

可编程光学击中击不中变换及其在模式识别中的应用*

袁石夫

张学如 赵世杰 陈历学

(清华大学精密仪器系, 北京 100084) (哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001)

摘 要 提出了一种利用击中击不中变换实现具有边缘噪声的模式的形态识别方法并给出了计算机模拟结果。利用一个非相干光学相关器, 构成了一个实时可编程光学击中击不中变换处理器。演示了字符识别过程并给出了实验结果。

关键词 形态变换, 模式识别。

1 引 言

最近几年, 人们充分认识到形态变换在图象处理和机器视觉等领域有着重要的应用前景^[1~2]。由于形态变换操作的并行性, 利用光学方法实现形态处理以其卓越的并行处理能力引起人们的广泛注意。许多作者分别报道了各自不同的光学形态处理系统^[3~11]。在形态变换的基本操作中, 击中击不中变换(hit-miss transformation)可被用来有效地执行模式识别。Casasent 等人首先利用相干光学相关器来实现击中击不中变换^[12]。为使光学系统更为简洁紧凑、易于实现, 本文采用非相干光学相关器来构造一个实时可编程光学击中击不中变换处理器。同时, 提出了一种基于击中击不中变换的实现具有边缘噪声的模式的形态识别方法。计算机模拟结果和光学实验结果均证实了上述方法的可行性。

2 具有边缘噪声的模式的形态识别方法

一个二值图象模式 P 可由一个二值图象对 (F_1, B_1) 来表示。而 (F_1, B_1) 可定义为

$$F_1 = S, \quad B_1 = M/S = M \cap \bar{S}, \quad (1)$$

这里 M 是一个用来确定模式 P 大小的二值图象模板, S 是一幅待识别二值图象, $/$ 表示图像差操作。在由 M 和 S 确定的二值图象对 (F_1, B_1) 之中, F_1 表示模式 P 的前景, B_1 表示模式 P 的背景。

一幅二值图象 X 用二值图象模式 $P(F_1, B_1)$ 进行的击中击不中变换表示为

$$X \otimes P = (X \ominus F_1) \cap (\bar{X} \ominus B_1), \quad (2)$$

* 本课题得到国家 863 高技术基金的部分资助。

收稿日期: 1993 年 11 月 21 日; 收到修改稿日期: 1994 年 3 月 31 日

这里 \ominus 表示蚀操作上述击中击不中变换实际上是从图像 X 中识别出模式 P 来。它包含两个步骤：(1) 利用 $X \ominus F_1$ 操作识别模式 P 的前景；(2) 利用 $X \ominus B_1$ 操作识别模式 P 的背景。只有当前景和背景同时被识别时，才最终给出识别 P 的结果。

上述识别过程要求很高，只能识别图像 X 中与 P 完全匹配的模式。为了识别那些具有边缘噪声的图像模式，本文采用变换模式 P 前景和背景的方法来得到一种改进的击中击不中变换。在改进的击中击不中变换中，由图像 S 和 M 定义的模式 P 用另一二值图像对 (F_2, B_2) 表示，其中

$$F_2 = S \ominus R, \quad B_2 = (M/S) \ominus R \quad (3)$$

这里 R 是根据图像 S 的线宽所选择的一个参考图像。利用(2)式，则改进的击中击不中变换可表示为

$$\begin{aligned} G = PR(X, P) &= (X \ominus F_2) \cap (\bar{X} \ominus B_2) \\ &= [X \ominus (S \ominus R)] \cap \{\bar{X} \ominus [(M/S) \ominus R]\}. \end{aligned} \quad (4)$$

图像 G 给出的就是识别结果。当一个图像模式被识别时，则在图像 G 中该模式中心处存在着一些由参考图像 R 的图像点(取值为 1 的像素)所确定的邻域点，只要这些点中有一个取值为 1，则表明图像 X 的这一位置存在一个模式 P 。

本文用计算机分别模拟了利用击中击不中变换和改进的击中击不中变换进行模式识别的过程并在图 1 中给出模拟结果。图 1(a)、图 1(b)分别给出了表示模式 P 形状的图像 S 和表示

