

一种基于模型的军用靶图序列弹孔检测算法

邵亚非 张利 吴国威

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

摘要 军用靶图上的弹孔, 成像后可被认为是灰度背景上的一些斑点, 这样, 对这些弹孔的检测就归结为在图象中寻找单独或重叠点的问题, 而这些点迹可被认为是只具有灰度特性, 而没有纹理和其他内在细节的斑点. 针对重叠弹孔识别较困难的问题, 为了在计算量增加不大的情况下, 确保子弹孔检测的可靠性, 提出了一种基于模型的序列弹孔检测算法. 该算法不仅可对灰度背景中的斑点进行描述和定位, 而且可以适用于不同灰度、不同尺寸和背景斑点的检测. 因此可将这一方法用于弹孔的识别, 同时根据靶图的实际情况, 还引入反馈的机制, 因而取得了很好的检测效果.

关键词 弹孔检测 模型匹配 反馈

中图分类号: TP391.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2011)11-1077-04

A Model Based Detection Algorithm for Sequential Target Holes

SHAO Ya-fei, ZHANG Li, WU Guo-wei

(Department of Electronic Engineering Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstracts The visual detection of bullet holes in a target usually can be formulated as a problem of how to exactly locate in an grayscale image the isolated and overlapping spots, which are treated as image structures without inner detail and texture. In this paper a model based matching algorithm is used to deal with this problem. A non-linear model is used to describe gray and position information of those spots in a grayscale background and overlapped spots can be seen as single spots with intersection. Then the model matching process is applied to search and locate isolated and overlapping spots with various sizes, gradients and backgrounds. When we use this algorithm for holes detection and recognition in a military target, according to the characteristic of the time-axis distribution of bullet holes, a feed back method is used for better performance. Experiments show it works well and achieves high reliability in real environments.

Keywords Bullet holes detection, Model matching, Feedback

0 引言

因为军用靶图上的弹孔, 成像后可以被认为是灰度背景上的一些斑点, 而且这些斑点可以看作是只具有灰度特性, 而没有纹理和其他内在细节的点, 所以能够用一个简单的灰度模型来描述它们. 相对而言, 虽然检测孤立的弹孔比较容易, 因为可以通过适当的滤波匹配来确定它们的位置和大小, 但是对于重叠的弹孔, 则较为困难; 另一个问题是, 当图象中的噪声较大, 并且光照不均匀时, 如何确保检测结果的可靠性, 同时要使计算量并没有很大的增加.

对于灰度斑点的检测而言, 最简单的方法是利用它与背景在灰度值上的差异, 例如所有高于某一阈值的像素都可以被认为是目标^[1], 但由于这种方法没有利用到灰度变化的梯度特性, 因此容易受噪声的影响; 一种改进的方法是模板匹配法^[2], 但是由于它的尺寸往往是固定的, 而弹孔的大小可变, 因此, 需要构造多个模板来进行匹配, 且模板不具有旋转不变性; Hough 变换也被用来检测圆点^[3], 另外, 人们还根据高斯和小波函数的幅度特性来构造检测模板^[4], 但是由于往往会遇到计算量很大的问题, 因此不能满足于实时处理的需要.

本文提出了一种基于模型的检测算法, 并且根

据弹孔识别的实际情况,还引入了反馈的机制,其在军用靶图的弹孔识别中取得了很好的效果.本文的方法是:首先,对图象进行预处理;然后使用局部灰度特性来为模型匹配确定初始点,接着,根据这些初始点,使用一种高斯模型来进行匹配;最后,对判决的结果进行验证,根据序列靶图的特点,又引入反馈处理方法,进一步增强了系统的鲁棒性.

1 算法描述

算法的流程如图1所示.

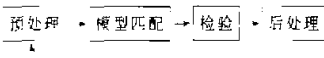


图1 算法流程

1.1 预处理

由于军用靶图成象后同时伴随着大量的噪声,其对检测的结果会有很大的影响,因此,首先应使用一个 3×3 的滤波器来对图象进行平滑.另外,在实际成象过程中还存在着光照的影响,由于靶图具有相似的灰度分布,因此本文采用直方图归一化的方法来将不同光照条件下的靶图转换为标准灰度分布进行处理.

