

文章编号 1004-924X(2005)06-0747-07

一种弹孔自动识别算法的研究

张旭光^{1,2}, 孙巍³, 韩广良¹, 王延杰¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 吉林大学 测试科学实验中心, 吉林 长春 130025)

摘要:提出了在室外环境下从胸环靶图像中实时提取弹孔的算法。采用灰度投影法从靶位图中提取胸环靶有效区域, 利用数学形态学突出弹孔特征, 排除数字的干扰, 并克服弹孔间的部分重叠, 最后利用模糊理论准确地识别出弹孔。识别弹孔时利用直方图得到阈值, 从而去除不可能为弹孔的点以减少计算。提出判断周围像素分布的方法解决区域内脱靶问题。结果表明, 本算法可准确地提取胸环靶图像中的弹孔, 对不同环境有着较高的适应能力。对于大小为 640×480 的图像, 计算时间仅约 150 ms, 并且可以识别部分重叠的弹孔。

关键词:靶位图; 胸环靶图; 数学形态学; 隶属度; 灰度投影

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

An automatic recognition algorithm for bullet holes

ZHANG Xu-guang^{1,2}, SUN Wei³, HAN Guang-liang¹, WANG Yan-jie¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*; 3. *Test Center of Jilin University, Changchun 130025, China*)

Abstract: An algorithm to extract the bullet holes from a chest bitmap out of doors real-time was proposed. A gray projection algorithm was used to extract the chest bitmap from the target bitmap. The mathematical morphology was used to stress the character of bullet holes and to overcome the disturbance of figures. Using mathematical morphology could resolve the overlapping of the bullet holes, then the fuzzy theory was used to extract the target holes accurately. For recognising the bullet holes, the histogram of the target bitmap was used to gain a threshold to exclude the pixels which could not become bullet holes to reduce the complication of computation and a strategy judging the distribution of the pixels around the target holes was used to exclude the invalidation bullet holes. Experiment results show that the algorithm can extract bullet holes accurately and adapt to various circumstances. If the size of the bitmap is 648×480 , it only needs 150 ms to complete this algorithm. The new algorithm can also overcome the overlapping of the target holes.

Key words: target bitmap; chest bitmap; mathematical morphology; membership degree; gray projection

1 引言

弹孔的自动识别对科技练兵有着重要作用,可以加快军队训练速度,提高训练质量。对于室内的环境,由于靶面固定,在连续打靶过程中不存在图像的偏移和畸变,所以可通过差分的方法准确地识别弹孔。对于室外的复杂环境,由于靶面难以固定,当弹孔打在靶面时会引起靶面的震动,同时风吹等自然条件也会使图像产生轻微的变化,光照条件的变化也明显,因此室外环境下弹孔的准确识别在当前依然是一个难点。室外环境下不能用简单的图像差分去提取弹孔,应直接对弹孔进行特征识别。本文将数学形态学^[1,3]、图像的灰度投影^[2]、根据图像直方图自适应选取阈值和模糊理论^[4]结合在一起,实现了对室外弹孔图像的自动识别。实验表明本算法可准确识别弹孔,并能克服弹孔间距离近,甚至部分重叠的现象。

2 弹孔识别算法

对于弹孔图像,由于从弹孔内反射回的光线较少,弹孔处的灰度值会比周围像素的灰度值低,这是弹孔的最基本的特征,如图 1 所示,所以可根据弹孔的灰度值与邻近一定区域的像素灰度值之间的差别来识别弹孔。但是由于数字及环线的灰度值较高,在数字及环线附近,就会出现某区域比周边区域灰度值低很多的现象,即在数字及环线周围很容易形成与弹孔相似的特征。为避免误识别,在进行弹孔识别之前首先要用数学形态学将数字及白色环线腐蚀掉,然后再利用模糊理论根据弹孔特征进行识别。由于对整个图像进行判断将消耗大量时间,所以利用图像直方图来自适应选取合适的阈值以缩小可能为弹孔的范围。

