

基于广义互补编码的目标识别处理器*

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)

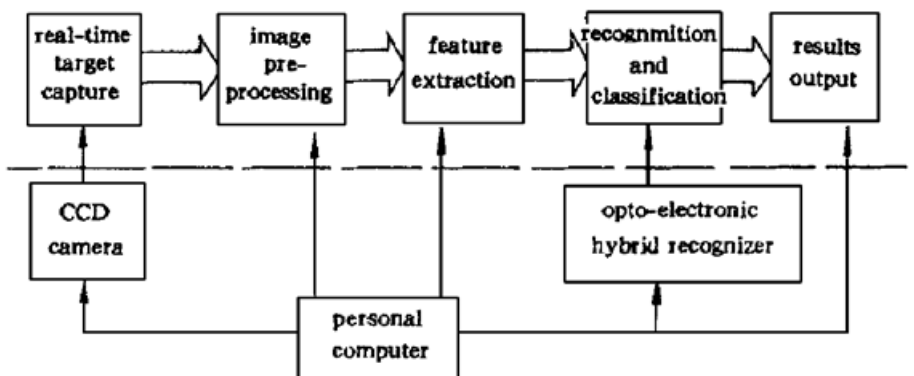
提要 提出一种广义互补编码方法,用于一步实现数学形态学击中击不中变换,并以非相干光相关器为光学实现硬件,利用液晶投影板作为实时空间光调制器,研制了一台光电混合目标识别处理器。实验结果表明识别率大于 90%,并对带有 40% 噪声,50% 缺损和 6° 以内旋转的图像甚至不同表情的人脸图像均能识别。

关键词 目标识别,形态学,击中击不中变换,广义互补编码

目标识别系统在公安、海关、国防、工商业等各个领域都有广阔的应用前景,可从事寻找罪犯、快速通关、户籍管理、电子门卫、军事侦察与预警、身份认证、在线检测等多种工作,市场广阔,需求面大。单纯使用计算机,利用神经网络或人工智能等软件算法进行目标识别工作,计算工作量大,耗费机时较多。采用光电混合系统进行此项工作,可兼有光学的并行性、快速性和电子学灵活性的优势,特别适用于快速、大容量的目标识别工作。

对光电混合目标识别系统的功能,可以概括为实时获取待识别目标,自动完成在数据库中的查找和识别,在较短时间内给出与待识别目标相似的子集,供工作人员最后确定。识别系统的框图如图 1 所示。框图中粗箭头表示光学数据流,细箭头表示电学控制流。以计算机为控制中心,CCD 摄像机实时采集待识别目标,计算机进行图像预处理和必要的特征提取工作,而后交由光电混合识别仪进行识别,最后是识别结果的直观输出。与计算机目标识别系统的关键不同之处就在于利用光电混合识别仪代替计算机做大计算量的匹配工作,从而节省时间,实现快速识别。

图 1 光电混合识别系统框图
Fig. 1 Diagram of the opto-electronic hybrid recognition system



* 国家科委 863 高科技项目(863-307-14-4)及国家自然科学基金(69775008)资助课题。

本文研制的光电混合识别仪,其理论依据是广义互补编码击中击不中变换,光学实现系统是非相干光相关器。

1 广义互补编码击中击不中变换

一个二值场景图像 X 被另一待识别二值图像 P 的击中击不中变换定义为

$$X \odot P = (X \ominus F) \cap (\bar{X} \ominus B) \tag{1}$$

其中 \bar{X} 是 X 的反图像, F 和 B 分别是 P 的前景和背景图像, \odot 代表击中击不中变换, \ominus 和 \cap 分别指数学形态学中的蚀操作和交操作。 X 与 P 匹配的关键条件是: 前景 X 与 $F(X \ominus F)$ 和背景 \bar{X} 与 $B(\bar{X} \ominus B)$ 同时得到匹配。 F, B 通常定义为

$$F = P \quad B = \bar{P} \tag{2}$$

代入(1)式得

$$X \odot P = (X \ominus P) \cap (\bar{X} \ominus \bar{P}) \tag{3}$$

由上式可见, 击中击不中变换一般需要二次蚀操作和一次交操作三步完成。在光学形态学处理中, 蚀操作可用光学相关实现, (3) 式可写成

$$X \odot P = (X \star P + \bar{X} \star \bar{P})|_{T=h} \tag{4}$$

其中 \star 代表相关操作, $T = h$ 指对输出结果取高阈值非线性处理。为简化操作步骤, 曾提出过多种方法^[3-5], 其中袁石夫^[4]的互补编码方法和刘立人^[3]的双通道相关方法均可一步实现。

