

击中与否单通道光学处理器用于人脸识别

景红梅 程惠全 邵 岚 刘立人

(中国科学院上海光机所信息光学实验室 上海 201800)

提要 根据击中击不中运算的定义提出基于光学单通道相关器的灰度腐蚀的概念,证明了图像对具有三个灰度级的结构核的腐蚀操作等价于击中击不中形态学操作;给出选择正确的结构核灰度级的条件;设计了只有一个图像和一个灰度结构核的单通道非相干光学相关器来并行一步取阈完成击中与否运算。最后给出该处理器用于人脸识别的实验结果。

关键词 数学形态学, 击中与否运算, 人脸识别, 光学相关, 光学并行处理

1 引 言

人脸是区别一个人的主要特征之一,人脸识别是图像识别的一种重要应用。进行人脸识别的方法很多,其中利用光学相关进行人脸识别^[1,2]是主要方法之一。

数学形态学是建立在积分几何和随机集合论基础上以描述图像的基本特征和结构为内容的一整套变换^[3,4]。它的基本思想是利用称作结构核的几何结构去探测图像,它的基本运算是腐蚀和膨胀。由于光的并行性,数学形态学的光学实现成为人们感兴趣的研究。在各种形态学操作中,形态学击中与否运算是很好的模式匹配滤波器,已被广泛用于图像识别中^[5~9]。然而,根据击中与否的定义,进行此运算需要图像与前景结构核进行腐蚀,图像的补与背景结构核进行腐蚀,然后再将两次腐蚀进行交运算。这就意味着需要分别使用图像和图像的补。因而击中与否的光学实现就要比膨胀和腐蚀的光学实现复杂。以前提到过的一些光学击中与否运算处理器^[5,6]都需要图像及图像的补作为输入,这减少了空间带宽积或时间带宽积。

本文根据击中与否的定义发展了击中与否的一种新形式,即利用二元输入图像对包含前景和背景结构核的具有三个灰度级的结构核进行灰度腐蚀就可得到与击中与否运算同样的效果。在此基础上,发展了只有一个图像和一个结构核的单通道非相干光学相关器来并行一步取阈完成击中与否运算。为了在有噪声的图像处理中提供更强的功能,本文还给出了基于单通道相关的排序击中与否运算。基于上述方法,实现了光学并行人脸识别。并且对基于单通道光学相关的击中与否用于人脸识别进行了实验验证。

2 基于单通道光学相关器的击中与否运算的定义和分析

2.1 基于单通道光学相关器的击中与否的定义

根据集合论中形态学的定义,膨胀、腐蚀、补、并和交分别用符号 \oplus , \ominus , $\bar{}$, \cup 和 \cap 表示。图像和结构核分别用坐标集合 X 和 S 表示。

击中与否运算是前景腐蚀和后景腐蚀的交,它的定义为^[3,4]

$$X \odot (S_1, S_2) = (X \ominus S_1) \cap (\bar{X} \ominus S_2) \quad (1)$$

其中 S_1 为前景或击中结构核, S_2 为背景或击不中结构核 ($S_1 \cap S_2 = \Phi$), 总的结构核为 $S = S_1 \cup S_2$ 。可以看出击中与否运算是同时作用在图像前景和背景的匹配滤波器。在函数表达中, 输入图像和结构核可分别表示为 $f(\vec{x})$ 和 $s(\vec{x})$, 其中 \vec{x} 为坐标矢量。因而腐蚀可写为^[7,10]

$$z_{\text{erosion}}(\vec{x}) = \text{Th}_P\{f(\vec{x}) * s(\vec{x})\} \quad (2)$$

其中 P 为结构核中的像素数, $*$ 表示相关, $\text{Th}_P\{f\}$ 表示在整数 P 水平的阈值函数, 它被定义为

$$\text{Th}_P\{f\} = \begin{cases} 1 & f = P \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \quad (3)$$

用这样的表达, 方程(1)中定义的二元图像 X 被二元结构核对 (S_1, S_2) 的击中与否运算可以表达为下面的函数形式

$$z(\vec{x}) = \text{Th}_K\{f(\vec{x}) * s_1(\vec{x})\} \cdot \text{Th}_L\{\bar{f}(\vec{x}) * s_2(\vec{x})\} \quad (4)$$