2.1 图像预处理

弹孔的基本特征为弹孔区域的平均灰度比弹孔周围区域的平均灰度低,而在图像中数字及环线等区域灰度值非常大,与其周围的区域相比就会出现较大的灰度差,也就容易出现类似弹孔的特征。为避免干扰,需对图像进行预处理,即将图像中灰度值非常大的白色区域置成图像靶面区域的平均色以减小高灰度值区域的干扰。



图 1 弹孔特征图像

Fig. 1 Character of bullet holes

2.2 基于形态学的灰度腐蚀处理

数学形态学图像处理是以几何学为基础的,它着重研究图像的几何结构。形态学是一门建立在严格数学理论基础上的学科。形态学研究图像几何结构的基本思想是利用一个结构元素去探测一个图像,去度量 and 提取图像中的对应形状,以达到图像分析和识别的目的。通过形态学的灰度腐蚀可以突出图像中的某些结构。根据弹孔图像的特点,可以选择适当的结构元素突出弹孔特征,并腐蚀掉数字和环线。数学形态学的灰度腐蚀定义为^[3]:

$$(f \otimes g)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - g(x, y) \mid (s+x), (t+y) \in D_f, (x, y) \in D_g\}, \quad (1)$$

其中 D_f 和 D_g 分别是 f 和 g 的定义域。在进行形态学腐蚀的时候最重要的就是结构元素的选择。结构元素的选择与从图像中抽取何种信息有密切的关系,构造不同的结构元素,便可以完成不同的图像分析,得到不同的分析结果。对于弹孔图像,虽然弹孔近似圆形,但是弹孔大小不完全相同并且清晰度不同,同时弹孔的灰度值比周围像素低。为了方便计算不必要用圆形的结构元素,可根据实际图像的大小采用适当的方形结构元素。通过形态学的腐蚀操作,可去除数字和环线,并且可以使弹孔的灰度低的特征更加突出。本文

采用的结构元素为 $g = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ 。图 2 显示了进行形态学腐蚀后的图像,可以看出弹孔的特征更加明显,并且有效地克服了数字和环线的干扰。

2.3 用模糊理论识别弹孔

根据弹孔处像素灰度值明显低于周围像素的特点,可实现对弹孔的准确识别。弹孔的大小差异不是很大,可以计算弹孔大小的区域的平均灰

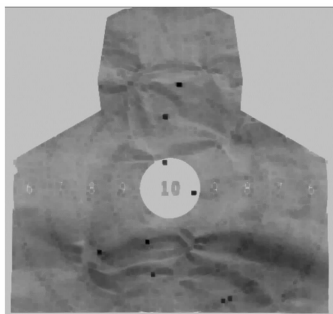


图 2 预处理及形态学腐蚀后的图像
Fig. 2 Image preprocessed and eroded

度与其周围一定区域的平均灰度的差异,根据此差异来判断是否为弹孔。由于图像的亮度以及对比度都会有变化,所以无法直接设定通用的阈值来识别弹孔,故引入模糊理论来自适应识别弹孔^[5]。

设所要识别的区域为 $b(x, y)$,长、宽分别为 M_b, N_b ,其像素的平均灰度为 B 。在该区域外部取周围一定大小的区域,可取周围 8 块与 $b(x, y)$ 一样大小的区域,设周围区域包括 $b(x, y)$ 后的总区域为 $a(x, y)$,长宽为 M_a, N_a , A 为 $a(x, y) - b(x, y)$ 区域的平均灰度。则

$$A = \frac{1}{M_a \times N_a - M_b \times N_b} \left[\sum_{i=0}^{M_a} \sum_{j=0}^{N_a} a(i, j) - \sum_{i=0}^{M_b} \sum_{j=0}^{N_b} b(i, j) \right], \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{M_b \times N_b} \left[\sum_{i=0}^{M_b} \sum_{j=0}^{N_b} b(i, j) \right]. \quad (3)$$