为了减小模型匹配的计算量,首先必须找到进行匹配运算的起始象素,因为在它们的附近,才可能有弹孔存在,这里选择图象中的局部最低点作为初始点,本文使用如图2所示的窗口检测方法检测该初始点.

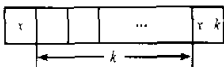


图2 检测局部最低点

即首先设定两阈值 T_1, T_2 ,同时对整幅靶图进行逐行扫描,如果某一行上,图象灰度 $I(x, y) < T_1$,且 $I(x, y) - I(x-k, y) > T_2$,则 $(x+k, y)$ 可能是一个候选点;然后,对从 (x, y) 至 $(x+2 \times k, y)$ 的所有点的灰度值进行排序,找出其中的灰度最低点,并将其作为一个候选起点.对于同一弹孔,由于在相邻的几行中都会有一个灰度最低点,因此本文选择其中灰度最低的作为下一步匹配的起点,这一点也就是同一弹孔中的灰度最低点.

对于一个背景变化的圆形斑点信号,可以用下面的模型(如图3所示)来描述它.该模型为 $M(p)$,构成它的矢量 $p = (x, y, a, b, \delta)$,其中, a 是灰度的峰值, b 是局部背景灰度值, (x, y) 是中心坐标, δ 是

圆点模型方差,成象后的弹孔信号符合这个模型.

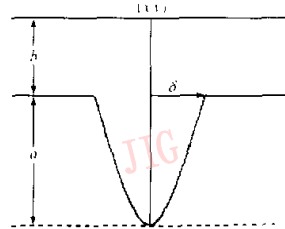


图3 圆形弹孔模型

1.2 检测孤立弹孔

在得到起始点后,本文则采用如下策略来进行孤立弹孔的定位,即如果两个起始点之间的距离小于某一阈值,那么它们就是两个孤立的弹孔,否则它们互相交叠.对于孤立弹孔,匹配的步骤是:首先以匹配区域内每一点 (x, y) 为中心与模型 $M(p)$ 进行匹配,然后计算每一位置的 $I(x, y)$ 与 $M(p)$ 的误差 $\epsilon(x, y)$,再通过对误差最小化求解,即可以得到对应模型的具体参数.

匹配误差可以通过下式计算:

$$\epsilon(x, y) = \int [I(x+u, y+v) - F(p, u, v)]^2 du dv \quad (1)$$

而弹孔模型用下式描述:

$$F(p, u, v) = a(x, y)H(r, u, v) - b(x, y) \quad (2)$$

这里, $b(x, y)$ 是表示局部的背景灰度, r 和 p 是模型的参数矢量,将其代入式(1)中可得

$$\begin{aligned} \epsilon(x, y) = & \int [I(x-u, y-v) - a(x, y)H(r, u, v) + b(x, y)]^2 du dv - \\ & 2a(x, y) \int [I(x+u, y+v) - b(x, y)] H(r, u, v) du dv - \\ & 2b(x, y) \int [I(x+u, y+v) - a(x, y)H(r, u, v)] du dv - \\ & 2a(x, y)b(x, y) \int H(r, u, v) du dv - \\ & 2a(x, y) \int [I(x-u, y-v) - b(x, y)] H(r, u, v) du dv \quad (3) \end{aligned}$$

通过对式(3)取极小值,即可得出如下最佳的幅度和背景参数

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon(x, y)}{\partial a(x, y)} = & 2a(x, y) \int H(r, u, v) du dv - \\ & 2b(x, y) \int H(r, u, v) du dv - \\ & 2 \int [I(x-u, y-v) - b(x, y)] H(r, u, v) du dv = 0 \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \epsilon(x, y)}{\partial b(x, y)} = & 2b(x, y) - 2 \int [I(x+u, y+v) - a(x, y)H(r, u, v)] du dv + \\ & 2a(x, y) \int H(r, u, v) du dv = 0 \quad (5) \end{aligned}$$

然后则可以得到

$$a(x, y) = \left[I(x-u, y-v)H(r, u, v)du dv - \left[I(x-u, y-v)du dv \right] \left[H(r, u, v)du dv \right] \right] / \left[\left[I(x-u, y-v)du dv \right] - \left[\left[I(x-u, y-v)du dv \right] \right] \right] \quad (6)$$

$$b(x, y) = \left[I(x-u, y-v)H(r, u, v)du dv - \left[H(r, u, v)du dv \right] \left[I(x-u, y-v)du dv \right] \right] / \left[\left[H(r, u, v)du dv \right] - \left[\left[H(r, u, v)du dv \right] \right] \right] \quad (7)$$

这里采用的是高斯模型,当然,也可以使用二次曲线,若令

$$H(r, u, v) = e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

$$F(p, u, v) = a(x, y)e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} + b(x, y) \quad (9)$$

则在应用于弹孔识别时,由于可以通过训练来估计弹孔的尺寸,因此,参数 σ 可以被限制在一个较小的集合里,并可取若干个离散值 $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots)$.

