

一种基于道路毁伤图像信息的特征提取方法^{*}

朱亚红,汪民乐,杨先德,冯 军

(第二炮兵工程学院,西安 710025)

摘 要:针对道路毁伤图像信息的特征提取问题进行研究,提出了一种基于轮廓分析的毁伤道路提取方法,首先对毁伤道路图像进行边缘特征提取与轮廓跟踪滤除,再进行直线特征提取,最后得到毁伤道路的详细数据,并通过此实验数据及图像验证了该算法的实用性与有效性。

关键词:边缘提取;轮廓跟踪;直线提取;平行线提取;道路连接

中图分类号:TN9198 文献标志码:A

An Extraction Algorithm Based on the Characteristics of Damaged Road Images

ZHU Yahong, WANG Minle, YANG Xiande, FENG Jun

(The Second Artillery Engineering College, Xi'an 710025, China)

Abstract: This paper studies the information of a damaged road image, presenting an extraction algorithm from the contour analysis on the image of the road, the practicality and validity of which is verified by the data and image in simulated experiments.

Keywords: edge extraction; counter tracing; line extraction; parallel lines extraction; road link

0 引言

对毁伤图像信息的特征层融合就意味着已经知道目标的一些毁伤信息,并找到这些信息,将这些信息特征经过提取、关联、融合之后得到新的清晰准确的信息,最后与目标模型图像进行比较分析,得出目标类别的归属和描述。

目前已有的关于图像特征提取的文献中还未涉及到关于毁伤图像特征提取问题的研究,因此,文中就针对道路毁伤图像信息的特征提取问题进行研究,提出了一种基于轮廓分析的道路毁伤信息提取方法。

1 算法基本流程

其算法流程图如图1所示。

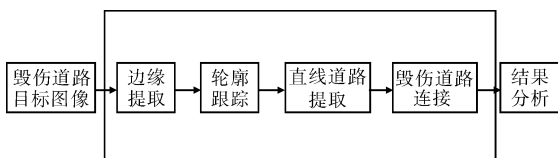


图1 毁伤道路信息特征提取流程图

2 边缘特征提取

边缘提取的目标就是求解提取边缘模型的一、二阶导数的极值点或零点。对于光学图像中常用的边缘提取算子^[2]有 Roberts 算子、Laplacian 算子、Sobel 算子、Canny 算子、LOG(Laplacian of Gaussian)算子等。

文中所利用的边缘提取算子为 Canny 算子,其算法步骤为:

1)用二维高斯函数的一阶导数对待处理图像 $f(x, y)$ 进行平滑处理,减少噪声影响。二维高斯函数为:

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp(-(x^2 + y^2)/2\sigma^2) \quad (1)$$

其梯度矢量为:

$$\nabla G = \begin{bmatrix} \partial G / \partial x \\ \partial G / \partial y \end{bmatrix} \quad (2)$$

把 ∇G 的 2 个滤波卷积模板分解为 2 个一维的行列滤波器:

$$\partial G / \partial x = kx \exp(-x^2/2\sigma^2) \exp(-y^2/2\sigma^2) = h_1(x)h_2(y) \quad (3)$$

^{*} 收稿日期:2010-04-12

作者简介:朱亚红(1979-),女,陕西眉县人,硕士研究生,研究方向:导弹武器系统作战效能评估。

$$\partial G/\partial y = ky \exp(-x^2/2\sigma^2) \exp(-y^2/2\sigma^2) = h_1(y)h_2(x) \quad (4)$$

其中： k 为常数； σ 为高斯滤波器参数，它控制着平滑程度。对于 σ 小的滤波器，虽然定位精度高，但信噪比低； σ 大的情况则相反。应用这两个行列滤波器与图像 $f(x, y)$ 卷积，得到平滑图像 $I(x, y)$ 。

$$I(x, y) = \nabla G * f(x, y) \quad (5)$$

这一步是一个低通滤波过程，用于消除空间尺度小于高斯空间系数 σ 的图像灰度变化。

2) 对 $I(x, y)$ 的每一个像素，计算梯度的大小 $M(i, j)$ 和方向 $O(i, j)$ 。

$$M(i, j) = \sqrt{g_x(i, j) \times g_x(i, j) + g_y(i, j) \times g_y(i, j)} \quad (6)$$

$$O(i, j) = \arctan(g_y(i, j)/g_x(i, j)) \quad (7)$$

3) 非极大值抑制。遍历图像，如果某个像素的边缘强度小于其梯度线方向上两个相邻像素点的边缘强度值，则将该像素值置 0，认为该点为非边缘点。

4) 用双阈值算法检测边缘。设定两个阈值 T_1 和 T_2 ($T_2 > T_1$)，对非极大值抑制图像进行双阈值化，梯度值大于高阈值的像素为边缘，小于低阈值的为非边缘，介于两个阈值之间的，如果其邻接像素梯度值大于高阈值或为边缘点，则该点也为边缘，否则为非边缘。

