

# 一种提高光学相关模式识别准确性 的后处理方法\*

刘海松 邬敏贤 金国藩 成 罡 何庆声

(清华大学精密测试技术与仪器国家重点实验室, 北京 100084)

**摘 要** 将基于绝对差算法的最小距离度量方法用于光学相关器产生的相关结果灰度图像的相似性度量, 并以此为依据给出待识别图像与参考图像之间的相似性结论; 避免了传统的以相关峰取阈为判决依据引起的误判现象, 提高了判决准确率, 甚至可以对由灰度图像直接做光学相关得到的低质量相关结果给出准确判断, 从而避免了对灰度图像做二值化及编码处理等烦琐的预处理工作。采用非相干光相关器为光学实现硬件并给出了实验结果。

**关键词** 模式识别, 光学相关, 后处理, 相似性度量, 绝对差度量。

## 1 引 言

模式识别系统在国防、公安、海关、工商业等领域都有广阔的应用前景, 可从事军事侦察、户籍管理、身份认证、快速通关、在线检测等多种工作。其市场广阔, 需求面大。目前, 用于模式识别的数字的和光学的处理器都已较为成熟。数字处理器具有较大的灵活性和准确性; 而光学处理器具有天然的二维并行能力, 其面临的问题是要在更大的动态范围内提高准确性及在现有水平的硬件支持下设计优化算法。

传统的光学相关方法用于目标识别, 由于其相关峰质量不好, 不利于后续处理和判决, 因此提出过多种用于改进相关峰质量的方法, 使相关峰更锐, 旁瓣更小, 信噪比提高等。如 Casasent<sup>[1]</sup>提出的加权滤波器, Horner<sup>[2, 3]</sup>提出的纯相位及二值纯相位滤波器, 母国光等<sup>[4]</sup>提出的振幅补偿匹配滤波器等各种改进型的 Vander Lugt 匹配相关滤波器, Javidi<sup>[5]</sup>将非线性处理用于联合变换相关器, Casasent<sup>[6]</sup>用光学相关实现数学形态学击中击不中变换, 都在一定程度上改善了相关峰质量, 提高了识别能力。但是, 无论采用哪种方法, 在对相关结果的后续处理和判决环节上都很简单, 通常都是对相关峰取阈来判断。本文的目的正是在对光学相关结果的后处理和判决环节上加以改进, 以提高目标识别的准确性。

基于光学相关的目标识别技术, 从对光学相关结果的后处理方法上可分为两类不同的应用。一类是诸如用于精确制导的地图匹配等<sup>[7]</sup>; 另一类是在诸如人脸、指纹识别等身份认证的应用中, 待识别目标图像与预存在图像库中的大量库图像逐一匹配, 从中寻找最为相似的

\* 国家科委 863 高技术及国家自然科学基金(69775008)资助项目。

收稿日期: 1998-03-27; 收到修改稿日期: 1998-06-10

一幅或多幅图像。因此,其相关结果后处理无须搜索整个相关面,只要预先确定出相关峰固定出现的位置,然后只在该固定位置对匹配搜索过程中形成的各个互相关峰作比较和判断,便可得出相似性结论。本文只考虑第二种应用。虽然较前一种简单,但也是第一种应用中相关面后处理步骤中的一个基本组成部分,可以拓展。

## 2 基于相似性度量的灰度图像匹配在相关面后处理中的应用

通常,对相关面后处理的方法是仅探测相关峰一点的光强或其附近很小邻域内的平均光强,然后直接比较各个互相关峰值的大小,决定相似程度,并设定一阈值作为拒识的标准。这种方法虽然简单,但存在两点缺陷。第一,由于注意力只集中在相关峰上而忽略了整个相关面的输出信息,损失了信息量;第二,由于相关判别存在理论上的缺陷,常常导致误判。即一幅图像的自相关峰值不一定大于它与另一图像的互相关峰值,例如字母“F”的自相关峰值就不大于它与字母“E”的互相关峰值。在二值图像匹配识别中,曾提出归一化相关<sup>[9]</sup>及击中击不中变换<sup>[6, 10]</sup>来解决这个问题,使得只有当目标图像与参考图像达到最近匹配时相关峰值才最大。但是在灰度图像匹配时,需要将灰度图像作二值化、编码等大量预处理工作,增加了识别系统的复杂度。

