

# 利用偏振编码的单通道击中击不中运算

景红梅 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** 提出一种基于偏振编码的单通道击中击不中运算。它是通过利用偏振编码使得图像的前景和背景都包含在一个编码图像中,从而使击中击不中运算可以用一个腐蚀算子完成。通过取不同的阈值水平,可实现基于偏振编码的排序击中击不中运算。最后给出了实验结果。

**关键词** 数学形态学, 击中击不中运算, 非相干光学相关, 偏振编码

## 1 引 言

数学形态学被广泛应用于图像处理中<sup>[1~4]</sup>。在各种形态学操作中,形态学击中击不中运算(HMT)是用于模式识别的基本工具<sup>[5~10]</sup>。一个图像与结构核的HMT是图像前景的击中腐蚀集与图像背景的击不中腐蚀集的交集。

最近,作为光计算的重要结构,发展了很多HMT的光学实现。典型的光学处理器包括利用双轨编码的双通道非相干光学相关器<sup>[7,8]</sup>,按时间顺序处理前景图像与前景结构核以及背景图像与背景结构核的单通道相干光学相关器<sup>[5,6]</sup>,和利用双轨补编码的单通道非相干光学相关器。

本文通过引进偏振编码方法对输入图像和结构核进行编码,使得图像的前景和背景都包含在编码图像中,因而HMT可以仅由腐蚀操作完成。本文所提的HMT处理器包含一个单通道非相干光学相关器和电子取阈,它可以一步并行处理基于偏振编码的HMT操作,通过取不同的阈值水平,还可实现基于偏振编码的排序击中击不中运算。

## 2 基于偏振编码的形态学击中击不中运算

我们用  $X$  来表示分立的二元输入图像,用  $\bar{X}$  来表示它的补。图像  $X$  与结构核对 SE 的 HMT 定义为

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

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  $S = S_1 \cup S_2$ ,符号  $\odot$  表示 HMT 操作,符号  $\ominus$  代表腐蚀运算,符号  $\cap$  为交集操作。

图 1 所示的是基于空间双轨编码<sup>[7,8]</sup>的分立二元图像,图 1(a)为原始分立二元图像  $X$ ;图 1(b)为原始分立图像的补图像  $\bar{X}$ ;图 1(c)表示结构核对 SE( $S_1, S_2$ ),其中白圈表示前景结构核

$S_1$ , 黑圈代表背景结构核  $S_2$ 。在传统的双通道<sup>[7,8]</sup> 和单通道<sup>[5,6]</sup>HMT 光学实现中, 图像  $X$  与结构核对  $(S_1, S_2)$  的 HMT 操作根据定义分为三步进行: (1) 用腐蚀操作  $X \odot S_1$  识别前景结构核  $S_1$ ; (2) 用腐蚀操作  $\bar{X} \odot S_2$  识别背景结构核  $S_2$ ; (3) 通过交集操作得到最后的识别结果。文献 [9] 采用双轨补编码方法对图像和结构核进行编码, 使图像前景和背景都包含在编码图像中, 因而 HMT 可用腐蚀操作一步完成。但在此方案中, 需要两列对一个像素编码, 而且还需要解码板。在我们的方案中, 利用偏振编码技术, 只需要一列对一个像素编码, 且不需解码板。

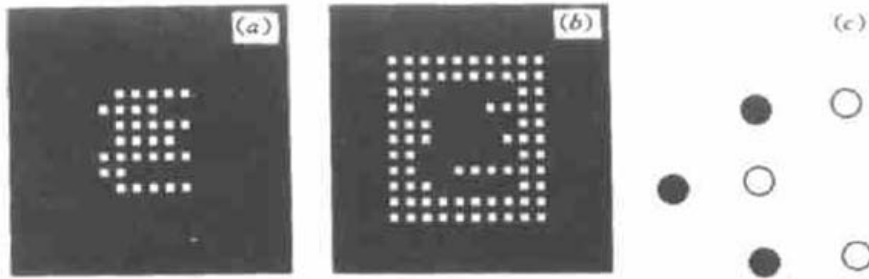


图 1 按标准定义的击中击不中运算中的一些离散二元图像  
 (a) 离散二元图像  $X$ ; (b) 二元图像  $X$  的补的离散二元图像  $\bar{X}$ ; (c) 二元结构核对  $(S_1, S_2)$