其中 $z(\vec{x})$ 是输出图像, 它的值为 1 或 0, $\bar{f}(\vec{x})$ 是输入图像 $f(\vec{x})$ 的补, $s_1(\vec{x})$ 和 $s_2(\vec{x})$ 分别表示前景结构核和背景结构核。注意 \cdot 表示逻辑“与”或乘操作。 K 和 L 分别是 S_1 和 S_2 中的像素数, 因而结构核对中总的像素数为 $N = K + L$ 。方程(4)又可理解为

$$z(\vec{x}) = \text{Th}_K\{f(\vec{x}) * s_1(\vec{x})\} \cdot \text{Th}_0\{f(\vec{x}) * s_2(\vec{x})\} = \begin{cases} 1 & \text{if } f(\vec{x}) * s_1(\vec{x}) = K \text{ and } f(\vec{x}) * s_2(\vec{x}) = 0 \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \quad (5)$$

注意因为 $f(\vec{x})$ 和 $s_2(\vec{x})$ 都是二元值, 所以 $f(\vec{x}) * s_2(\vec{x})$ 是一个正整数(含零)。如果我们引入一个正的实数 α 使得当 $f(\vec{x}) * s_2(\vec{x}) > 0$ 时, 有

$$\alpha[f(\vec{x}) * s_2(\vec{x})] = f(\vec{x}) * [\alpha s_2(\vec{x})] \neq \text{any integer} \quad (6)$$

则有

$$\text{Th}_{P>0}\{f(\vec{x}) * [\alpha s_2(\vec{x})] + Q\} = 0 \quad (7)$$

其中 Q 是一个整数。因为 $f(\vec{x})$ 和 $s_1(\vec{x})$ 是二元值, 所以 $f(\vec{x}) * s_1(\vec{x})$ 也是正整数(含零)。故而

$$\text{Th}_K\{f(\vec{x}) * s_1(\vec{x}) + f(\vec{x}) * [\alpha s_2(\vec{x})]\} = \begin{cases} 1 & \text{if } f(\vec{x}) * s_1(\vec{x}) = K \text{ and } f(\vec{x}) * \alpha s_2(\vec{x}) = 0 \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \quad (8)$$

比较方程(8)和(5), 我们得到只有一个权重结构核的击中与否运算的公式

$$z(\vec{x}) = \text{Th}_K\{f(\vec{x}) * s_1(\vec{x}) + f(\vec{x}) * \alpha s_2(\vec{x})\} = \text{Th}_K\{f(\vec{x}) * [s_1(\vec{x}) + \alpha s_2(\vec{x})]\} \quad (9)$$

这表明输出图像是对输入图像和结构核 $s_1(\vec{x}) + \alpha s_2(\vec{x})$ 的相关在 K 水平取阈值后的图像, 这个联合的结构核可被认为是一个具有三个灰度级(0, α , 1)的结构核, 其中“0”代表黑的零背景, “1”代表归一化最大值。因而方程(9)进一步用传统的形态学表达来描述

$$Z = [X \ominus_K (S_1 + \alpha S_2)](\vec{x}) \quad (10)$$

上述算法可理解为下述物理过程: 当图像 X 被结构核元素对击中时必须满足这样的条件, 即图像前景中的每个元素被前景结构核击中, 同时图像前景中的每个元素被背景结构核击不中。击中击不中操作可由图像与结构核的相关来完成。当 X 击中 S_1 且击不中 S_2 时, X 与 S_1 的相关结果为 K , X 与 S_2 的相关结果为 0, 对两相关结果进行“与”操作的结果亦为 K 。若是 X 中的一个元素不被 S_1 击中, 则 X 与 S_1 的相关结果就小于 K , 而若是 X 中的一个元素被 S_2 击中, 则 X 与 S_2 的相关结果就大于 0。这样我们想要是对 S_1 中的像素编码为 1, 对 S_2 中的像素编