由于在室外条件下光线会使图像有一定变化,所以直接用 $B - A$ 所获得的弹孔区域灰度值与周围区域灰度值之差会随着图像亮度及对比度的变化而无法准确地识别出弹孔,因此引入模糊理论去智能识别弹孔。设以图像中每一个可能为弹孔的点为中心确定的区域 $b(x, y)$ 构成论域 U ,设在 U 上给定映射 $\mu_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0, 1]$ 使 $x \in U \rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]$ 则称确定了论域 U 上的一个模糊子集 \tilde{A} , $\mu_{\tilde{A}}$ 为 \tilde{A} 的隶属函数, $\mu_{\tilde{A}}$ 为 x 属于 \tilde{A} 的隶属度。设计隶属度为:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \frac{1}{1 + \frac{x/2}{(A-x)^2}}, \quad (4)$$

通过实验可以得知,可以确定一个隶属度来判定满足该隶属度的像素点为弹孔。本文实验中采用

$\mu_{\tilde{A}}(x) = 0.85$ 。经过这样的判定后可在图像中提取出如图 3 所示的弹孔。

2.4 弹孔中心的提取及重叠弹孔的处理

2.4.1 提取弹孔中心及部分重叠弹孔的处理

在弹孔识别中,重叠弹孔的处理是个难题,文献^[6]通过高斯模型来解决部分重叠问题^[6]。本文采用一种简单的办法将弹孔中心的识别与弹孔间部分重叠问题同时处理,加快了计算速度。由于采用了数学形态学对图像进行了处理,因此提取出的弹孔不存在空洞。在经过二值化后的图像中,弹孔为图 3 所示的黑点,尽管弹孔的大小不

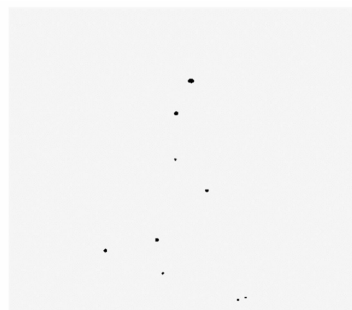


图 3 弹孔的模糊识别

Fig. 3 Recognition of bullets by fuzzy theory

同,但仍可以定义长、宽分别为 m, n 的区域 $A(x, y)$,使 A 满足以下条件: $A(i, j) = 0$,其中 $i = 0, 1, 2, \dots, m; j = 0, 1, 2, \dots, n$,从而任何弹孔都包含且仅包含一个 A 区域。可在二值化后的图像中搜索包含 A 区域特征的点,该点处存在弹孔。在找到一个弹孔后在该位置周围一定区域内求质心,该质心就是弹孔的中心。找到质心后随即将该弹孔质心周围稍大范围填充成白色区域,避免对同一弹孔进行重复识别。由于经过了形态学腐蚀处理,所以部分重叠的弹孔明显大于单个弹孔,在部分重叠的弹孔处就可以找到两个或者多个 A 区域,从而实现了重叠弹孔的识别。如两弹孔距离十分近,几乎完全重叠,导致仅包含一个 A 区域,则无法提取出两个弹孔。

2.4.2 由子弹飞行图像识别完全重叠弹孔

对于两个弹孔几乎完全重叠,甚至某次打靶子弹从已存在的弹孔处穿过的情形,由于在图像上只存在一个弹孔,应用任何算法都很难找出新弹孔。虽然此种情况发生的概率很小,但是会误报为脱靶,从而对射击者的成绩产生巨大的影响。对于比赛等要求准确率较高的场合,为避免误判,

可采用高帧频摄像机在结果图像的前一帧拍摄出子弹未击中弹孔时的图像。如摄像机距离靶位图 20 m, 子弹飞行速度为 700 m/s, 则采用帧频为 40 帧/s 的摄像机可保证在子弹击中前被拍摄到。由于子弹运动速度很快, 拍摄的子弹会形成拖尾现象, 可以由子弹的位置来判断该次打靶是否为脱靶。如果子弹从以往弹孔处穿过, 通过识别算法将找不到弹孔, 会给出脱靶的错误成绩。但通过帧前拍摄子弹位置即可以避免此情形发生。可通过子弹估算出弹孔落点, 提示此次报靶有误由人工查询。从结果图像以及子弹击中靶位图前的几帧图像中可分析出射击者的成绩。

