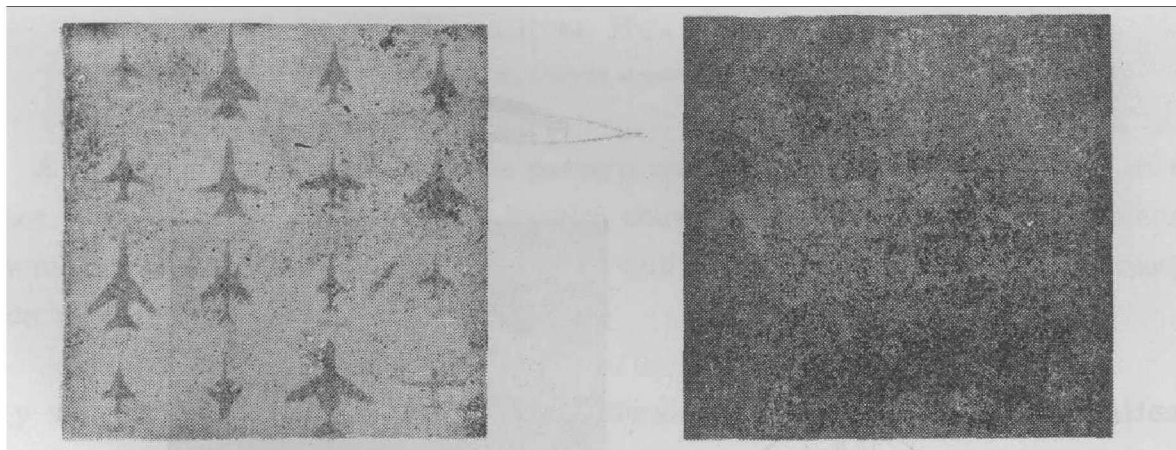


图 11 16 架不同型号战斗机为目
标的输入信号

Fig. 11 Input target of 16 kinds
of model fighter plane

图 12 由同一匹配滤波器识别可获
得的互相关峰

Fig. 12 Cross correlation peaks
by using the same match filter

5 结 语

光电混合实时模式识别技术具有光学技术和数学计算机技术两者的优点，它在目标自动识别应用领域里有着十分可观的开发潜力。

系统的小型化、器件的集成以及提高整个系统的可靠性和容错能力，这是今后研究的主要方向。最后，应该说明的是：光电混合实时模式识别不应仅局限于光与电的结合，还包括同其它多种学科的综合或交叉，比如生物学、心理学，等等。这样做将会在材料、器件和系统诸方面的研究上产生新的发展。

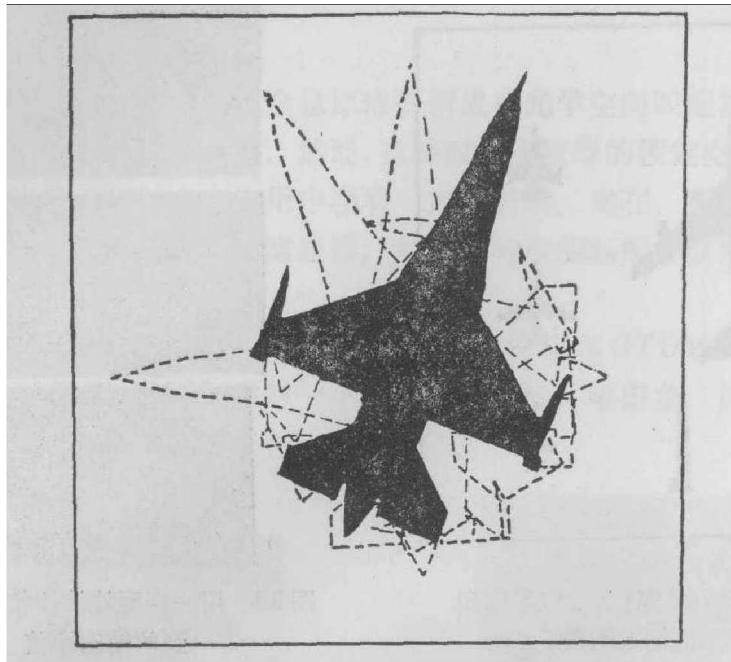


图 13 旋转 F-16c 飞机二值图, 在 0~90° 角度范围内, 利用滤波器能正确判定目标
 Fig. 13 Binary diagram of the rotative F-16C plane