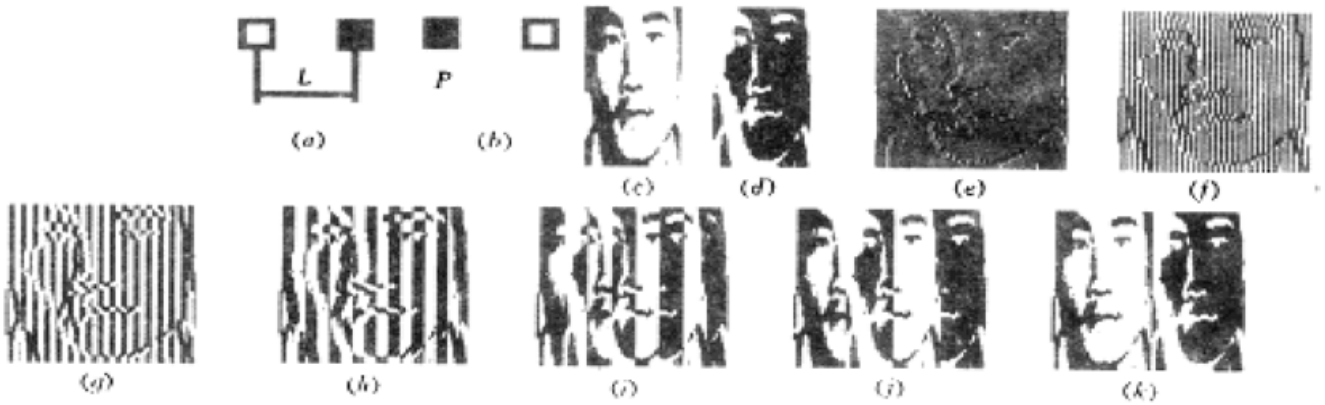


图 2 广义互补编码示意图

Fig. 2 Figure examples of the extensive complementary encoding method

在综合考察以上两种方法的基础上, 提出一种广义互补编码方法, 其基本思想是将前景图像与背景图像融为一体。具体做法如图 2 所示, 原图像中的每个像素用黑白两个元素表示, 像素 1 如图 2(a) 所示用左白右黑两个元素表示, 像素 0 如图 2(b) 所示用左黑右白两个元素表示, 两者互补。两个元素之间相距为 L , 是单个元素宽度 p 的整数倍, 即 $L = np, n$ 取为 1, 2, 4, 8, 16, 32 等。图 2(c), (d) 为一人脸图像及其反图像, 均为 64×128 像素, (e) ~ (k) 则分别是当 $n = 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64$ 时的广义互补编码图像。如此定义, 可使袁石夫的互补编码方法和刘立人的双通道相关方法均成为其中的特例。例如当 $n = 1$ 时(图 2(e)), 便与袁石夫的互补编码方法相同, 这种情形的缺点是编码后的图像具有较高的空间频率, 对光学实现系统中的探测器分辨率和图像旋转误差有很高要求。另一特例是当 n 大于两倍的原图像宽度方向像素数 N 时(此