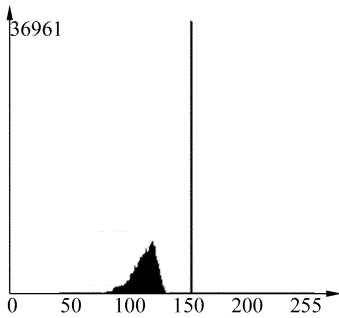


图 4 腐蚀后图像的灰度直方图
Fig. 4 Histogram of image eroded

2.5 由直方图选取阈值以减少计算量

由于弹孔为靶面图像中灰度值最小的区域, 所以在识别过程中, 灰度值明显大于弹孔灰度的点肯定不是弹孔, 在进行模糊判别时应只对可能为弹孔的点进行判别。由做过预处理及形态学腐蚀后的图像的直方图可看出(图 4): 弹孔在图像中占有一定数量的像素, 而灰度很低的噪声点仅为极少量的像素。因此可以寻找一个像素数量的阈值, 对腐蚀后的图像从灰度为 0 开始从低向高搜索, 当某一灰度值 P 的像素数目达到所设阈值, 则取该灰度值 $P+10$ 为可能存在弹孔的阈值 T 。对灰度值 $P+10$ 是因为弹孔灰度本身不均匀, 为了不漏掉真实弹孔, 不能用最小弹孔灰度做阈值, 而在其基础上加 10。通过调整阈值, 减少了计算的时间。

3 提取靶面有效区域

在进行弹孔识别时, 图像不可能只包含靶面区域, 靶面以外区域的干扰可能会引起错误的识

别, 因此需要提取出有效的靶面区域, 正确的提取有效区域还可以使算法仅应用在有效区域以减少计算量。常用的提取靶面区域的方法有模板匹配等, 但是计算量很大。本文采用灰度投影的方法来确定靶面有效区域。

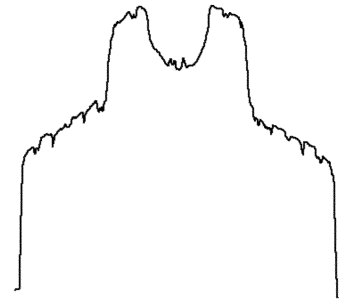
3.1 灰度投影法确定靶面区域

从胸环靶图像(图 5)可以看出, 图像绝大部分像素分布为深灰色靶面以及白色背景, 颜色相差明显且分布均匀。基于这个特点可以用灰度投影的方法来提取靶面区域。灰度投影法是按公式(5)、(6)将图像的灰度映射成 x, y 方向上的一维波形, 通过一维的波形很容易找到靶面在各个方向的边界。

$$G(i) = \sum_j G(i, j), \quad (5)$$

$$G(j) = \sum_i G(i, j). \quad (6)$$

式中 $G(i), G(j)$ 分别表示图像在第 i 列, 第 j 行的所有像素灰度值之和。 $G(i, j)$ 是图像上 (i, j) 位置处的像素灰度值。



(a) x 方向
(a) x orientation



(b) y 方向
(b) y orientation

图 5 胸环靶图像在 x, y 方向上投影曲线

Fig. 5 Projection curve of chest bitmap in x and y orientation

3.2 区域内脱靶的处理

计算成绩时,由图 1 可看出在七环以外区域存在白色的脱靶区域。此区域位于投影法提取的区域内,因此在识别时参加了计算,但是落在此区域的弹孔实际为脱靶。因为存在该处的弹孔在识别过程中已被识别成弹孔,为了不使此区域内的弹孔被当成有效弹孔,必须判断出该弹孔是否位于脱靶区域,这是利用所识别出的弹孔周围像素的平均灰度值来进行的。无效区域存在的图像背景都是白色,因此落在该区域的弹孔的周围区域的平均灰度值特别大,可根据这个特点来判断是否为有效成绩。实际应用中可先判断弹孔中心点是否位于可能为脱靶的区域,如位于该区域则求弹孔质心周围 10×10 大小的区域的平均灰度值,若平均灰度值大于阈值 T' 则为脱靶区域。阈值 T' 的选取由以下规则:求整个图像的平均灰度值 P_a 和最大灰度值 P_m ,则选取阈值 $T' = (P_a + (P_m - P_a) / 3)$ 。