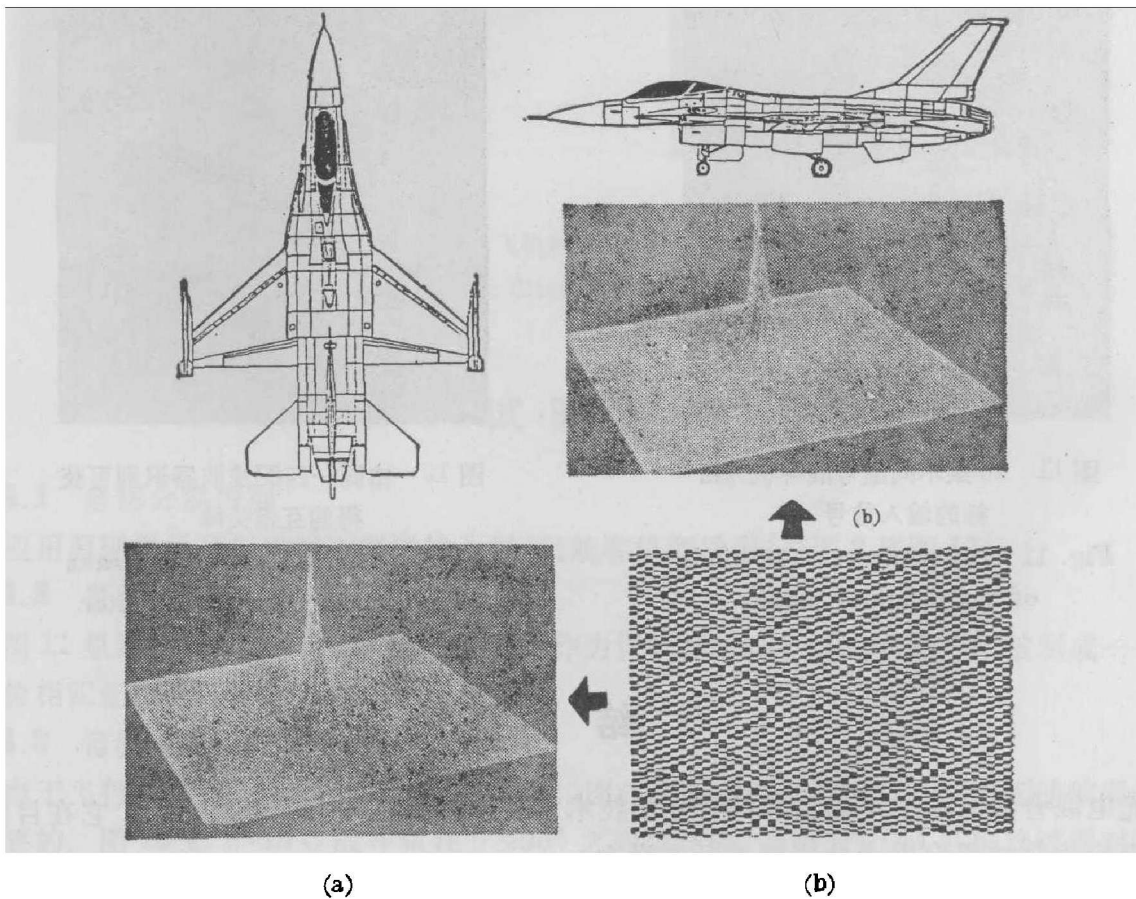


图 14 飞机目标由正视图向侧视转动时用 GTDM 滤波器获得明显相关峰
 (a) 正视目标及相关峰 (b) 侧视目标及相关峰
 (c) 识别不同旋转角度的 GTDM 滤波器

Fig. 14 From the top view to the side view of the cross correlation peaks

致谢: 本工作曾得到匡定波研究员的热情关心和指导, 章明、潘肇玉、卢子峰、余伟国、邵剑心、秦伟芳、郭中原、龚一鸣、李英、陈高峰等同志也参加了本项研究工作, 在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

- 1 Casasent D. *Appl. Opt.*, 1984; **24**: 1620
- 2 Casasent D, Rozzi W, Fetterly D. *Opt. Eng.*, 1984; **23**(6): 716
- 3 Hsu Y N, Arsenault H H. *Appl. Opt.*, 1983; **22**: 2804~2809
- 4 Yunlong Sheng. *Opt. Eng.*, 1989; **28** (5):494
- 5 Suraphol Udomkesmalee. *Opt. Eng.*, 1989; **28** (5):547
- 6 David L Flannery, John S, Loomis, Mary E Milkovich. *Opt. Eng.*, 1988; **27** (4):309
- 7 David Casasent, Brian Telfer. *Appl. Opt.*, 1989; **28**(2):272

HYBRID ELECTRO-OPTIC REAL-TIME PATTERN RECOGNITION

WANG RULI, HUA TIEJUN

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

A hybrid electro-optic real-time pattern recognition system is proposed in this paper. The primary experimental results show that this system can implement automatic classification, model recognition and rotation-invariant pattern recognition rapidly.

Key words: pattern recognition, optical correlator, automatic target recognition.