

文章编号: 0253-2239(2006)10-1479-4

利用偏振编码实现取零阈值的单通道击中与否运算

韦 嘉 景红梅 周 静 刘大禾

(北京师范大学物理学系,应用光学北京市重点实验室,北京 100875)

摘要: 基于数学形态学的对偶法则以及数学形态学理论与线性位移不变系统理论间的关系,引入了偏振编码技术,提出使击中与否运算通过单通道取零阈值非相干光学相关器来实现的方案。该方案采用偏振编码,将图像的前景和背景都包含在一个编码图像中,从而使击中与否运算可以用一个腐蚀算子完成(即通过单通道实现),大大简化了实验装置,节约了空间,降低了对光路调节的要求。同时,通过取零阈值,消除了由于入射光强分布不均匀及 CCD 光电响应的非完全线性所导致的对输出图像取阈值时出现的误差。最后,还对该方案进行了实验验证,结果表明这是一种方便、准确、有效的图像处理方法。

关键词: 图像处理; 形态学击中与否变换; 偏振编码; 0 阈值

中图分类号: TP751 文献标识码: A

One-Channel Hit-Miss Transform with Zero Threshold by Polarization Encoding

Wei Jia Jing Hongmei Zhou Jing Liu Dahe

(Applied Optics Beijing Area Major Laboratory, Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: Based on the duality theory of mathematical morphology and the relation between the mathematical morphological theory and linear shift invariant system, polarization-encoding method is introduced and a scheme is proposed to realize hit-miss transform by one-channel and zero-threshold value incoherent optical correlator. With polarization encoding, the scheme combines the foreground and background of an image into an encoded image, so the hit-miss transform can be completed by an erosion operator, one-channel realization. The experimental setup is simplified greatly, more compact, and the demand for adjusting light path is reduced. Because of the zero threshold, the error for the threshold of output image resulted from the nonuniformity of optical intensity distribution and the imperfect linearity of CCD optoelectronic response is avoided. The experimental result proves the convenience, accuracy and validity of the scheme.

Key words: image processing; morphological hit-miss transformation; polarization encoding; zero threshold

1 引 言

数学形态学的击中与否运算被广泛用于模式识别中,它将一幅图像分为两部分,即前景和背景,当前景与背景都分别与待识别模式的前景和背景相匹配时,就可以认为图像中含有该模式。换句话说就是击中与否变换是一个精确模板匹配操作。目前,已有几种光学装置被提出^[1~5]用于实现击中与否操作,但都各有优劣。如文献[1]中,击中与否运算是

通过双通道来实现的。此方案在进行相关操作时会产生四幅图像,我们所需要的是将其中两幅图像重合叠加,这就对实验光路的调节提出了较高的要求。并且,由 CCD 接收后的输出图像,还必须用计算机对 N (N 为结构核中的像素数)取阈值才能得到最终需要的结果。而在实验中,由于光强分布的不均匀及 CCD 光电响应的非完全线性,对于大的图像和结构核对,极易因为相关操作时的累积效应,导致计

作者简介: 韦 嘉(1981~),女,广西人,北京师范大学物理系硕士研究生,主要从事信息光学的研究。

E-mail: irene_811022@163.com

导师简介: 景红梅(1971~),女,山西人,北京师范大学物理系副教授,主要从事光学信息处理、光计算的研究。

E-mail: hmjing@bnu.edu.cn

收稿日期: 2006-01-23; 收到修改稿日期: 2006-04-23

算机取阈值时发生错误判断,产生误差。文献[5]提出了取零阈值的方法,有效地消除了此类误差,但仍然需要通过双通道来实现。有人提出用单通道的方法来实现击中与否运算^[2~4],以此来简化实验光路,但累积误差不但不能消除,甚至还引入了别的复杂方法。如文献[3]中的方案,就需要两列对一个像素编码,而且还需要解码板。

本文综合了文献[4,5]的优点,提出一种利用偏振编码的方法来实现取零阈值的单通道击中与否运算,使得光学实现由双通道变为单通道,降低对实验光路的要求,并且只需要一列对一个像素编码,不需要解码板,而且将对 N 取阈值变为对 0 取阈值,消除累积误差,使结果一目了然,直接在光屏上成像即可看到。最后,还对这种方法进行了实验验证。