Fig. 1 Some discrete binary image for the definition of a standard HMT

(a) discrete binary image  $X$ ; (b) the complemented discrete binary image  $\bar{X}$  of binary image  $X$ ;  
 (c) the binary structuring elements pair  $(S_1, S_2)$

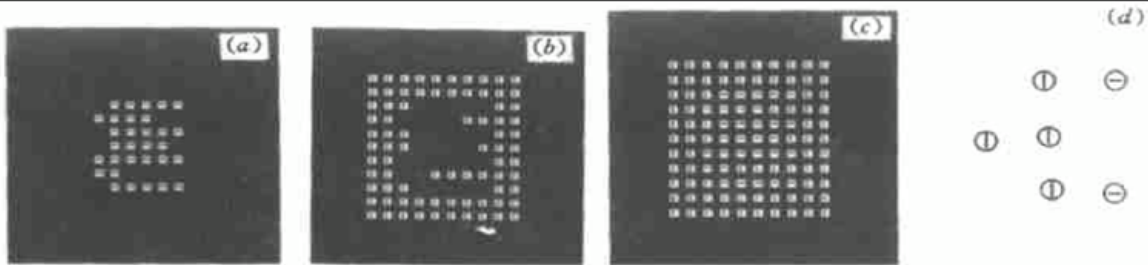


图 2 偏振编码技术和结果图像, 其中  $-$  和  $|$  分别表示  $\vec{p}$  偏振和  $\vec{s}$  偏振

(a) 编码图像  $X$ ; (b) 编码图像  $\bar{X}$ ;  
 (c) 合并了编码图像  $X$  和  $\bar{X}$  编码图像  $CE(X)$ ; (d) 合并了编码前景结构核  $S_1$  和背景编码结构核  $S_2$  的编码结构核  $CE(S)$

Fig. 2 Polarization-encoding technique and resultant images, where  $-$  and  $|$  mean  $\vec{p}$  polarization and  $\vec{s}$  polarization, respectively

(a) the coded image  $X$ ; (b) the coded image  $\bar{X}$ ; (c) the coded image  $CE(X)$  combining the coded image  $X$  and the coded image  $\bar{X}$ ;  
 (d) the coded SE  $CE(S)$  combining the coded foreground SE  $S_1$ , and the coded background SE  $S_2$

在数字光计算中常常利用到偏振编码技术<sup>[11-15]</sup>。在偏振编码中, 每个像素用两种正交状态中的一种状态表示。图 2 所示的是对图 1 中的分立二元图像的编码。将输入原始图像中白的像素(前景图像)和前景结构核  $S_1$  用水平偏振状态( $\vec{p}$ ) 表示(如图 2(a) 和(d) 所示); 将补图像  $\bar{X}$  (背景图像) 中的白像素和背景结构核  $S_2$  用垂直偏振状态( $\vec{s}$ ) 表示(如图 2(b) 和(d) 所示); 将编码图像  $X$  和  $\bar{X}$  合并成一个编码图像  $CE(X)$  (如图 2(c) 所示), 其中图像  $X$  和  $\bar{X}$  的共同背景编码为 0。编码图像  $CE(X)$  可表示成

$$CE(X) = X\vec{p} \cup \bar{X}\vec{s} \tag{2}$$

其中符号  $\vec{p}$  和  $\vec{s}$  分别表示水平和垂直偏振状态。同样的编码结构核  $CE(S)$  如图 2(d) 所示, 它可表示为

$$\text{CE}(s) = (S_1\vec{p}, S_2\vec{s}) = S_1\vec{p} \cup S_2\vec{s} \quad (3)$$

显然, 偏振编码图像  $\text{CE}(X)$  符合下列条件

$$\text{CE}(X) \ominus A\vec{p} = (X\vec{p} \cup X\vec{s}) \ominus A\vec{p} = (X \ominus A)\vec{p} \quad (4)$$

$$\text{CE}(X) \ominus A\vec{s} = (X\vec{p} \cup X\vec{s}) \ominus A\vec{s} = (X \ominus A)\vec{s} \quad (5)$$