4 算法流程和识别结果

图 6 给出了整个算法的流程。

利用本算法对多幅胸环靶图像进行了弹孔识别,实验表明,本算法均可以准确地识别出弹孔。图 7 显示了用本算法在不同光照条件下识别出的弹孔以及弹孔中心的位置,结果表明在阴天、背光、及阳光直射的环境下均可准确识别弹孔。由于本算法直接针对弹孔特征进行识别,因此可以克服胸环靶的轻微震动,采用形态学腐蚀使得算法可以准确识别部分重叠的弹孔。本文仅给出了弹孔识别算法,实际应用中要求每射击一发子弹后给出该次射击的成绩,因此在图像上会有许多以前打过的弹孔,需要排除每次射击前靶纸上已存在的弹孔,如果胸环靶震动幅度过大,将可能使本次的弹孔受到上次弹孔位置的影响,并且由于本算法没有进行图像校正,所以图像震动幅度应限制在两个像素以内。采用了灰度投影的策略提取了有效区域,并且利用对直方图的操作减少了

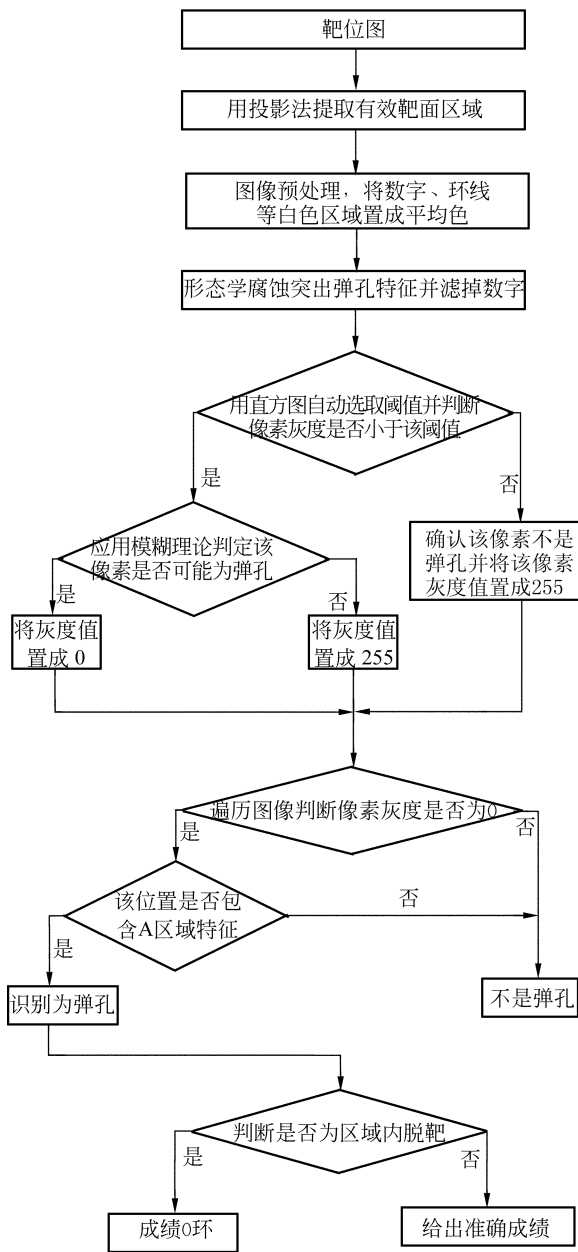


图 6 算法流程图

Fig. 6 Flow chart of the algorithm

计算量,使得算法可以在较短的时间准确识别出弹孔。实验在奔腾 1.4 G 的 PC 机上进行,对于 640×480 大小的图像,全部算法的计算时间约为 150 ms,完全可以达到实时处理,并且可以实现多个靶位同时计算。