因此,本文提出把相似性度量的方法运用在相关输出面,不是直接比较目标图像与各个库图像形成的互相关峰值大小,而是把目标图像的自相关输出面上相关峰附近一个  $N \times N$  邻域内的函数分布与它和每个库图像的互相关输出面上相关峰附近相同大小邻域内的函数分布逐一做相似性度量,从而反映出目标图像与各个库图像之间的相似性程度。 $N \times N$  邻域大小的选择要以能够充分表达相关面上主要信息量为原则。这种后处理过程虽然比对峰值取阈要复杂,但却可以大大提高判决的准确性。从信息变换的角度来理解,该方法相当于一种光学特征提取与信息压缩、降维的过程。将两幅大尺寸灰度图像直接做相似性度量,需耗费大量时间。利用光学相关,将两者之间的相似性信息集中在相关峰附近一个很小邻域内,再对这些降维后的灰度函数分布做相似性度量,可大大减少计算时间。

本文采用了相似性度量中最简单却很有效的一种方法——基于绝对差算法的最小距离度量,其详细的数学描述,可参见文献[7],本文只给出绝对差度量的计算公式

$$D_A(f, g) = \sum_i \sum_j |f(i, j) - g(i, j)| \quad (1)$$

式中  $D_A$  表示绝对差度量值。 $D_A$  值反映了两幅灰度图像  $f$  和  $g$  之间的差异:  $D_A$  值越小,  $f$  和  $g$  越相似;二者完全相同时,  $D_A$  值为 0。按照前面描述的相关面后处理方法,  $f$  和  $g$  分别对应着目标图像的自相关函数和它与库图像的互相关函数。设目标图像为  $X$ , 库图像集合为  $\{R(t) | t = 1, 2, \dots, T\}$ ,  $T$  为库图像总数,  $X$  与其中任一幅库图像  $R(t)$  的光学相关操作定义为

$$[X \star R(t)](m, n) = \sum_i \sum_j X(m + i, n + j) \times R(t)(i, j) \quad (2)$$

其中  $[X \star R(t)](m, n)$  为相关结果图像中坐标为  $(m, n)$  点的灰度值,  $\star$  表示相关操作,  $\times$  表示乘法运算。由此, (1) 式中  $f(i, j)$  和  $g(i, j)$  可分别表示为  $[X \star X](m, n)$  和  $[X \star R(t)](m, n)$ 。(1) 式可改写为

$$D_A(t) = \sum_{m=-N/2}^{N/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} |[X \star X](m, n) - [X \star R(t)](m, n)| \quad (3)$$

其中  $N$  为所取邻域大小。最终判据  $\eta$  可写为

$$\eta = \{r | D_A(r) = D_A(t)_{\min}, \quad t = 1, 2, \dots, T.\} \quad (4)$$

$r$  表示图像库中与目标图像最相似的一幅图像的序号。当然,也可给出一拒判阈值,以表明图像库中无一与目标图像相似。

### 3 光学实验装置及实验结果

本文采用的光学实验装置是基于非相干光相关器的光电混合目标识别仪<sup>[8, 11]</sup>。图1为系

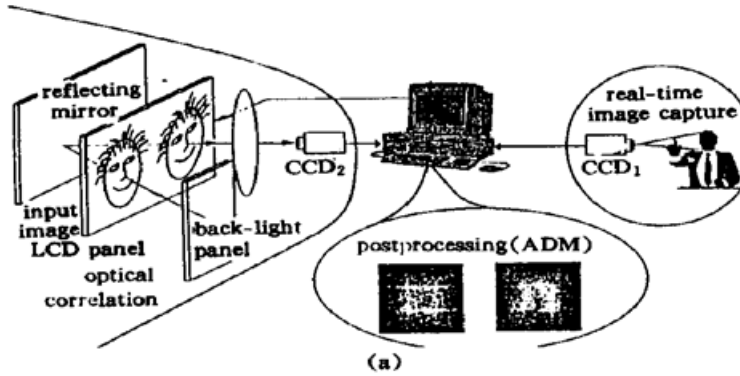


Fig. 1 An incoherent optical correlator based on optoelectronic hybrid pattern recognition processor