其中  $A$  为任意图像。

偏振编码 HMT 表示为

$$\text{CE}(X) \ominus \text{CE}(S) \quad (6)$$

将方程(2)和(3)分别代入  $\text{CE}(X)$  和  $\text{CE}(S)$ , 方程(6)有

$$\begin{aligned} \text{CE}(X) \ominus \text{CE}(S) &= (X\vec{p} \cup X\vec{s}) \ominus (S_1\vec{p} \cup S_2\vec{s}) = \\ &[(X\vec{p} \cup X\vec{s}) \ominus S_1\vec{p}] \cap [(X\vec{p} \cup X\vec{s}) \ominus S_2\vec{s}] = \\ &(X \ominus S_1)\vec{p} \cap (X \ominus S_2)\vec{s} \end{aligned} \quad (7)$$

在不考虑输出图像的偏振状态下, 方程(7)是 HMT 的标准形式, 也就是说

$$X \ominus (S_1, S_2) = \text{CE}(X) \ominus \text{CE}(S) \quad (8)$$

### 3 基于偏振编码的排序击中击不中运算

排序 HMT 在有噪声的情况下对模式识别具有很好的性能。排序 HMT 也可以用偏振编码的方法实现。一个二元排序滤波器的集合定义为

$$X \Delta_r B = \{a: |X \cap B_a| \geq r\} \quad (9)$$

其中  $|B|$  为  $B$  中元素的数目, 对于二元图像它是  $B$  中的像素数; 阈值  $r$  为滤波器的顺序。注意, 如果  $r = |B|$  则  $X \Delta_r B$  是二元腐蚀  $X \ominus B$ ; 如果  $r = 1$  则  $X \Delta_r B$  是二元膨胀  $X \oplus B$ ; 其中  $B$  为  $B$  的反射, 它定义为

$$B = \{(-x, -y) | (x, y) \in B\} \quad (10)$$

在基于偏振编码的 HMT 中, 将方程(8)中的腐蚀用排序滤波算子和阈值  $n$  替代, 则基于偏振编码的图像  $X$  和结构核对  $(S_1, S_2)$  的  $n$  次排序, HMT 可表达为

$$X \ominus_n (S_1, S_2) = \text{CE}(X) \Delta_n \text{CE}(S) \quad (11)$$

其中  $n$  为偏振编码图像滤波器的顺序,  $n = N, N-1, \dots, 2, 1, N$  为结构核对 SE 中的像素数。

### 4 基于偏振编码的 HMT 的光学实现

形态学理论和线性位移不变系统之间是有联系的<sup>[3]</sup>。腐蚀可以由相关后取  $N$  (SE 中的像素数) 阈值表示

$$X \ominus S = (X * S) |_{T=N} = (X \diamond S) |_{T=N} \quad (12)$$

其中符号  $*$  和  $\diamond$  分别表示卷积和相关,  $T$  为阈值水平。

相应地, 方程(8)中的排序 HMT 可表示为

$$X \ominus (S_1, S_2) = \text{CE}(X) \diamond \text{CE}(S) |_{T=N} \quad (13)$$

根据方程(8), 基于偏振编码的排序 HMT 可表示为

$$X \ominus_n (S_1, S_2) = \text{CE}(X) \diamond \text{CE}(S) = \text{CE}(X) \diamond \text{CE}(S) |_{T=n} \quad (14)$$

### 5 基于偏振编码的 HMT 光学处理器

基于单通道非相干光学相关器和电子取阈的并行 HMT 处理器由图 3 所示。在由两个模板  $M_1$  和  $M_2$  组成的非相干光学相关器中, 后焦面的相关光强分布为

$$I(x, y) = \iint M_1 \left[ \xi + \frac{d}{f}x, \zeta + \frac{d}{f}y \right] M_2(\xi, \zeta) d\xi d\zeta \tag{15}$$