对于参数矢量集中的每一 p , 根据各初始点 (x, y) 即可计算出 $a(x, y)$ 和 $b(x, y)$, 并据此可得到此时的匹配误差,如果对于某一参数 p , 其匹配误差小于 (x, y) 处的与其他参数矢量对应模型进行匹配运算所引起的误差,则将此矢量记为 $p_{x,y}$, 表示在 (x, y) 点处得到的模型矢量.

对于上一步得到的每一矢量 $p_{x,y}$, 还需要确认它是否真是所需找寻的弹孔,此时可根据下面的准则,即根据弹孔与背景的灰度之间的对比度来进行判断:

图 4 是一幅典型靶图的直方图,它的最左峰是背景的均值 b, g 为 (x, y) 处(即找出的弹孔中心点处)的灰度值. 如果 $b \cdot g(x, y) > T_x$, 则该 (x, y) 点被判为一个弹孔,其中,阈值 T 可以从直方图中通过背景直方图的峰值和弹孔典型灰度值 g 相除得到.

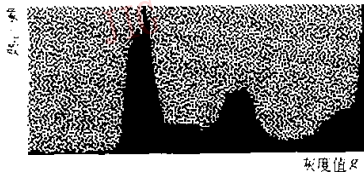


图 4 靶图直方图

1.3 处理重叠弹孔

重叠弹孔模型如图 5 所示,如果两个搜索起点的距离小于某一阈值,则认为它们是重叠的,并可采

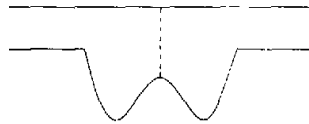


图 5 重叠弹孔模型

用下面的步骤来检测它们:

首先,检测出两个起始点之间灰度最大值的位置,然后使用该点作为这两个弹孔之间的分界点,接着用 1.2 节中检测孤立弹孔的步骤来确定每一个弹孔的位置. 如果这两个弹孔距离过于接近,就很难区分开它们.

假设高斯模型表示为 $G(d) = e^{-d^2}$

其中, d 是距离弹孔中央的距离,若定义 R 为模型的 3 分贝点,则这一模型可以改写为 $G(d) = e^{-\ln 2 \cdot d^2 / R^2}$, 即 $G(d) = 2^{-d^2 / R^2}$.

这里,假设有两个等幅高斯分布的弹孔,它们的中心点之间距离为 D , 令 $D = nR$, 再计算任一弹孔中心点与两弹孔连线中点的幅值之比,其结果见图 6.

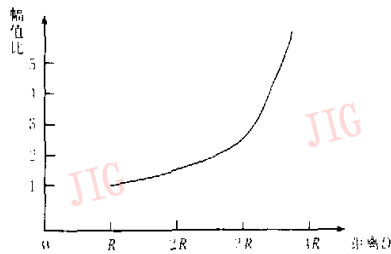


图 6 任一弹孔中心点与两弹孔连线中点的幅值之比

从图 6 可以看出,当 $D = 2R$ 时,幅值比为 1.125, 则这两点不能够被区分开;当 $D = 3R$ 时,幅值比为 2.676, 由于此时两个弹孔具有明显的峰值,故可以被很好地检测出.