统示意图。它以计算机为控制中心,依次分成三个主要功能模块:实时采集模块、光学识别模块和后处理模块。其工作过程为:摄像机 CCD<sub>1</sub> 实时采集待识别目标,通过图像板送入计算机,再送到液晶屏 LCD 的目标图像位置上显示。从计算机存储器中逐一调出库图像,在液晶屏的库图像位置上播放,则在 CCD<sub>2</sub> 的探测面上将得到各个库图像与目标图像的光学相关结果。依次采集各相关图像,并用上一节中描述

的绝对差度量方法进行比较,从中寻找出与目标图像最为相似的一个或几个库图像。有关非相干光相关器的原理及结构设计,曾在文献[8]和[11]中作过详细描述。本文所不同的是,前者是利用光学相关器,通过采用空间广义互补编码的方法,来实现用于目标识别的数学形态学击中击不中变换的算法,灰度图像必须先编码为二值图像后,才能送入相关器进行运算,预处理过程复杂;而本文由于采用了对相关面的相似性度量,使得可以直接以灰度图像送入相关器运算,省却了预处理过程的麻烦,且克服了传统上由于光学相关效果不理想而无法直接使用非相干光相关器对两幅灰度图像做相关匹配的困难。另外,由于采用了多通道相关的结构<sup>[11]</sup>,不仅充分利用了液晶屏的工作幅面,而且提高了识别速度,更加体现了光学方法的并行性和快速性。

CCD<sub>2</sub> 采集相关面时,由程序控制读取相关面上指定位置点的灰度值。程序设置两个控制参数,即相关峰邻域范围  $R_a$  和采样点间隔  $S_t$ 。如  $R_a = 32$  和  $S_t = 4$ ,则意为程序从相关图像中沿水平和垂直两个方向均以 4 个像素为间隔采样,读取覆盖相关峰函数分布的一个  $32 \times 32$  邻域范围内的  $8 \times 8$  (共 64) 个点的灰度值,并对由这  $8 \times 8$  个点构成的灰度图像做绝对差度量。实验中设置了不同的邻域范围值和采样步长值,得出两点结论:1) 邻域范围以刚好能够完全覆盖相关峰为最佳,实验中为  $24 \times 24$ 。这与理论上信息包容量越大,判断结果越准确相符合。当超过这一范围后,相关面上信息量急剧减少,再增大探测范围,准确率也不会有明显增加。2) 采样步长的选择存在一最优值,实验中以 3、4 个像素为佳。当邻域范围一定时,步长的增加意味着采样点数的减少,必然影响判识的准确率,但运算速度会随之提高;反之亦然。在运算速度与准确率这一对矛盾之间,存在一最佳折中值。从运算速度方面看,基本上与采样点数的增加成比例;而准确率则不然,并非与采样点数成比例,只需恰当地抽样,就可基本反映相关峰邻域的全貌,无须高密度采样。

采用这种相关面后处理方法,系统可以直接对灰度图像做光学相关匹配,且识别准确率达到 95% 以上,即当使用目前存储的 200 个库图像逐一作为测试目标图像输入系统,在库中