其中  $f$  为透镜的焦距,  $d$  为两块模板之间的距离。

在图 3(a) 所示的实验装置中, 一个被光照的液晶显示屏  $LC_1$  或模板  $M_1$  用来形成照明的偏振编码的结构核对  $CE(S)(S_1, \vec{p}, S_2s)$ 。另一块液晶显示屏  $LC_2$  或模板  $M_2$  显示偏振编码的二元图像  $CE(X)$ , 其中原图像  $X$  中的白点用  $\vec{p}$  偏振状态编码, 补图像  $\bar{X}$  用  $\vec{s}$  偏振状态编码。图 3(b) 所示的实验装置的原理同上, 但是图像在  $M_1$  上, 结构核在  $M_2$  上。一个 CCD 摄像机放在后焦面上, 用来探测相关图案, 探测到的相关图案由 PC 机进行取阈操作后得到所需结果。结果图像可由 PC 机反馈回液晶显示屏  $LC$  上以进行下一步处理。

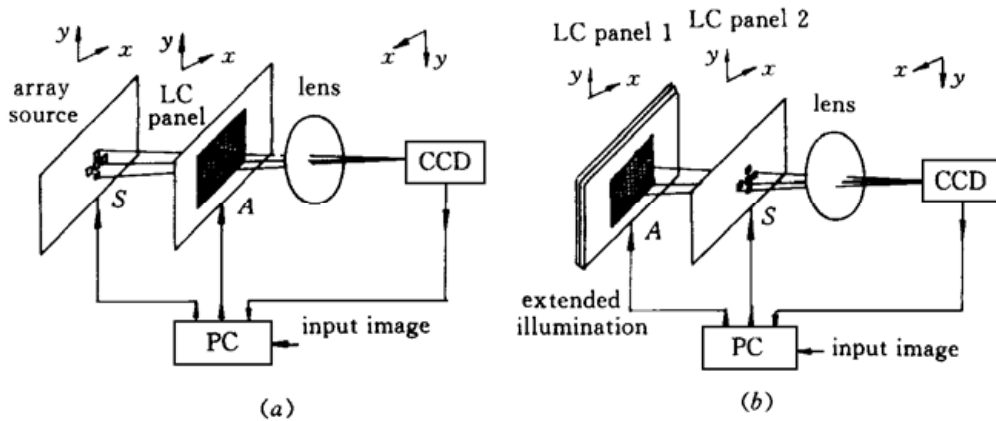


图 3 光学偏振击中击不中处理器的两个安排  
(a) 用一个照明的结构核; (b) 用一个照明的输入图像

Fig. 3 Two arrangements for optical PE HMT processor  
(a) with an illuminated structuring element; (b) with an illuminated input image

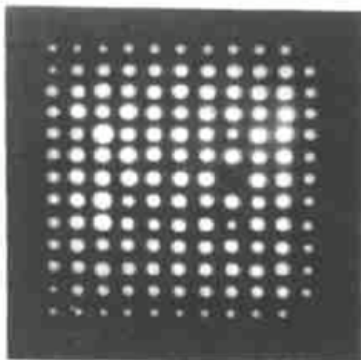


图 4 编码的输入图像与编码的结构核对相关实验结果

Fig. 4 Experimental correlation pattern of the coded input image and the structuring element pair

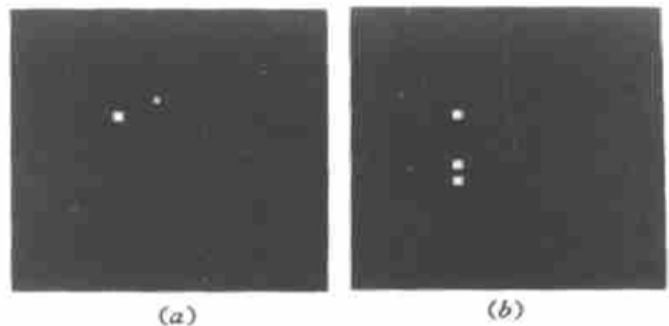


图 5 击中击不中运算的实验结果  
(a) 在水平 6 对相关结果取阈; (b) 对相关结果在水平 5 取阈

Fig. 5 Experimental result of the HMT  
(a) Thresholded correlation pattern with the level of 6;  
(b) thresholded pattern with the level of 5