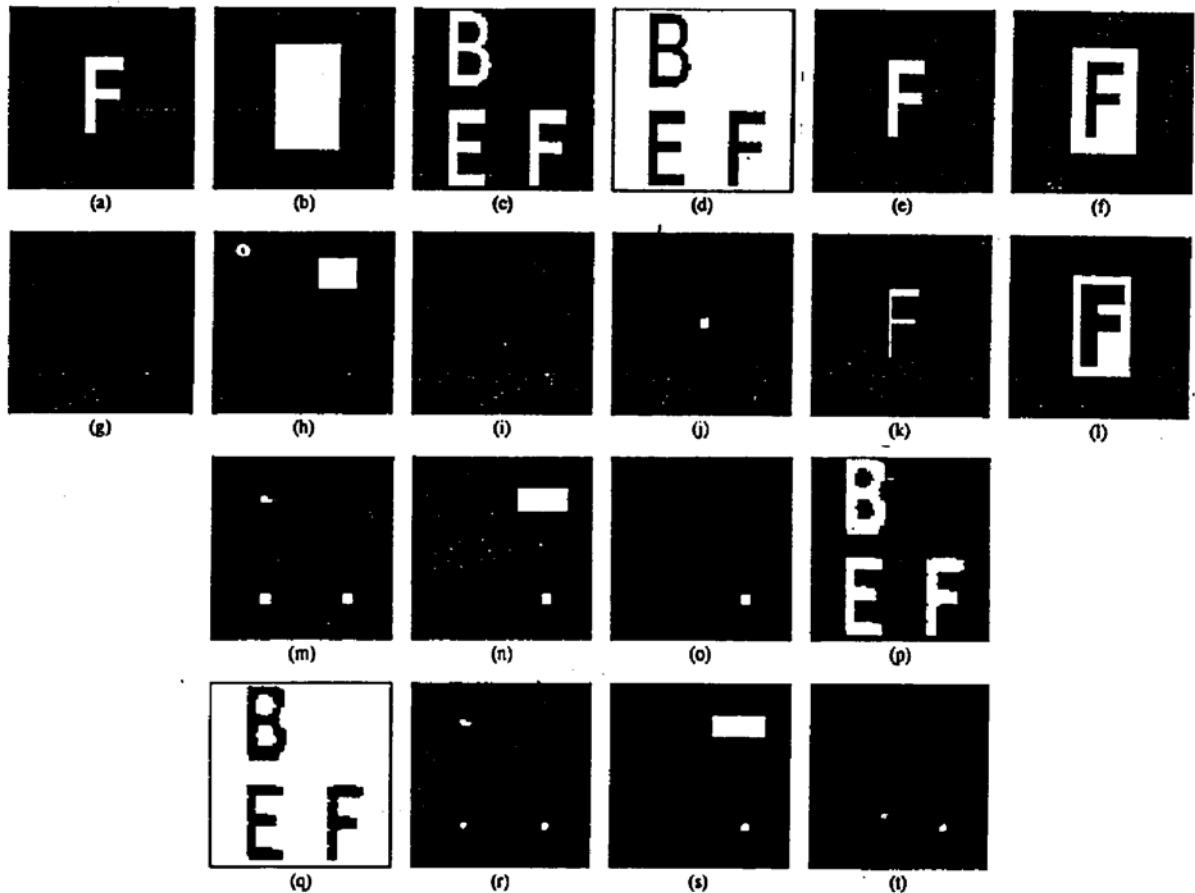


Fig. 1 Simulated results of the pattern recognition processes using HMT and IHMT respectively

其大小的二值图像模板 M 。图像 S 和 M 所给出的图像模式实际上是一个英文字符 F 。图 1

(c)、图 1(d)分别为原始输入图像 X 和其补图像 \bar{X} 。图 1(e)、图 1(f)分别给出了根据(1)式定义的二值图像对 (F_1, B_1) 。图 1(g)给出 $X \ominus F_1$ 结果,图 1(h)给出了 $X \ominus B_1$ 结果,图 1(i)给出了上述两个蚀结果的交结果,即利用击中击不中变换得到的模式识别结果。由图 1(i)可知,对字符 F 识别出来后其中心仅以一个图像点表示。图 1(j)给出了一个具有 5×5 个图像点的结构元 R ,图 1(k)、图 1(l)分别给出了利用(3)式得到的二值图像对 (F_2, B_2) 。图 1(m)、1(n)分别给出了 $X \ominus F_2$ 和 $X \ominus B_2$ 的结果。图 1(o)给出了上述两个蚀操作结果的交结果,也就是利用改进的击中击不中变换所得到的识别结果。从图 1(o)可知,利用改进的击中击不中变换时,识别结果在原图像模式中心存在一个与参考图像 R 的 5×5 图像点相对应的 5×5 的图像点。实际上,只要这些点中有任何一点取值为 1,则可判定该处存在着一个该模式。因此,如果存在于原始图像中的模式由于边缘噪声使之与模式 P 不完全匹配,利用击中击不中变换,上述模式不能被识别出来。但利用改进的击中击不中变换,却可以识别。图 1(p)和图 1(q)分别给出了原始输入图像 X_r 及其非图像 \bar{X}_r ,它们之中的待识别字符 F 带有边缘噪声。图 1(r)和图 1(s)分别给出了 $X_r \ominus F_2$ 和 $\bar{X}_r \ominus B_2$ 的结果。图 1(t) 给出了利用改进的击中击不中变换的最终识别结果。