搜索时, 其中有 191 个被系统认出并排在第一位, 另有 5 个和 1 个分别排在第二、三位, 只有 3 个没有被认出在前三位以内。作为对比, 实验中采用了对相关峰取阈的后处理方法, 结果准确率大大降低, 只有不到一半的库图像被认定在前三位以内(78 个)。这主要是由于光学相关系统对灰度图像直接相关得到的相关结果质量较差, 如图 2(d)、(e) 所示, 用肉眼几乎无法区分出自相关峰与互相关峰的差别(图中相关峰均为黑点, 是为了克服 CCD 对亮点过饱和而采取的措施, 即先将输入图像求反再做光学相关的结果<sup>[11]</sup>)。图 2 中(a) 为待识别目标图像, 像素数为  $128 \times 128$ , (b) 为四幅像素数均为  $64 \times 64$  且与(a) 相同的参考图像; (d) 为(a) 和(b) 的相关结果, 以其中四个自相关峰附近的灰度分布作为该位置的比较标准。在(c) 与(a) 的相关结果(e) 中, 左上角相关峰邻域的灰度分布与标准最相近, 从而可以判断出(c) 中左上角图像与目标最相似。由于相关峰可视度太低, 肉眼难以分辨, 因此分别对(d) (e) 做了先求反再局部取阈数字化处理, 得到(f) 和(g) 以显示自相关峰的相对位置。