码为 α , 使得只有当输出结果为 K 时才表明完成了击中操作, 就可以通过对图像 X 和结构核元素对的相关结果取 K 阈值即可完成击中击不中操作。

2.2 结构核权重的估算

已经证明, 在方程(6) 的条件下, 二元图像被一个灰度结构核的腐蚀等价于一个击中与否运算。有很多可能性都符合这个条件, 下面给出选择正确 α 值的方法。

在归一化 $0 < \alpha < 1$ 情况下, 有

$$\alpha = \frac{L - \epsilon}{L} \quad (11)$$

其中 $0 < \epsilon < 1$ 是分数。

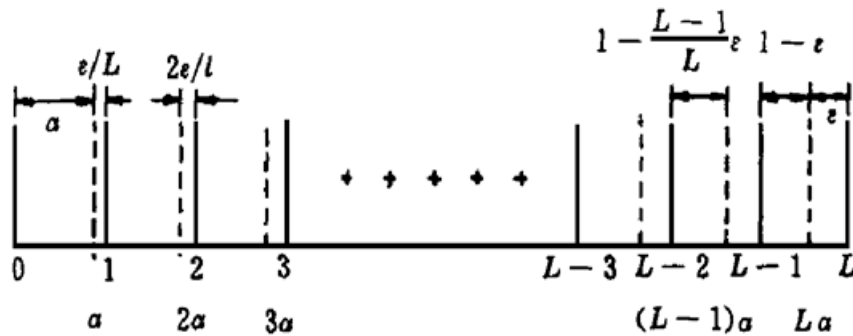


图 1 α 的最小偏置示意图

Fig. 1 Schematic diagram for the minimum deviations of α from integers

用硬件完成取阈操作时, 对一定的阈值水平有一个宽度。从图 1 可以看出, $L\alpha$ 对整数的最小偏差是 $1 - \epsilon$ 和 ϵ/L 。因而可以建立阈值宽度

$$\Delta = \min \left[1 - \epsilon, \frac{\epsilon}{L} \right] \quad (12)$$

如果 $1 - \epsilon = \epsilon/L$, 可以估算结构核权重和阈值宽度的数量级

$$\epsilon = \frac{L}{L + 1} \quad \alpha = \frac{L}{L + 1} \quad \Delta = \frac{1}{L + 1} \quad (13)$$

2.3 基于光学单通道相关器的排序击中与否运算

击中与否运算用于精确的匹配, 故而它对图像的噪声很敏感。Casasent 等^[6,9] 已验证了排序击中与否运算在噪声存在时具有更好的功能。排序击中与否运算也可以利用单通道光学相关器完成。为使得击中与否运算更强大, 我们给出在 K 水平取阈的一个容限 ΔK , 它定义为

$$\Delta K = K/K' \quad (14)$$

其中 K 为击中与否运算的阈值, K' 为排序击中与否运算的阈值。如果阈值容限 $\Delta K = p$, 对于联合结构核有一个新的权重为

$$\alpha' = p\alpha \quad (15)$$

在人脸识别应用中, 图像和结构核是同样尺寸的人脸图案, 所以结构核的像素数很多。一般而言, 图像亮的像素数(前景的像素数) 是图像总像素数(N) 的一半, 即 $L = N/2$ 。因此 α' 的动态范围的数量级是 $2P/N$ 。

3 光学单通道击中与否处理器的设计

基于非相干单通道相关和电子取阈^[5] 的光学并行击中与否运算器如图 2 所示。

为了增加液晶显示屏(LC) 的细胞全开和全闭状态的对比度, 我们使用波长为 $\lambda = 632.8$ nm 的 He-Ne 激光作为单色光源。散射器将准直的激光转化为扩展光源。LC₁, LC₂ 和透镜组成

非相干相关器。在透镜的后焦面, LC 上两图案相关的光强分布为

$$I(x, y) = \iint \left| M_1 \left[\xi + \frac{d}{f} x, \zeta + \frac{d}{f} y \right] M_2(\xi, \zeta) \right| d\xi d\zeta \quad (16)$$

其中 f 为透镜的焦距, d 为两块液晶显示屏之间的距离。液晶显示屏 LC₁ 用来显示灰度结构核对 $s_1(\vec{x})$ 和 $s_2(\vec{x})$ 。液晶显示屏 LC₂ 显示输入二元图案 $f(\vec{x})$ 。如果 $s_1(\vec{x})$ 的细胞透过率被归一化为 1, 则 $s_2(\vec{x})$ 的细胞透过率应为 α' 。放在后焦面的 CCD 用来探测相关图案, 用 PC 计算机对相关图案进行数字取阈。

液晶显示屏的细胞尺寸为 $0.27 \text{ mm} \times 0.27 \text{ mm}$ 。实验中的输入图像有 56×71 个像素数。透镜的焦距为 135 mm 。为了保证相关图案落在 CCD 的敏感区域, 两块液晶显示屏的距离设为 520 mm 。

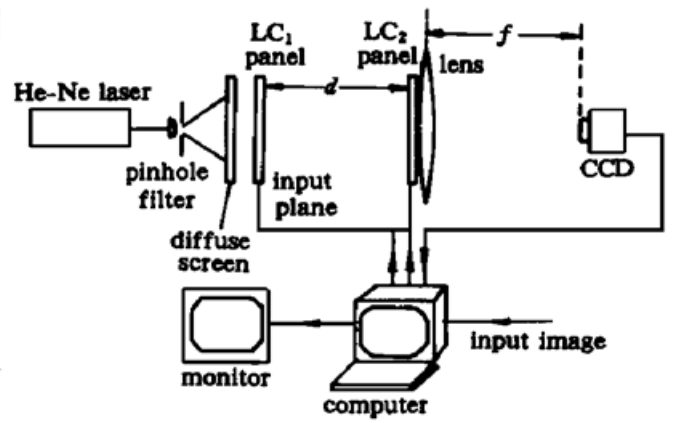


图 2 单通道击中与否处理器的光学结构
Fig. 2 Optical configuration of a single-channel HMT processor