3 击中击不中变换的光学实现

上述击中击不中变换所涉及到的基本形态变换操作有补、交和蚀等三种。蚀操作可以被认为是一种邻域处理操作,这种邻域处理操作包含了一个卷积运算和一个非线性阈值运算^[8, 11]。利用非相干光学相关器可以实现一幅二值图像与某一结构元的卷积运算,得到原始图像的多重移动叠加图像。

图 2 给出了完成卷积运算的非相干光学相关器^[11]。平面 P_1 由均匀的非相干光照明。平面 P_1 和结构元模板 M 的距离为 D ,焦距为 f 的透镜 L 紧贴置于结构元模板 M 之后,模板 M 与透镜 L 的间距很小,可忽略不计。透镜 L 与 P_2 探测平面的距离为 $f + z$ 。平面 P_1 上的两个最近像素的距离(即像素抽样间距)为 a ,结构元模板 M 上的像素抽样间距为 d 。当显示在平面 P_1 上的二值图像经过结构元模板 M 和透镜 L 之后,在输出平面 P_2 上形成一幅原始图像的多重移动叠加图像。当

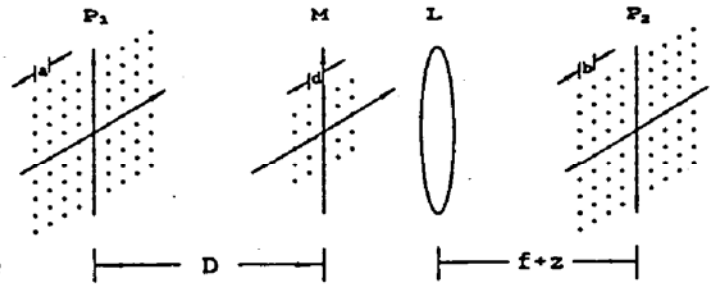


Fig. 2 Incoherent optical correlator for convolution

$$Z = \frac{f_2(d - a)}{d(D - f) + fa} \tag{5}$$

时,平面 P_2 上每一移动图像的像素抽样间距 b 与两个移动图像之间的最小移动距离 Δ 相等,即

$$\Delta = b = \frac{d}{fD}(D - f)\left(\frac{f_2}{D - f} - z\right). \tag{6}$$

这时,输出平面 P_2 上的光强分布 I_2 可写成

$$I_2(mb, nb) = \sum_j \sum_k I_1[(m + j)a, (n + k)a] \cdot R(jd, kd), \tag{7}$$

式中 m, n, j, k 为整数, I_1 为平面 P_1 上的输入图像光强度分布, 而 $R(jd, kd)$ 表示结构元模板 M 上的透过率分布。由(7)式可知, 在平面 P_2 上得到了原始图像与结构元的相关结果。

图 3 给出了以上述非相干光学相关器为基础的可编程实时击中击不中变换处理器原理图。该处理器所用到的光学元件包括两个 CCD 摄像机(CCD₁ 和 CCD₂), 一个 CRT, 一个液晶电视(LCTV), 一个焦距为 f 的成像透镜 L 。构成该系统的其它器件还有一个图像采集板和一台微型计算机。

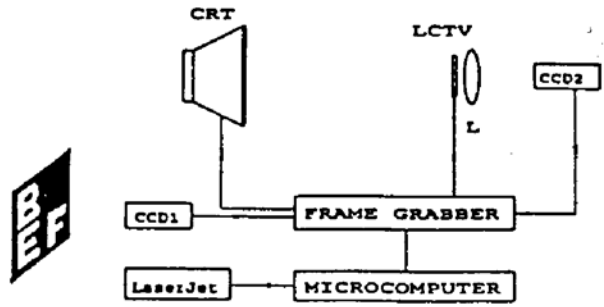


Fig. 3 Schematic of the programmable optical morphological HMT processor

CCD₁ 是用来获取一幅输入图像。这一图像既可用光学也可用电学方法来实现二值化处理。CRT 则用来显示待处理二值图像。液晶电视起结构元模板 M 的作用, 它可用计算机控制以选择不同的用于蚀操作的结构元。