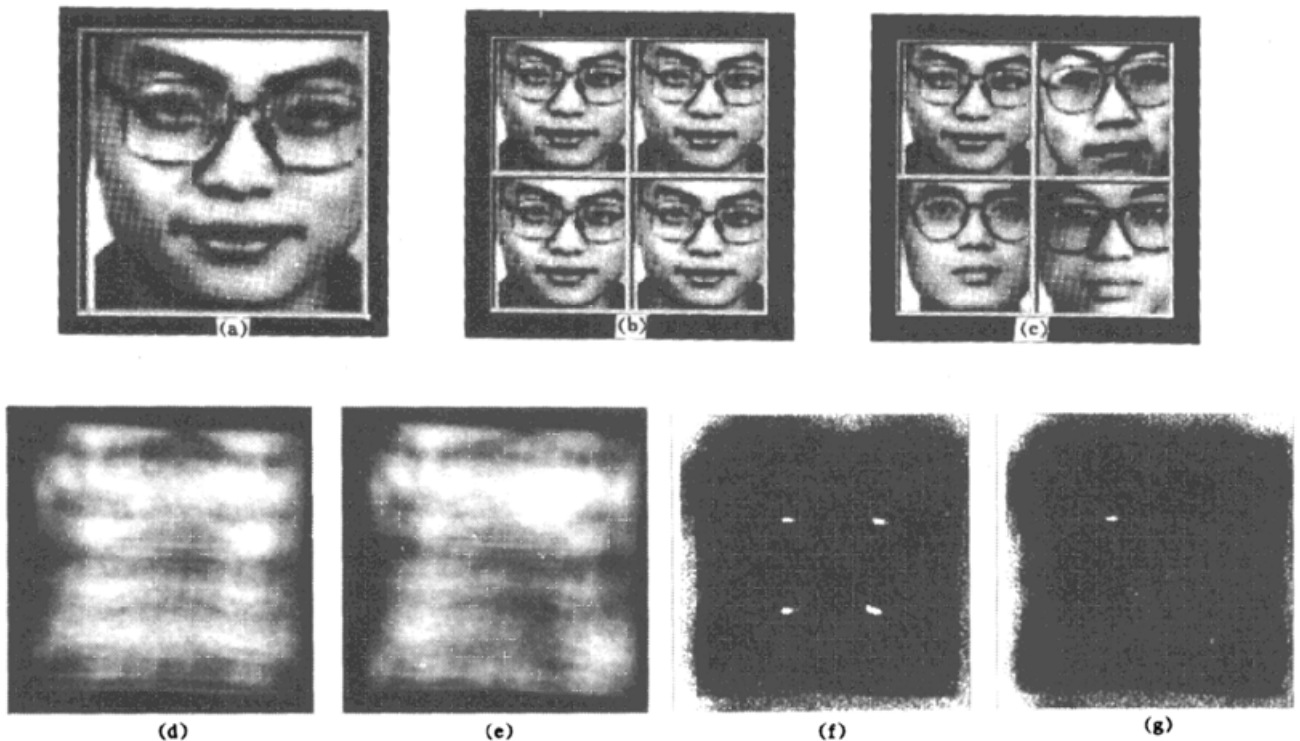


Fig. 2 Optical experimental results, (a) An input image to be recognized; (b) Four copied images of (a) which are used to form autocorrelation images; (c) One of the datasets images in which the top-left corner image is the same as (a); (d) Autocorrelation image between (a) and (b), in which four dark points shown by circles represents the autocorrelation peaks; (e) Crosscorrelation image formed by (a) and (c), in which the top-left corner part has the most similar correlation peak like that in (d); (f) and (g) are the locally thresholded versions of (d) and (e), after complemented respectively; they are used to show the relative positions of the autocorrelation peaks in (d) and (e)

**结 论** 本文将基于绝对差度量的灰度图像匹配方法用于光学相关结果的相似性度量, 并以此为依据给出目标图像与各个库图像之间的相似性结论, 避免了原来以相关峰取阈为判据所引起的误判现象。这种后处理方法可以提高判决准确率, 尤其是对由灰度图像直接做光学相关得到的结果也能准确判断, 从而免去了对灰度图像做编码、二值化等烦琐的预处理工作。

将该方法应用于所研制的基于非相干光相关器的光电混合目标识别仪上,在保持原有判决准确率的基础上,由于无须编码预处理操作而节省了识别时间,因而在实时应用中很重要。

### 参 考 文 献

- [1] Casasent D. Frequency-multiplexed and pipelined iterative optical systolic array processors. *Appl. Opt.*, 1983, **22**(1) : 115~ 124
- [2] Horner J L, Gianino P D. Phase-only matched filtering. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(6) : 812~ 816
- [3] Horner J L, Leger J R. Pattern recognition with binary phase only filters. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(5) : 609~ 611
- [4] Mu Guoguang, Wang Xuming, Wang Zhaoqi. Amplitude-compensated matched filterin. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(16) : 3461~ 3463
- [5] Javidi B. Nonlinear joint power spectrum based optical correlation. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(12) : 2358 ~ 2367
- [6] Casasent D, Schaefer R, Sturgill R. Optical hit-miss morphological transform. *Appl. Opt.*, 1993, **31**(35) : 6255~ 6263
- [7] 孙仲康, 沈振康. 数字图像处理及其应用, 北京: 国防工业出版社, 1985. 233~ 254
- [8] 刘海松, 邬敏贤, 金国藩等. 基于广义互补编码的目标识别处理器. 中国激光(A), 1999, **26**(3) : 283 ~ 287
- [9] Dickey F M, Romero L A. Normalization correlation for pattern recognitions. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(15) : 1186~ 1189
- [10] Liu Liren. Morphological hit-or-miss transform for binary and gray-tone image processing and its optical implementation. *Opt. Engng.*, 1994, **33**(10) : 3447~ 3455
- [11] Liu Haisong, Wu Minxian, Jin Guofan *et al.*. Real-time optoelectronic morphological processor for human face recognition. *Opt. Engng.*, 1998, **37**(1) : 151~ 157

## A Postprocessing Method for Improving the Accuracy of the Optical Correlation Pattern Recognition

Liu Haisong    Wu Minxian    Jin Guofan    Cheng Gang    He Qingsheng

(State Key Lab. of Precision Measurement Technology and Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

(Received 27 March 1998; revised 10 June 1998)

**Abstract** Minimal distance measure method based on an absolute difference measure is applied to the similarity measure among the optical correlation resultant images, and then the similarity conclusion between the image to be tested and the reference image can be deduced. By this method, the false recognition which often occurs when the traditional correlation peak thresholding method is used, can be avoided and the recognition accuracy can be greatly improved. Even the low quality correlation output between two gray scale images can be processed so that the complex preprocessing of the gray scale images, such as the binarization and encoding, can be omitted. The optical experimental results implemented on an incoherent optical correlator are given.

**Key words** pattern recognition, optical correlation, postprocessing, similarity measure, absolute difference measure.