2 利用偏振编码实现取零阈值的单通道击中与否运算的原理

用 X 来表示分立的二值输入图像,用 \bar{X} 来表示它的二值补图像,则按定义,图像 X 与结构核 (S_1, S_2) 的击中与否运算可以表示为

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

式中 S_1 和 S_2 分别表示前景和背景结构核($S_1 \cap S_2 = \phi$);总的结构核 $S = S_1 \cup S_2$; \otimes 表示击中与否运算; \ominus 表示腐蚀运算。

在传统的击中与否光学实现中,主要是分为三步来进行的:第一步,用腐蚀操作 $X \ominus S_1$ 识别前景结

构核 S_1 ;第二步,用腐蚀操作 $\bar{X} \ominus S_2$ 识别背景结构核 S_2 ;第三步,通过交集操作得到最后的识别结果。因而,许多光学实现击中与否运算的方法都是采用双通道来分别完成第一步和第二步的。如果利用光的偏振特性,引入偏振编码技术^[4],可以将这两步合成一步,即将双通道变为单通道使第一步和第二步同时实现,从而避免了双通道实现时为了使所需要的两个图像重叠、不需要的图像分开对光学系统的要求,使击中与否运算的实现更简便。

在偏振编码中,每个像素都用光的两种正交状态中的一种状态来表示。如果将背景图像 \bar{X} 和前景结构核 S_1 用水平偏振状态(p)表示,将前景图像 X 和背景结构核 S_2 用垂直偏振状态(s)表示,再根据数学形态学的对偶法则击中与否运算可表示为

$$X \otimes (S_1, S_2) = (X \ominus S_1) p \cap (\bar{X} \ominus S_2) s = (\bar{X} p \oplus \check{S}_1 p)^c \cap (X s \oplus \check{S}_2 s)^c, \quad (2)$$

其中 \oplus 表示膨胀运算,括号右上方的 c 表示取补集, \check{S}_1 (或 \check{S}_2) 是 S_1 (或 S_2) 对于图像原点的反射。

把图像 X 和 \bar{X} 合并成一个编码图像 $CE(X)$, 结构核 S_1 和 S_2 合并成一个编码结构核 $CE(S)$, 两图中的共同背景都分别编码为 0, 则有

$$CE(X) = \bar{X} p \cup X s, \quad (3)$$

$$CE(S) = S_1 p \cup S_2 s. \quad (4)$$

由于偏振光只能通过与它具有相同偏振状态的像素,所以偏振编码图像 $CE(X)$ 符合下列条件:

$$CE(X) \oplus \check{S}_1 p = (\bar{X} p \cup X s) \oplus \check{S}_1 p = (\bar{X} p \oplus \check{S}_1 p) \cup (X s \oplus \check{S}_1 p) = \bar{X} p \oplus \check{S}_1 p, \quad (5)$$

$$CE(X) \oplus \check{S}_2 s = (\bar{X} p \cup X s) \oplus \check{S}_2 s = (\bar{X} p \oplus \check{S}_2 s) \cup (X s \oplus \check{S}_2 s) = X s \oplus \check{S}_2 s, \quad (6)$$

于是,(2)式变为

$$X \otimes (S_1, S_2) = [CE(X) \oplus \check{S}_1 p]^c \cap [CE(X) \oplus \check{S}_2 s]^c = \{[CE(X) \oplus \check{S}_1 p] \cup [CE(X) \oplus \check{S}_2 s]\}^c = [CE(X) \oplus (\check{S}_1 p \cup \check{S}_2 s)]^c = [CE(X) \oplus \check{CE}(S)]^c, \quad (7)$$

再利用形态学理论与线性位移不变系统理论间的关系^[6]:

$$X \ominus S = (\bar{X} \oplus \check{S})^c = [(\bar{X} * \check{S})|_{T=1}]^c = (\bar{X} * \check{S})|_{T=0} = (\bar{X} \diamond S)|_{T=0}, \quad (8)$$

其中 $*$ 表示卷积, \diamond 表示相关, T 是取阈值。(7)式变为

$$X \otimes (S_1, S_2) = \{[CE(X) * \check{CE}(S)]|_{T=1}\}^c = [CE(X) * \check{CE}(S)]|_{T=0} = [CE(X) \diamond CE(S)]|_{T=0}, \quad (9)$$

从(9)式可以看到,击中与否运算可以由编码图像 $CE(X)$ 与编码结构核 $CE(S)$ 通过单通道取零阈值非相干光学相关器来实现,从而成功地解决了双通道变单通道的问题,并且使击中与否变换能在 0 水平取阈值实现,也就是说,输出图像中光强为 0 的像