## 6 实验验证

实验中,我们选用图 3 (a) 所示的实验装置实现基于偏振编码的 HMT。偏振编码的输入图像如图 2 (c) 所示,它在 LC 上有  $10 \times 11$  像素,每个像素的尺寸为  $1.02 \text{ mm} \times 1.02 \text{ mm}$ ,间距为  $1.36 \text{ mm}$ 。偏振编码的结构核对具有相同的几何结构。透镜的焦距为  $135 \text{ mm}$ ,两块 LC 板的距离设计为  $420 \text{ mm}$  以使结果图像在 CCD 的线性区。图 2 (d) 是结构核对,它共有 6 个像素。图 4 为由 CCD 采集到的相关结果照片。图 5 (a) 和 (b) 分别表示 6 次排序 HMT (普通的 HMT) 和 5 次排序 HMT 的结果。

### 参 考 文 献

- 1 J. Sarra. Image Analysis and Mathematical Morphology. New York: Academic Press, 1982
- 2 P. Maragos. Tutorial on advances in morphological image processing and analysis. *Opt. Eng.*, 1987, **26** (7): 623~ 632
- 3 K. S. Huang, B. K. Jenkins, A. A. Sawchuk. Binary image algebra and digital optical cellular logic processor design. *Comput. Vision Graphics Image Process*, 1989, **45**: 295~ 345
- 4 Karl-Heinz Brenner, Alan Huang, Norbert Streibl. Digital optical computing with symbolic substitution. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(18): 3054~ 3060
- 5 David Casasent, Robert Sturgill. Optical hit-or-miss morphological transforms for ATR. *Proc. SPIE*, 1990, **1153**: 500~ 510
- 6 D. Casasent, R. Schaefer, R. Sturgill. Optical hit-miss morphological transform. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(29): 6255~ 6263
- 7 L. Liu. Morphological hit-or-miss transform for binary and gray-tone image processing and its optical implementation. *Opt. Eng.*, 1994, **33**(10): 3447~ 3454
- 8 L. Liu. Optical parallel rank order hit-miss transform and its applications. *Optik*, 1995, **99**(1): 13~ 17
- 9 Shifu Yuan, Minxian Wu, Yingbai Yan *et al.*. One-step implementation of the optical hit-miss transform. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(35): 6881~ 6887
- 10 D. Bloomberg, P. Maragos. Generalized hit-miss operations. *SPIE*, 1990, **1350**: 116~ 128
- 11 Adolf W. Lohmann. Polarization and optical logic. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(10): 1594~ 1597
- 12 Mohammad A. Karim, Abdul Ahad S. Awwal, Abdallah K. Cherri. Polarization-encoded optical shadow-casting logic units: design. *Appl. Opt.*, 1987, **26**(14): 2720~ 2725
- 13 Masashi Hashimoto, Ken-ichi Kitayama, Naohisa Mukohzaka. Space-variant operations using an optical parallel processor based on polarization encoding. *Opt. Lett.*, 1989, **14**(8): 384~ 386
- 14 Abdul Ahad S. Awwal, Mohammad A. Karim. Multiprocessor design using polarization-encoded optical shadow-casting. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(14): 2107~ 2112
- 15 Jamal U. Ahmed, Abdul Ahad S. Awwal. Polarization-encoded optical shadow-casting arithmetic-logic-unit design: separate and simultaneous output generation. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(26): 5622~ 5631

## One-channel Hit-miss Transform Using Polarization Encoding

Jing Hongmei Liu Liren

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

**Abstract** A one-channel optical hit-miss transform processor is proposed, which is based on incoherent correlation with polarization-encoding method to code input image and structuring element pair and electronic thresholding. The polarization-encoding-based rank-order HMT, which yields better performance in the presence of noise and clutter, can be carried out by the using variable levels. Experimental results are also given.

**Key words** mathematical morphology, optical hit-miss transform, optical incoherent correlation, polarization-encoding