CRT, 液晶电视, 透镜 L 和 CCD₂ 探测面构成了一个非相干光学相干器, 从而在 CCD₂ 探测平面上可得到一个多重移动叠加图像(即卷积结果)。这一图像由 CCD₂ 送入图像采集板, 然后执行非线性阈值操作。当系统进行蚀操作时, 若结果元模板中含有 N 个图像点, 则应选择阈值为 $N-1/2$ 。至于其它的逻辑操作, 目前已建立起许多光学逻辑处理系统, 它们都可用来执行本文所要进行的补和并操作。这里为构成一个闭环运行可编程实时处理系统, 将补并等逻辑交给计算机处理。由于计算机处理补并等操作比执行扩蚀等操作费时要少得多, 这一系统仍具有较强的并行性。

利用图 3 所示的处理器, 演示了利用改进的击中击不中变换实现具有边缘噪声的模式识别过程。通过编程控制使上述系统依次执行改进的击中击不中变换所要求的各种操作, 便可最终得到识别结果。实验结果最后由 HP Laser Jet III 激光打印机输出。如图 1(p)所示的图像 X_i 被用来作为原始输入图像, 其中的图像模式均带有边缘噪声。待识别的模式是如图 1(a)所示的英文字符 F 。采用如图 1(k)、1(l)所示的二值图像对 (F_2, B_2) 来进行击中击不中变换。图 4(a)、(b) 分别给出了 $X_i \ominus F_2$ 和 $\bar{X}_i \ominus B_2$ 的实验结果。图 4(c) 则给出了从 X_i 中识别出字符 F 的最终结果。从图中可以看出, 利用改进的击中击不中变换可以有效地识别出具有边缘噪声的图像模式。



Fig. 4 The experimental results of recognizing character F with edge noise from the image X_i

结 论 本文提出了利用击中击不中变换实现具有边缘噪声的模式形态识别方法。以非相干光学相关器为基础, 实现了实时、可编程光学击中击不中变换处理并演示了模式识别过程。这一处理器具有结构简单、易于实现的优点, 是光学并行性和电子学灵活性的有效结合。作为一种特征抽取方法, 它将在机器视觉和光学字符识别等领域具有重要的应用。

参 考 文 献

- [1] J. Serra, *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, New York, 1982
- [2] P. Maragos, Tutorial on advances in morphological image processing and analysis. *Opt. Eng.*, 1987, 26(7): 623
- [3] K. S. O' Neill, W. T. Rhodes, Morphological transformations by hybrid optical-electronic methods. *Proc. SPIE*, 1986, 638: 41
- [4] K. S. Huang, B. K. Jenkins, A. A. Sawchuk, Image algebra representation of parallel optical binary arithmetic. *Appl. Opt.*, 1989, 28(6): 1263
- [5] S. D. Goodman, W. T. Rhodes, Symbolic substitution applications to image processing. *Appl. Opt.*, 1988, 27(9): 1708
- [6] D. Casasent, E. Botha, Optical symbolic substitution for morphological transformations. *Appl. Opt.*, 1988, 27(18): 3806
- [7] E. Botha, J. Richards, D. Casasent, Optical laboratory morphological inspection processor. *Appl. Opt.*, 1989, 28(24): 5342
- [8] Liren Liu, Optoelectronic implementation of mathematical morphology. *Opt. Lett.*, 1989, 14(10): 482
- [9] Y. Li, A. Kostrzewski, D. H. Kim *et al.*, Compact parallel real-time programmable optical morphological image processor. *Opt. Lett.*, 1989, 14(18): 981
- [10] Minxian Wu, Shaomin Zhou, Jianhong Cai *et al.*, Optical binary image algebra processor (OBIAP). *Opt. Commun.*, 1992, 86(6): 454
- [11] Shifu Yuan, Shijie Zhao, Xueru Zhang *et al.*, Optical implementation of binary image morphological transformations using a liquid crystal light valve (LCLV). *Proc. SPIE*, 1993, 1989
- [12] D. Casasent, R. Schaefer, R. Sturgill, Optical hit-miss morphological transform. *Appl. Opt.*, 1992, 31(29): 6255

Programmable Optical Hit-Miss Transformation and Its Application in Pattern Recognition

Yuan Shifu

(Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

Zhang Xueru Zhao Shijie Chen Lixue

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

(Received 21 November 1993; revised 31 March 1994)

Abstract In this paper, a morphological recognition method for patterns with edge noise is proposed based on the hit-miss transformation (HMT). Using an incoherent optical correlator, a real-time programmable optical HMT processor is constituted and used to demonstrate character recognition. The experimental results are given.

Key words morphological transformation, pattern recognition.