图 3 给出了采用 Canny 算子对图 2 进行边缘提取的结果图像，其中图 3(a)、图 3(b) 为对图 2(a)、图 2(b) 进行边缘检测的结果。其中主要参数设置为 $\sigma = 1, T_1 = 0.08, T_2 = 0.20$ 。

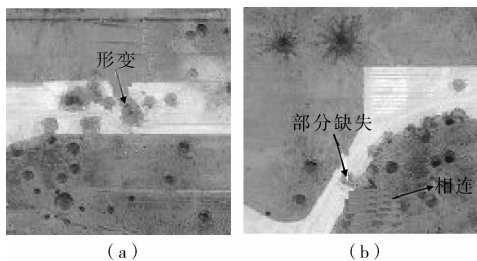


图 2 某道路目标毁伤图

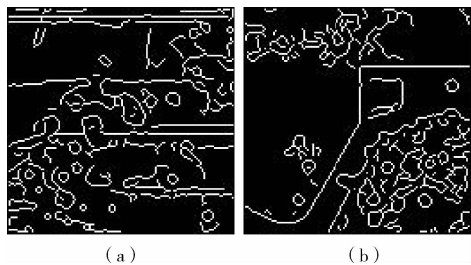


图 3 Canny 算子对图 2 边缘提取结果

从图 3 得到的结果可以看出，Canny 算子能够较

好的提取出道路毁伤目标的边缘特征，并且，Canny 算子对加性高斯噪声有一定的抑制作用，提取的边缘方向信息准确，运算量适中，但 Canny 算子在有效提取毁伤边缘的同时，也提取了大量地面细节边缘。毁伤道路目标中复杂的背景边缘在增加算法计算量的同时，也给准确的道路毁伤信息提取带来了干扰。因此，需要对这些边缘进行一定的滤除操作。

3 轮廓跟踪

为了消除毁伤道路目标中的复杂背景边缘，同时较好的保留道路毁伤边缘，需要对 Canny 算子边缘提取的结果进行轮廓跟踪操作。文献[3]提出一种有记忆的变窗“爬虫”图像边界跟踪方法，能够对目标中的边界局部断裂，以及分支等现象进行处理，文中在这里采用该算法对提取的边缘图像进行轮廓跟踪。

首先，定义轮廓线的平均对比度、平均梯度以及闭合性等特征对轮廓线进行滤除操作。设 l 表示图像中的一条轮廓线，轮廓线的平均对比度、平均梯度定义如下：

$$C(l) = \frac{1}{n} \sum_{i \in l} f_c(l_i) \quad (8)$$

$$G(l) = \frac{1}{n} \sum_{i \in l} g(l_i) \quad (9)$$

其中： l_i 为轮廓线上第 i 个点； n 为该轮廓线点的个数； $f_c(l_i)$ 表示轮廓线上每一点对应的对比度，它为当前轮廓点垂直轮廓方向上的邻接点灰度值差的绝对值； $g(l_i)$ 表示当前轮廓点上的梯度值。

闭合轮廓是指起点与终点相重合的轮廓线。半闭合轮廓是起点与终点之间的距离与长度的比值小于某一阈值的轮廓。其公式表示如下：

$$\frac{\text{dist}(l_1 - l_n)}{n} \leq R_{th} \quad (10)$$

其中， $\text{dist}(l_1 - l_n)$ 表示轮廓起点 l_1 与终点 l_n 之间的距离。

不规则轮廓的滤除过程为：遍历所有轮廓线，分别利用式(8)和式(9)计算轮廓的平均对比度和平均梯度，利用式(10)判断轮廓的闭合性，对轮廓的平均对比度、平均梯度以及轮廓的闭合性，设定一定的阈值 C_{th} 、 G_{th} 和 R_{th} ，保留平均对比度和平均梯度大于阈值 C_{th} 、 G_{th} 的轮廓以及闭合、半闭合轮廓，消除其余轮廓线。

图 4 给出了对图 3 进行不规则轮廓滤除的结果图像，其中图 4(a)、图 4(b) 为对图 3(a)、图 3(b) 进行不

规则轮廓滤除的结果图像。平均对比度、平均梯度以及轮廓半闭合性的阈值 C_{th} 、 G_{th} 和 R_{th} 分别设置为 55、20 和 0.2。

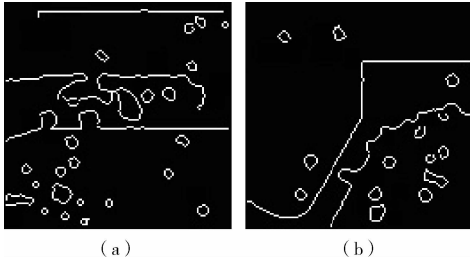


图 4 对图 3 进行不规则轮廓滤除后的结果

由图 4 可以看出,通过采用平均对比度、平均梯度以及闭合性等特征对轮廓线进行分析,有效地保留了包含毁伤道路的长轮廓线和包含道路边缘的闭合、半闭合轮廓,同时消除了不规则地物轮廓。