4 实验验证

将用上面提到的光学单通道击中与否处理器进行人脸识别。人脸的表示在人脸识别系统中非常重要。所有已知的人脸都必须用同样的形式存储, 所有要被鉴别的人脸也要用相同的形式进行存储。本实验中使用的脸都是在相同条件下进行拍摄的正面像。为避免头发样式及长短的影响, 我们取头发之下的脸部。对所有照片进行相同的取阈后得到人脸的二元图像。



图 3 实验中所用的人脸
Fig. 3 The four human face pictures used in the experiment

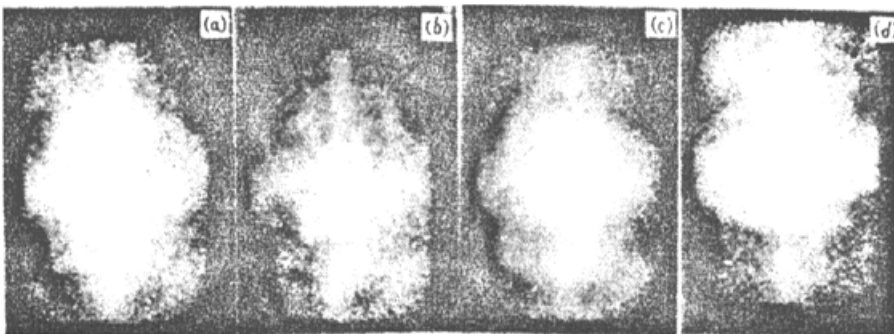


图 4 图 3 中所有人脸图案与图 3 (a) 所示的三灰度结构核的相关图
Fig. 4 The correlations of a three-grayscale structural element from Fig. 3 (a) and the pictures in Fig. 3

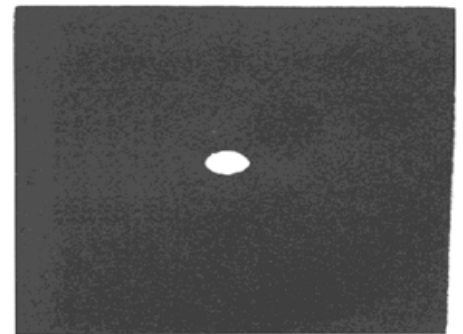


图 5 图 4 经过取阈后的输出结果
Fig. 5 The output from Fig. 4 (a) after thresholding

实验中所使用的 4 幅人脸图片如图 3 所示。图 3 (a) 作为特征图片。所有的图片具有相同的像素数 56×71 。在传统的击中与否处理器中, 结构核 S_1 是图 3 (a), 结构核 S_2 是它的补。在光学单通道击中与否处理中, 灰度结构核中值为 1 的像素是图 3 (a) 中的亮点, 值为 α' 的像素是其中的暗点, 值为 0 的像素是图 3 (a) 的外部。图 3 (a), (b), (c) 和 (d) 与这样一个结构核的相关结果如图 4 (a), (b), (c) 和 (d) 所示。从图中可看出, 不同的相关结果的光强分布是不同的。 α' 的动态范围是 $0.018 \sim 1$, 阈值水平为 199, 对 4 个相关结果取阈后只有图 4 (a) 有输出, 如图 5 所示。

5 结 论

本文根据击中与否运算的定义, 提出用灰度腐蚀运算来完成击中与否运算, 灰度腐蚀运算与击中与否运算有同样强的匹配能力。在击中与否中, 需要三个操作、两个图像和两个结构核。而在灰度腐蚀中, 只需一个图像和一个具有三个灰度级 (0, α , 1) 的结构核。这个表述更适合光学并行处理。基于单通道相关器的排序击中与否运算使系统更加强大。在此基础上发展了基于单通道非相干光学相关器的光学并行击中与否处理器用于人脸识别。进一步运用阈值分解和阈值叠加的方法, 此光学单通道击中与否处理器可处理形态学灰值图像。

由于本实验室缺乏光学取阈装置, 实现全光学实时实验受到限制。如果利用 smart-sixels 空间光调制器^[11]作为取阈装置, 再利用小型化光学系统的集成技术^[12], 可以构成一个紧凑的简单编程的形态学图像处理来充分体现光学并行处理的优势。