例中即当 $n > 128$ 时), 便满足了刘立人的双通道相关方法中 $L > a + d$ 的限制, 其中 a 和 d 分别表示 X 与 P 的宽度。这种情形的缺点是由于原图像与反图像间距过大, 将使硬件系统的径向尺寸加大, 所需光学元件(如透镜、探测器等)的口径相应加大, 系统难以小型化, 对多像素点的人脸图像更难实现。该限制主要是为了避免相关面上的交叉混迭而要求二个相关通道保持一定距离, 而本文中的实验表明, 该现象对于识别结果的判定并无影响。当 $n = 64$ (图 2(k)) 时, 即将原图像 $X(P)$ 与其反图像 $\bar{X}(\bar{P})$ 并排放置, 在以前工作中采用并称之为“正负图像组合编码”^[6]。对 n 为各种值时的识别效果进行实验发现, 随着 n 值的减小, 识别率逐步提高, 但当 $n = 1$ 或 2 时, 过高频率的黑白光栅调制对识别产生了严重影响, 不利于识别。因此本文采用 $n = 4$ 的情形。将编码后的图像用 $X_c(P_c)$ 表示, 则击中击不中变换可以表示为

$$X \odot P = X_c \star P_c |_{T=h} \quad (5)$$

(5) 式表明, 可通过对编码后的图像做一步相关并对相关结果作非线性处理, 即可实现用于目标识别的形态学击中击不中变换。

2 光电混合识别仪的原理及硬件结构

非相干光相关器利用非相干光的漫散射特性, 通过透镜变换, 可对各个方向上的平移图像进行叠加, 直接得到两幅图像的相关结果^[4]。与相干光系统相比, 它具有结构紧凑、无相干噪声干扰等优点, 易于小型化、实用化, 因此采用这种系统作为光电混合识别仪的硬件结构。

如图 3 所示, 待识别图像 $X(\xi, \eta)$ 被均匀漫散射光源照明。参考图像 $P(\xi, \eta)$ 紧贴一焦距为 f 的透镜 L 之前放置, 间距可以忽略。 $P(\xi, \eta)$ 与 $X(\xi, \eta)$ 间距为 D , 它们的幅面尺寸分别为 $2a \times 2a$ 和 $2d \times 2d$ 。由于光源是非相干、均匀、漫散射的, 因而可以看作是由一系列位于一特定平面 S 上的点光源照明, S 平面的轴向位置由 $\frac{a}{d-a}D$ 给出(如图 3 所示), 从该平面上一点发出的光使得 $X(\xi, \eta)$ 在 P 平面上的投影恰好与 $P(\xi, \eta)$ 尺寸相同。设 S_i 为光源面 S 的像面, (x_i, y_i) 为 S 面上任意一点 (x_0, y_0) 的像点。由 (x_0, y_0) 发出的光将 $X(\xi, \eta)$ 投射到 $P(\xi, \eta)$ 平面上, 横向位置平移了 $\left[\frac{d-a}{a}x_0, \frac{d-a}{a}y_0 \right]$, 经过透镜 L 的积分作用, S_i 平面上 (x_i, y_i) 点得到的强度为

$$I(x_i, y_i) = \iint X \left[\xi - \frac{d-a}{a}x_0, \eta - \frac{d-a}{a}y_0 \right] P(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (6)$$

积分面积是透镜 L 的有效通光口径。利用 (x_0, y_0) 和 (x_i, y_i) 的物像关系 $\frac{x_0}{x_i} = \frac{y_0}{y_i} = \frac{d(D-f) + af}{(d-a)f}$, 代入上式, 用 (x_i, y_i) 替换变量 (x_0, y_0) , 得到

$$I(x_i, y_i) = \iint X \left[\xi - \frac{d(D-f) + af}{af}x_i, \eta - \frac{d(D-f) + af}{af}y_i \right] P(\xi, \eta) d\xi d\eta \quad (7)$$

可见在 S_i 平面上即可得到两幅图像 $X(\xi, \eta)$ 和 $P(\xi, \eta)$ 以 $\frac{d(D-f) + af}{af}$ 为比例的相关函数。