1.4 对检出弹孔的后处理

针对靶图序列弹孔检测而言,它有自己的特点,即在每一次射击之后,弹孔序列图象中的每一图象比前一幅图象最多只会增加一个弹孔. 根据这一点,可以引入反馈的策略来充分适应每次射击时的变化,以增强系统的鲁棒性:

在第 i 次射击后,所有的弹孔都将被检出,这里将检出的弹孔记作 $h(i, j)$, 并与上一次射击后检出的弹孔 $h(i-1, k)$ 进行比较,这里, j 和 k 代表每次检出的弹孔数目. 本文按照以下的步骤进行反馈处理:

首先,需要确定两弹孔之间的距离 d , 设 $h(i, j)$ 的灰度为 $I(x, y)$, $h(i-1, k)$ 灰度为 $I(x, y_1)$, σ_1 , σ_2 分别为它们的方差,则定义 d 为

$$d = \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega} (I(x,y) - I(x_k, y_k) + a) \times \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2}}{N} \quad (10)$$

其中,各个参数需满足下式约束条件:

$$x - x_k = x_k - x_k, y - y_k = y_k - y_k \quad (11)$$

式中, (x, y) 和 (x_k, y_k) 分别是两个弹孔模型的中心点.

N 是两模型中对应的点数,其点数取两模型中方差较小的那一个; a 为权重因子.

这样, d 越小,两个弹孔越相似.当 d 小于某一给定阈值时,则其前后两幅图象中的这两个弹孔就被视作是相同的,本文称之为对应.其过程为:

- if 在 $h(i-1, j)$ 中的每一点都与 $h(i, j)$ 中的点对应
- if $j = k$, 则此次射击未中靶
- if $j - k = 1$, 则 $h(i, j)$ 中未被匹配的那一点即为此次中靶的弹孔
- if $j - k > 1$, 则从 $h(i, j)$ 未被匹配的点上,取最为合适的一点来作为此次中靶的弹孔

else

返回检测弹孔步骤,调整参数,重新进行检测.

2 实验结果与结论

图7为选用了40幅弹孔序列图象,每幅有5个弹孔,并运用上面提到的检测算法对该40幅弹孔序列图

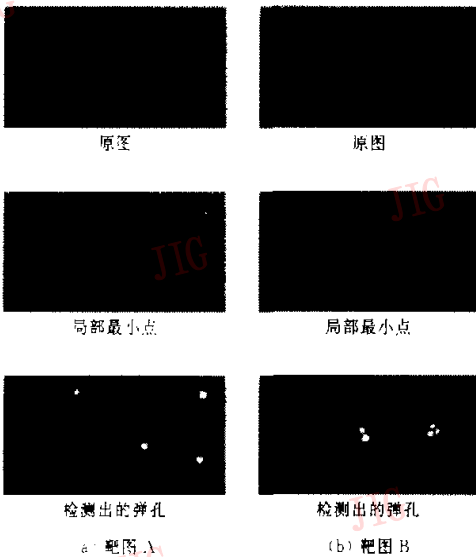


图7 靶图检测结果

象进行测试实验的结果.实验结果表明,所有的弹孔都被正确地识别出来,当减小图片的信噪比时,通过反馈步骤,本文的算法仍然能够识别出所有的弹孔.

从上面结果可以看出,这一算法及根据其实现的检测系统可以很好地检测不同环境下拍摄的军用靶图中孤立和重叠的弹孔,而反馈结构的引入更增强了其鲁棒性,使其更适于实际检测的需要.

参考文献

- 1 Hassan A B, Errington R J, White N S *et al.* Replication and transcription sites are colocalized in human cells[J]. *J. Cell Sci.*, 1994,(197):525~134.
- 2 Heiden F. *Image based measurement systems*[M]. New York: Wiley, 1994:103~107.
- 3 Goulcemas J Y, Liatsis P. Genetically fine-tuning the Hough transform feature space, for the detection of circular objects[J]. *Image and Vision Computing*, 1998,16(9):615~623.
- 4 Antoine J R, Carette P, Murenzi R *et al.* Image analysis with two dimensional continuous wavelet transform [J]. *Signal Process.*, 1993,31:241~272.
- 5 Noordmans H J, Smeulders A W M. Detection and characterization of isolated and overlapping spots [J]. *CVIU*, 1998,70(1):23~25.



邵亚非 1998年获清华大学电子工程系学士学位,现为该系博士研究生.研究方向为图象与视频处理、宽带网接入.



张利 1992年获清华大学电子工程系硕士学位,现为清华大学电子工程系副教授.主要研究方向为数字图象处理、图象监控、图象压缩与传输.发表论文10余篇,出版专著两部.



吴国威 清华大学电子工程系教授,1958年毕业于清华大学电子工程系.研究方向为宽带网接入、信号与图象处理、计算机视觉、图象识别.