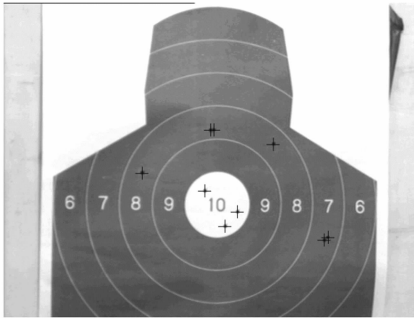
(a) 阴天

(a) Cloudy



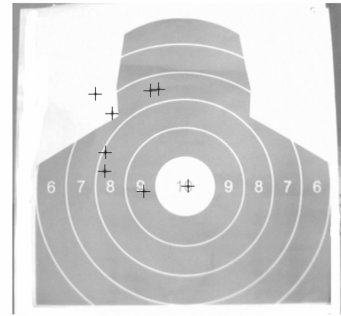
(e) 阳光直射

(e) Sunshine



(b) 识别结果

(b) Result of recognition



(f) 识别结果

(f) Result of recognition



(c) 晴天背光

(c) Poor light



(d) 识别结果

(d) Result of recognition

图 7 不同光照条件下的识别结果

Fig. 7 Recognition results at different illuminations

5 结 论

为了解决室外环境下的弹孔自动识别问题,文中提出了有效的识别方法,摆脱了利用图像差分思想的不足,直接提取出弹孔。采用了数学形态学、灰度投影原理、模糊理论、对直方图操作等方法有效地识别了弹孔,实现了在室外环境下稳定识别的目的,并有效地克服了弹孔间距离较近甚至重叠的现象。算法识别速度较快,结果准确,有很高的实用价值。本文算法不能克服大幅度的靶面震动产生的畸变,要克服大幅度的震动需利用图像复原技术来对靶面图像进行校正。

参考文献:

- [1] 崔屹. 图象处理与分析——数学形态学方法及应用[M]. 北京:科学出版社,2000:97-124.
CUI Y. *Image processing and analysis——Mathematical morphology method and application*[M]. Beijing:Science Press,2000:97-124. (in Chinese)
- [2] 韩广良,顾海军,宋建中,等. 基于实时序列图像复杂背景下运动目标的提取[J]. 吉林大学学报(信息科学版),2003,21(5):7-11.
HAN G L, GU H J, SONG J ZH, *et al.* Method of moving object pick-up under complex background base on the realtime sequence images[J]. *Journal of Jilin University (Information Science Edition)*, 2003, 21(5): 7-11. (in Chinese)
- [3] 王宇宙,赵宗涛,王旭红. 基于数学形态学的遥感图像分割算法[J]. 微电子学与计算机,2004,21(4):35-45.
WANG Y ZH, ZHAO Z T, WANG X H. A mathematical morphology-based segmentation algorithm for remotely sensed images[J]. *Microelectronics & Computer*, 2004, 21(4): 35-45. (in Chinese)
- [4] 高东发,黎绍发,林凯荣,等. 基于BZX-1系统的自适应图像处理快速算法设计[J]. 计算机工程,2004,30(8):149-161.
GAO D F, LI SH F, LIN K R, *et al.* Adaptive fast algorithm design of digital image processing based on BEX-1 system[J]. *Computer Engineering*, 2004, 30(8): 149-161. (in Chinese)
- [5] 李登峰. 模糊多目标多人决策与对策[M]. 北京:国防工业出版社,2003:1-7.
LI D F. *Fuzzy multiobjective many-person decision makings and games*[M]. Beijing:National Defence Industry Press,2003:1-7. (in Chinese)
- [6] 邵亚非,张利,吴国威. 一种基于模型的军用靶图序列弹孔检测算法[J]. 中国图像图形学报(A版),2001,6(11):1075-1078.
SHAO Y F, ZHANG L, WU G W. A model based detection algorithm for sequential target holes[J]. *Journal of Image and Graphics(A)*, 2001, 6(11): 1075-1078. (in Chinese)
- [7] 杨枝灵,王开. Visual C++数字图像获取处理及实践应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
YANG ZH L, WANG K. *The acquiring processing and application of digital image using Visual C++*[M]. Beijing:Post & Telecom. Press,2003. (in Chinese)

作者简介:张旭光(1978—),男,吉林长春人,博士研究生,主要研究作为数字图象处理,目标识别。E-mail:mtnf2000@yahoo.com.cn