4 直线特征提取与道路连接

本节利用改进的 Radon 变换先在经过不规则滤除后的边缘图像中提取线基元,再设计适应度函数,利用启发式连接的思想,实现直线的连接组织,最后对已经连接好的直线进行平行线检测与提取,从而得到清晰准确的毁伤道路信息。

算法基本流程如图 5 所示。

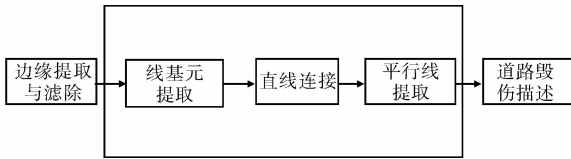


图 5 毁伤道路的直线特征提取流程图

文献[1,6]分别给出了利用改进的 Radon 变换对图像进行线基元提取的方法,文中就采用此方法对毁伤道路信息进行线基元提取,并设计一定的适应度函数,在直线连接过程中使其满足直线的邻近性、共向性、重迭性、共线误差等特征。

设计的适应度函数是由以上 4 个特征因素构成,即:

$$f_{ij} = \alpha \max(P_{ij}, O_{ij}) + \beta \theta_{ij} + \gamma m_{ij} \quad (11)$$

式中的 α 、 β 、 γ 为各种度量的影响因子,根据实际情况设置。在此适应度函数准则的条件下,图像直线特征连接方法流程如图 6 所示。

利用此方法,对图 4 的结果进行直线段提取,结果如图 7 所示。

由于道路是由一组平行线段组成的,因此,在直

线提取之后,就要考虑对毁伤道路信息的平行线提取,利用文献[2,4]提出的平行线检测技术对图 7 的毁伤道路进行平行线检测,考虑毁伤道路目标参数估计:如果提取的平行线绝对平行,即两线段的方向夹角相等,则线段方向角即为道路方向角,线段间距离为道路宽度,但是这种情况很难达到,一般近似平行线的角度均值作为道路的方向角。

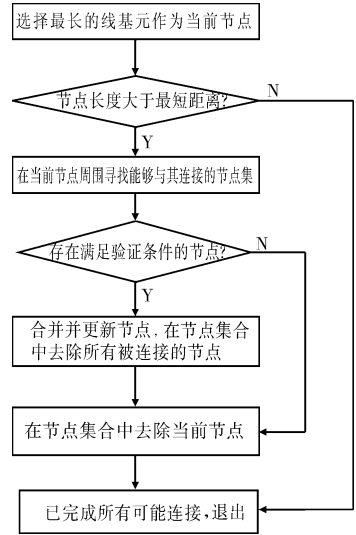


图 6 直线特征连接流程图

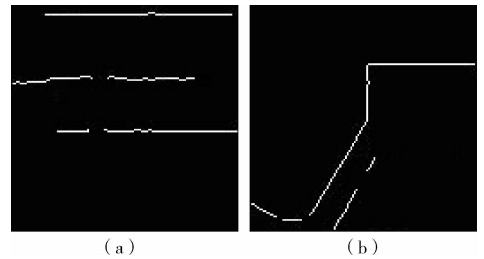


图 7 直线段提取结果

众所周知,众多道路段相互连接构成道路网,因此,要从图像中判别出连续性的道路线段,就必须对满足一定条件的平行线段进行连接。首先,明确路段之间的连接准则^[4],根据此路段连接准则,先连接突出路段,然后以提取出的突出路段为种子,对各平行线段按照迭代方式进行搜索,判断是否符合道路连接约束:对于符合者,判定为道路,并且作为新的“种子”,进一步进行搜索,直到考察了所有的线段。