素即为击中与否变换的结果。由于输入时每个像素的光强不小于 0,不存在累积效应,所以取阈值时不存在误差。而且,在光学上判别一个 0 值与非 0 值比判别 2 个非 0 值更容易。因此,这种方法更简便、准确。

3 实 验

本文提出一种基于单通道取零阈值非相干光学相关器来实现击中与否运算的方案,我们通过实验 1 和实验 2 对这个方案进行了验证.两实验采用相同的光路(如图 1 所示)和输入图像 X (如图 2 所示),但是选用不同的结构核.在图 1 所示的实验光路中,模板 M_1 为偏振编码后的输入图像 $CE(X)$,模板 M_2 为偏振编码后的结构核 $CE(S)$,此时透镜 L 后焦面 P 上的相关光强分布为

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

其中 f 是透镜的焦距, d 是两块模板之间的距离.

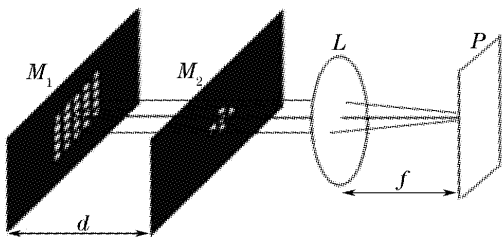


图 1 基于单通道取零阈值非相干光学相关器来实现击中与否运算的实验光路

Fig. 1 Experimental optical setup to implement hit-miss transform by the zero-threshold and one-channel incoherent optical correlator

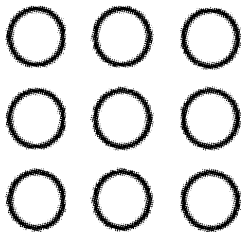


图 2 输入二值图像 X

Fig. 2 Input binary image X

实验 1 的结构核 S 如图 3 所示,其中白点为前景结构核 S_1 ,黑点为背景结构核 S_2 .将输入的二值图像 X 的背景图像 \bar{X} 和前景结构核 S_1 用水平偏振状态(p)表示,将前景图像 X 和背景结构核 S_2 用垂直偏振状态(s)表示,则偏振编码后的图像 CE

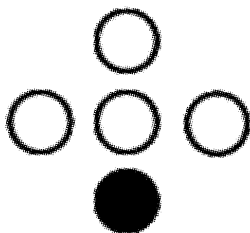


图 3 实验 1 中的结构核 $S=S_1 \cup S_2$

Fig. 3 Pattern of the structuring element $S=S_1 \cup S_2$ in experiment one

(X)如图 4(a)所示,它共有 5×5 个像素,偏振编码结构核 $CE(S)$ 如图 4(b)所示,它有 5 个像素.模板中每个像素的尺寸约为 $0.58 \text{ mm} \times 0.58 \text{ mm}$,相邻两个像素中心间距约为 1.08 mm ,透镜焦距为 360 mm .由理论推导可以得到透镜后焦面上相关强度分布的数字模拟,如图 5 所示.而图 6 则是照相机在透镜后焦面上所拍摄的结果.可以看到,在亮点的中心有一点光强为零,这就是击中与否运算的结果,说明在图像 X 中含有一个形如 S_1 但不含 S_2 的结构元素.

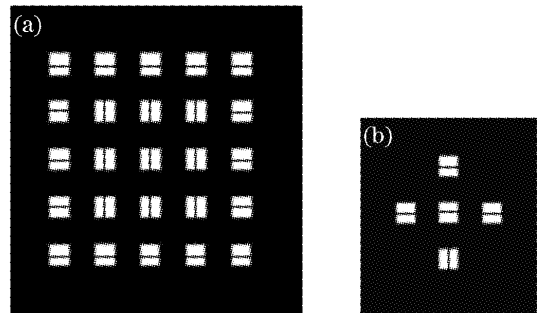


图 4 编码图像 $CE(X)$ (a)和实验 1 的编码结构核 $CE(S)$ (b)

Fig. 4 Coded input image $CE(X)$ (a) and coded structuring element $CE(S)$ (b) in experiment one