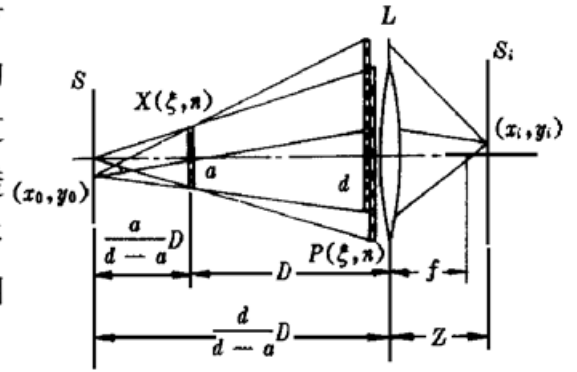


图 3 非相干光相关器原理示意图

Fig. 3 An incoherent optical correlator

根据上述原理构造的光电混合识别仪的硬件结构如图 4(a) 所示, 漫散射均匀光源 S , 反射镜 M , 透镜 L 和实时显示在同一块液晶板 LCD 上的图像 P 和 X 构成了一个非相干光相关系统。摄像机 CCD_1 实时采集待识别目标, 通过图像板送入计算机, 经预处理(二值化, 编码)后送上 LCD 显示。库图像 P 从存储在计算机中的图像库中调出, 并在固定位置上以一定速度逐一播放, 从中寻找相似子集。光电混合识别仪中的关键器件液晶板采用夏普公司的 QA-1200 型液晶投影板, 可直接与计算机显示卡相连。附件发光均匀的漫散射背光板 QA-BL2 充当光源。

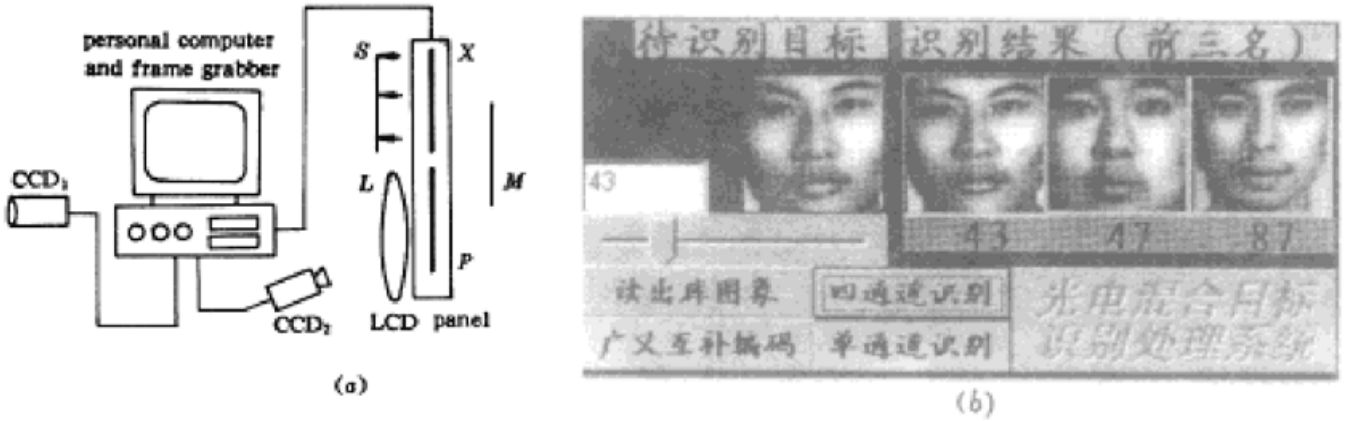


图 4 光电混合识别仪的结构示意图和结果输出画面
 Fig. 4 Sketch of the processor's structure and its result output screen

设计中遇到的一个困难是, 由于液晶板电极栅格结构的影响, 各衍射级次将对相关结果进行卷积, 从而使相关面原点处的相关峰扩大为二维点阵, 不利于识别。为减弱这一影响, 两幅图像之间的距离应当越近越好; 但两者距离过近又将导致相关面尺寸过大, 不利 CCD_2 探测识别结果, 因此采用双透镜接收的办法解决相关面尺寸扩大的缺陷。其中前透镜 L 主要承担相关运算的作用, 而后透镜直接与 CCD_2 摄像机相接, 起到读取相关结果的作用。而普通非相干光相关器中的单透镜则要同时承担相关运算和缩小相关面尺寸的双重作用, 对透镜的相对孔径 D/f 要求很高, 对于 256×256 的大尺寸图像, 几乎无法找到合用的透镜。设计中的双透镜结构形式克服了这一缺点, 解决了这一难题。