最后,删除提取的路段中不能和其他路段构成连接关系的孤立的路段。

对图 7 所示的直线段结果经过平行线检测和毁伤道路的连接,得到的结果如图 8(a)、图 8(b)所示。

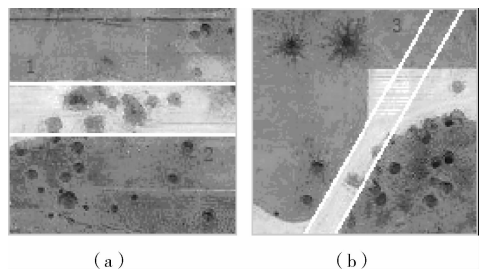


图 8 毁伤道路提取结果

由图 8 可以看出,文中算法有效的提取出毁伤道路的平行直线参数,表 1 列出了图 8 中毁伤道路对应的参数。

表 1 图 8 中毁伤道路的参数

直线编号	θ	ρ
1	1.5708	43.1658
2	1.5708	72.1658
3	0.5214	89.6678
4	0.5214	104.6678

5 小结

对多源图像的特征提取是进行图像特征层融合的第一步,也是至关重要的一步。文中以基于毁伤道路信息的线性特征提取为例,给出了具有几何图形特点的多源毁伤图像特征提取算法。算法首先利用 Canny 算子对图像目标进行特征提取;其次,针对实际道路毁伤所在背景复杂的特点,在轮廓跟踪的基础上依据一定的特征滤除不规则地物轮廓;然后,为了较好的保留道路毁伤轮廓,利用改进的 Radon 变换对毁伤道路进行直线特征提取;最后,针对道路毁伤存在部分缺失、相连与形变的特点,对提取的直线特征进行平行线检测和毁伤道路连接,最后对提取出的明显的毁伤道路特征信息,验证了文中算法的实用性。

(上接第 91 页)

为陶瓷颗粒起整体支撑作用的钢板在 0~0.1ms 内也发生了微小的变形,见图 11,图中表示了 3 种情况下钢板背面中心点的位移情况。由于在 3 种情况下破片运动的轴线都穿过此中心点,因此可以预测钢板背面此点的位移最大。对于 3 种情况,中心点的位移变化情况相差不大,几乎都是随时间线性增加,在 0.1ms 时刻位移均未超过 2mm,因此钢板的变形量远未达到失效的程度,仍具有很强的抗侵彻能力。

3 结论

1)采用陶瓷颗粒为主要防弹材料制备的破片防护层具有一定的抗侵彻能力,可以达到 GJB 4300—2002《军用防弹衣安全技术性能要求》中 IV 级的防破片等级要求。

2)阵列式陶瓷颗粒破片防护层的特殊结构使其具有了很好的抗整体破碎能力,当其受到高速破片的侵彻时,仅有少量陶瓷颗粒发生整体破碎或部分破碎,其它颗粒仍保持完好。这一特性使得防护层具有了良好的可修复性,从而降低了防护层的使用成本。

3)当破片对防护层的不同位置进行侵彻时,陶瓷

参考文献:

[1] Cardoso L. A. Computer aided recognition of man-made structures in Aerial photographs[D]. Naval Postgraduate School, USA, 1999.

[2] 雷琳. 多源遥感图像融合处理若干关键技术研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2003.

[3] 刘伟,蒋咏梅,雷琳,等. 一种基于多源遥感图像融合的桥梁目标识别方法[J]. 信号处理, 2004, 20(4): 427—430.

[4] 王钰,卢艳萍,张泽宏,等. 一种有记忆的变窗“爬虫”图像边界跟踪方法[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(4): 483—491.

[5] 余二永. 多源图像融合方法研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2005.

[6] 刘卫光. 图像信息融合与识别[M]. 北京:电子工业出版社, 2008: 173—178.

[7] 安成锦,杜琳,王卫华,等. 基于融合边缘检测的 SAR 图像线性特征提取算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(6): 1280—1282.

颗粒均能使破片的速度降至 40m/s 以下,同时支撑钢板仅发生轻微变形。当陶瓷颗粒失去防弹作用后,钢板可以对破片的余速有效的衰减,因此防护层中钢板所起的作用也不能忽略。

参考文献:

[1] 侯海量,朱锡,阚于龙. 陶瓷材料抗冲击响应特性研究进展[J]. 兵工学报, 2008, 29(1): 94—99.

[2] 杨江丽,宋顺成. 国外陶瓷材料抗侵彻研究进展[J]. 兵器材料科学与工程, 2007, 30(2): 72—74.

[3] Holmquist T J, Johnson G R. Response of silicon carbide to high velocity impact[J]. J Appl. Phys, 2002, 91(9): 309—316.

[4] 李平,李大红,宁建国. 冲击载荷下 Al₂O₃陶瓷的动态响应[J]. 高压物理学报, 2002, 16(1): 22—28.

[5] 张晓晴,宁建国,赵隆茂. Al₂O₃陶瓷动态力学性能的实验研究[J]. 北京理工大学学报, 2004, 24(2): 178—181.

[6] Rosenberg Z, Yeshurun Y. The relation between ballastic efficiency and compressive strength of ceramic tiles [J]. International Journal of Impact Engineering, 1988, 7(3): 357—362.