致谢 作者对中国科学院的支持表示深深的感谢。

参 考 文 献

- 1 H. S. Li, Y. Qiao, D. Psaltis. Optical network for real-time face recognition. *Appl. Opt.*, 1993, **32** (26): 5026~ 5035
- 2 B. Javidi, J. Li, Q. Tang. Optical implementation of neural networks for face recognition by the use of nonlinear joint transform correlations. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(20): 3950~ 3962
- 3 J. Serra. Introduction to mathematical morphology. *Computer Vision, Graph Image Processing*, 1986, **35**: 333~ 335
- 4 P. Maragos. Tutorial on advances in morphological image processing and analysis. *Opt. Eng.*, 1987, **26** (7): 623~ 632
- 5 L. Liu. Morphological hit-or-miss transform for binary and gray-tone image processing and its optical implementation. *Opt. Eng.*, 1994, **33**(10): 3447~ 3455
- 6 D. Casasent, R. Schaefer, R. Sturgill. Optical hit-miss morphological transform. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(29): 6255~ 6263
- 7 D. Bloomberg, P. Maragos. General hit-miss operations. *SPIE*, 1990, **1350**: 116~ 128
- 8 L. Liu. Optical parallel rank order hit-miss transform and its applications. *Optik*, 1995, **99**(1): 13~ 17
- 9 R. Schaefer, D. Casasent. Nonlinear optical hit-miss transform for detection. *Appl. Opt.*, 1995, **34** (20): 3869~ 3882
- 10 K. S. Huang, B. K. Jenkins, A. A. Sawchuk. Binary image algebra and digital optical cellular image processor design. *Computer Vision, Graph. Image Proces.*, 1989, **45**: 295~ 345
- 11 S. R. Forrest, H. S. Hinton ed. Special issue on smart pixels. *IEEE. J. Quantum Electron.*, 1993, **29** (2): 598~ 813
- 12 L. Liu, Y. Yin, H. Peng *et al.*. Design and fabrication of parallel processor modules by polarization-optical stacked integration. *Intern. J. Optoelectronics*, 1995, **10**: 39~ 49

Face Recognition by the Use of an Optical Parallel Single-channel Hit-miss Transform Processor

Jing Hongmei Cheng Huiquan Shao Lan Liu Liren

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract A new algorithm in which the defined hit-miss transform is reformulated by a grayscale erosion of the image with a grayscale structural element of three levels is developed. A necessary condition is defined to choose the correct intermediate grayscale level in the structural element. Then a single-channel incoherent optical correlator with only an image and a structural element is developed to execute the hit-miss transform in parallel by one step thresholding. Experimental results for the face recognition are demonstrated.

Key words mathematical morphology, hit-miss transform, face recognition, optical correlation, optical parallel processing

钛宝石激光泵浦 Yb·YAG 微片激光器获得 180 mW 连续激光输出

我们用感应引上法沿 (111) 方向生长了 Yb³⁺ 掺杂浓度高达 30 at-% 的 Yb·YAG 晶体。晶体毛坯尺寸为 $\phi 30 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$, 在 1600°C 下经氧气氛退火后, 获得了无色心、低散射损耗和低位错密度的高质量晶体。激光器采用平-平腔结构, 以钛宝石激光器为泵浦源。940 nm 的泵浦光经过一个焦距为 40 mm 的透镜和腔镜, 聚焦在 $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} \times 0.25 \text{ mm}$ 的 30 at-% Yb·YAG 晶体微片上。腔镜紧挨激光晶体一起固定在热沉板上。腔镜的一面镀 940 nm 的增透膜, 另一面镀 940 nm 增透膜和 $1.053 \mu\text{m}$ 高反膜 ($R_{1.053 \mu\text{m}} = 98.82\%$)。腔镜同时又作为输出耦合镜。激光晶体的输入面镀 $1.053 \mu\text{m}$ 和 940 nm 增透膜, 而背面镀 $1.053 \mu\text{m}$ 和 940 nm 高反膜。晶体背面起折叠镜的作用。当晶体吸收的泵浦功率为 645 mW 时, 获得 180 mW $1.053 \mu\text{m}$ 的连续激光输出, 斜率效率为 38%。

用 InGaAs LD(发射波长 970 nm) 泵浦 30 at-% Yb·YAG 晶体微片的激光实验正在进行中。

本课题得到国家高技术 863-416 项目和国家自然科学基金(69578026)资助。

中国科学院上海光机所

杨培志 邓佩珍 刘玉璞 张影华 谢兴龙 陈伟 徐军

收稿日期: 1999-5-27