该处理器中的另外两个结构特点, 一是采用一块液晶板同时显示两幅图像, 这不仅降低成本, 简化结构, 而且确保了两幅图像具有相同的像素尺寸和同步的电信号。二是仅用一块反射镜而不是习惯上采用的两块互成直角放置的反射镜作为光路连接器件, 目的是为了尽可能地缩短 P 和 X 之间的距离, 虽然系统会因此成为非同轴光路, 但对实用并无影响。此外, 单反射镜调节灵活并可避免由于双反射镜不严格垂直而引起的重影现象。

3 实验结果, 结论与展望

本文采用基于广义互补编码 ($n = 4$) 的图像在光电混合识别仪中进行了实验, 识别结果给出与目标图像最相似的前三个库图像(如图 4(b) 所示)。对目前库中全部 200 幅图像进行的测试表明, 认出为第一名的有 189 个, 第二、三名分别有 6 个和 2 个, 只有 3 个没有被认出在前三名以内, 识别率达到 94.5% (按第一名计算)。当采用 $n = 8, 16, 32$ 和 64 编码的图像时, 识别率分别为 92%, 88.5%, 84.5% 和 80%, 说明在一定范围内图像分辨率的提高有助于识别率的

提高。初步的鲁棒性实验结果表明, 该处理器对于带有 40% 噪声干扰, 50% 缺损和 6° 以内旋转的图像(分别如图 5(a) ~ (c) 所示) 仍能正确识别出库中人脸(图 5(d))。而分别以同一个人的严肃和微笑的人脸(图 5(e), (f)) 作为输入目标时, 可以认出库中开口笑的人脸(图 5(g))。



图 5 鲁棒性实验中的人脸图像

Fig. 5 Face images in experiments for robustness testing

对于目前 200 幅库图像, 搜索时间为 16 s, 达到平均 12.5 幅/秒的处理速度。实验表明, 对于光电混合处理器, 其时间消耗主要在于光电接口处的“瓶颈”, 本系统中体现在两处, 一是 CCD 采集相关图像并经由图像板送入计算机的过程中, 受图像板传输速度限制; 二是液晶投影板的显示时间限制, 这是由于 CCD 采集相关图像必须等待显示在液晶板上的图像稳定之后进行, 否则会出现“错帧”的现象。这些问题的解决将有待于更高速光电子器件(空间光调制器等)的成熟。

参 考 文 献

- 1 D. Casasent, R. Sturgill. Optical hit-or-miss morphological transform for ATR. *Proc. SPIE*, 1989, **1153**: 500~ 510
- 2 D. Casasent, R. Schaefer, R. Sturgill. Optical hit-miss morphological transform. *Appl. Opt.*, 1993, **31**(29): 6255 ~ 6263
- 3 Liren Liu. Morphological hit-or-miss transform for binary and gray-tone image processing and its optical implementation. *Opt. Eng.*, 1994, **33**(10): 3447~ 3455
- 4 Shifu Yuan, Minxian Wu, Guofan Jin *et al.*. Optical implementation of morphological hit-miss transform using complementary-encoding. *Proc. SPIE*, 1995, **2564**: 336~ 342
- 5 Z. Yao, M. Wu, G. Jin *et al.*. New optoelectronic morphological scheme for multiple-object recognition. *Opt. Eng.*, 1994, **33**(11): 3727~ 3732
- 6 H. Liu, M. Wu, Q. He *et al.*. An optical processor for high-speed human face recognition. *Optical Technology* (光学技术), 1998, (5): 11~ 14 (in Chinese)

Target Recognition Processor Based on Extensive Complementary Encoding

Liu Haisong Wu Minxian Jin Guofan Cheng Gang He Qingsheng

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

Abstract In this paper, an extensive complementary encoding method is presented for realizing morphological hit-or-miss transformation by only one step. An opto-electronic hybrid target recognition processor is developed. An incoherent correlator is used as its optical implementation hardware and a liquid crystal display panel is used as its real-time spatial light modulator. Experimental results have shown that the recognition accuracy is over 90%, and human face images with 40% noise, 50% loss, 6° rotation and even different facial expressions can also be recognized.

Key words target recognition, morphological, hit-or-miss transform, extensive complementary encoding