1	2	4	4	4	2	1
1	2	3	2	3	2	1
1	2	2	1	2	2	1
1	2	1	0	1	2	1
1	3	3	3	3	3	1
	1	1	1	1	1	

图 5 实验 1 的相关强度分布的数字模拟

Fig. 5 Calculated correlated intensity distribution in experiment one

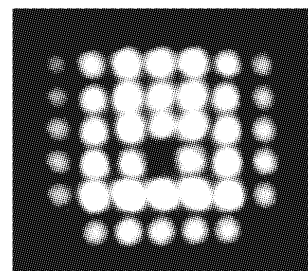


图 6 实验 1 的光学相关结果

Fig. 6 Optical correlation result in experiment one

实验 2 与实验 1 相比,采用相同的编码方法和二值输入图像 X ,所以偏振编码后的图像 $CE(X)$ 仍如图 4(a)所示,但结构核少了一个像素,变为如图 7(a)

所示,则编码后的结构核 $CE(S)$ 如图 7(b) 所示。同样可以得到相关强度分布的数字模拟(如图 9)以及透镜后焦面上的输出图像(如图 8)。此时,输出图像中有两点光强为零,说明图像 X 中有两个形如 S

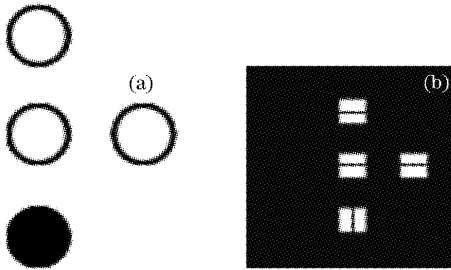


图 7 实验 2 中的结构核 S (a) 和编码结构核 $CE(S)$ (b)
 Fig. 7 Pattern of the structuring element S (a) and coded structuring element $CE(S)$ (b) in experiment two

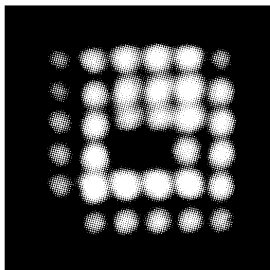


图 8 实验 2 的光学相关结果

Fig. 8 Optical correlation result in experiment two

1	2	3	3	3	1
1	2	2	2	3	2
1	2	1	1	2	2
1	2	0	0	1	2
1	3	2	2	2	2
	1	1	1	1	1

图 9 实验 2 的相关强度分布的数字模拟

Fig. 9 Calculated correlated intensity distribution in experiment two

的结构元素。

4 结 论

本文提出了一种利用偏振编码来实现取零阈值的单通道击中与否运算的方法并用实验进行了验证。由图 1 可以看到,该方法使需要双通道来实现的两次腐蚀通过偏振编码后由单通道一次同时实现,简化了实验,降低了对实验设备的要求。对比图 5 和图 6(或者图 8 和图 9),还可以发现,0 值与非 0 值的区别非常明显,而要判断光强值为 1、2、3 或者 4 时比较困难。尤其当入射光强分布不均时,输出图像中光强理论值应该小的像素,还有可能比光强理论值应该大的像素光强更强。因此,将对 N 取阈值变为对 0 取阈值很好地消除了由于入射光强不均导致的累积误差,从而提供了一种方便、准确、有效的图像处理手段。

参 考 文 献

- 1 Liren Liu. Morphological hit-or-miss transform for binary and gray-tone image processing and its optical implementation [J]. *Opt. Engng.*, 1994, **33**(10): 3447~3455
- 2 D. Casasent, R. Schaefer, R. Sturgill. Optical hit-miss morphological transform[J]. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(29): 6255~6263
- 3 Shifu Yuan, Minxian Wu, Yingbai Yan *et al.*. One-step implementation of the optical hit-miss transform[J]. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(35): 6881~6887
- 4 Jing Hongmei, Liu Liren. One-channel hit-miss transform using polarization encoding[J]. *Chin. J. Lasers*, 2000, **A27**(5): 440~444 (in Chinese)
景红梅,刘立人. 利用偏振编码的单通道击中与否运算[J]. *中国激光*, 2000, **A27**(5): 440~444
- 5 Jing Hongmei, Yan Xiaona, Liu Dahe. Optical correlation with 0-thresholding to perform the hit-miss operation[J]. *J. Beijing Normal University (Natural Science)*, 2004, **40**(3): 343~346 (in Chinese)
景红梅,阎晓娜,刘大禾. 光学相关取零阈值实现击中与否运算[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004, **40**(3): 343~346
- 6 K. S. Huang, B. K. Jenkins, A. A. Sawchuk. Binary image algebra and optical cellular logic processor design [J]. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 1989, **45**(3): 295~345