

◎工程与应用◎

机场目标毁伤评估算法及半物理仿真系统设计

郜鹏飞, 肖刚, 敬忠良

GAO Peng-fei, XIAO Gang, JING Zhong-liang

上海交通大学 空天科学技术研究院, 上海 200240

Institute of Aerospace Science & Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China

E-mail: bhgpf001@sjtu.edu.cn

GAO Peng-fei, XIAO Gang, JING Zhong-liang. Airport damage assessment algorithm and design of semi-physical simulation platform. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(30): 204-207.

Abstract: In this paper, a semi-physical simulation platform based on multi-sensor image fusion is established. On the platform, various of object features are delineated, including natural objects such as mountains, rivers, oceans and artificial objects such as bridges, airports, buildings, cars, ships and so on. On the platform, infrared camera, visible light camera and panoramic camera are installed and multi-angle images of interested objects can be easily caught. What's more, various of object damage models are covered, that supplied abundant materials for researches on change detecting and damage assessment. Despite of describing the semi-physical simulation platform in detail, experiments of damage assessment are presented in the paper that validated the superiority of the algorithm.

Key words: image fusion; damage assessment; simulation platform

摘要:给出了一种机场目标毁伤评估算法,基于一套半物理的基于多传感器图像融合的毁伤评估仿真系统,该系统较真实地描绘了各种地物特征,包括山川、河流、海洋等自然地貌和桥梁、机场、建筑、道路、车辆、舰船等人工目标。并搭载了红外、可见光和全景相机,可多角度地拍摄感兴趣目标,模拟真实的地貌变化及毁伤情况,为变化检测和毁伤评估提供了很好的研究素材。在详细描述半物理仿真平台的同时,也给出了两个机场目标毁伤评估算法的实验,验证了算法的优越性。

关键词:图像融合;毁伤评估;仿真系统

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.30.061 文章编号:1002-8331(2009)30-0204-04 文献标识码:A 中图分类号:TP391.4

毁伤评估就是依据目标的性质及所获得的对其打击后的破坏程度的信息,采用合理的数学模型和经验公式进行量化的过程,目的是对打击后的目标进行毁伤程度的计算和判定^[1]。我国在利用遥感图像进行打击效果评估方面相对落后,这有技术方面的原因,也有综合国力的因素。但是与之相关的一些工作也正在逐步开展和前进。在目标毁伤效果评估方面,国内目前还没有相关单位进行专门的研究,仅有少数专家学者针对某些武器领域做过相应的研究,试图建立有效的武器毁伤评估体系。同时,国内已经有一些单位进行了基于遥感图像的毁伤评估研究,例如对军事港口、机场、水上桥梁、军事建筑等目标的毁伤评估研究,但由于研究内容的特殊性,目前可供研究的材料,主要是目标毁伤遥感图像的缺乏,相关的研究还处于起步阶段,或是理论研究,或是由于图像数量的限制,致使研究结果与实际应用还有比较大的差距。

在基于图像的毁伤评估研究中,目前大多数采用基于毁伤

面积的方法,事实证明,这种方法是比较直观而且有效的。对于机场目标的毁伤评估,目前也有文献采用了基于跑道最长起飞长度的方法,但在算法上还有一些缺陷。或者只从单一方向上寻找最长起飞跑道,在算法上有缺陷;或者在限定了一定起飞机种情况下,给出机场是否可用的结论,却没有给出一个量化的毁伤等级算法,不能给决策者一个宏观的毁伤程度的衡量指标。

基于以上现状,文中将搭建一套半物理的仿真系统,并针对机场跑道的毁伤评估,提出相应改进的算法,以提高研究的实际应用意义。

1 毁伤评估算法

1.1 目标毁伤等级的划分

毁伤等级评判系统的工作原理是在比较火力打击前后目标有关特征参量变化程度的基础上,进一步量化确定目标的毁

基金项目:国家部委基础科研项目(No.A1420060161);预研项目(No.402040201)。

作者简介:郜鹏飞(1985-),男,硕士,主要研究方向:数字图像处理、效能评估;肖刚(1974-),男,副教授,博士,硕士生导师,主要研究方向:智能信息处理与图形融合;敬忠良(1960-),男,教授,博士生导师,国家教育部“长江学者奖励计划特聘教授”,研究领域为智能信息融合与控制、随机控制等。

收稿日期:2008-10-28 修回日期:2008-12-25

伤等级。目标毁伤等级的评判步骤首先是选取特征参量。目标没有受到火力攻击时, 它们在理论上有一定的相关性和连续性; 目标受到火力攻击后, 它们会发生较明显的突变; 它们的提取及相关计算应易于处理, 以确保有充足的时间采取相应措施; 它们的选取还应结合拥有的探测系统加以考虑。其次, 要确定目标毁伤等级的评判函数。毁伤评判主要是借助于特征参量在火力打击前后的变化而进行, 目标特征参量的变化越大, 说明目标毁伤等级越严重; 反之, 则说明目标毁伤等级的程度越轻, 所以若把各个特征参量都看作不同的数学量, 则毁伤评判就表现为如何衡量两个同种性质数学量之间差异程度的问题。针对具体的特征参量, 显然应确定相应的满足对目标毁伤等级定义的评判函数表达式, 尤其要满足临界点的连续性^[2]。根据目标毁伤程度的不同, 划分为 10 个毁伤等级, 毁伤程度越严重, 则毁伤等级越高。

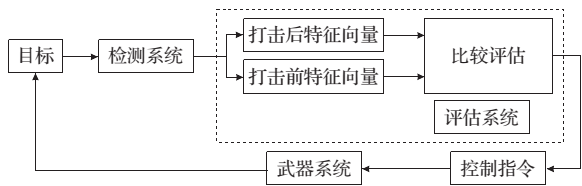


图1 评判系统框图

1.2 机场毁伤评估算法

根据机场目标的特点和已有算法的缺陷, 建立了相应的评估原则, 具体步骤如下:

(1) 根据机场用途, 设立机场跑道的最小起飞宽度 L_{wid} 和最小起飞距离 L_{len} (均以像素为单位)。

(2) 根据毁伤前机场图像, 寻找符合最小起飞宽度的最长起飞距离 L_b 。

具体算法描述如下:

①先建立一个行数为最小起飞宽度的列向量 $V = \{ \underbrace{1 \ 1 \ \dots \ 1}_{L_{wid}} \}^T$;

②在毁伤前的二值机场图像中, 寻找机场跑道的边缘点。采用如下算法:

建立一个正方形矩阵 $A = \begin{bmatrix} 1 & \dots & 1 \\ \vdots & & \vdots \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$, 并使 A 的中心依次与

图像坐标点重合, 作与运算, 然后对与运算的结果求和, 若求得和值在 $1/2 \sum(A)$ 的一个小的邻域内, 则判定该坐标点为机场跑道边缘。其中, $\sum(A)$ 为矩阵 A 的元素的和。

③令向量 V 的起点依次与跑道边缘点重合, 作与运算, 若运算结果等于 $\sum(V)$, 则扩展向量 V 的列数, 重复作与运算, 直到运算结果小于 $\sum(V)$, 则停止, 那么前一次运算时 V 的列数即为该边缘点在这个方向上的最大起飞距离 $L_{i,the1}$ 。

④令向量 V 在该缘点上旋转一个角度, 继续作上一步的运算, 得到该边缘点上在一次旋转角度后的最大起飞距离 $L_{i,the2}$ 。以水平位置为基准, 旋转过 $(-30^\circ, 30^\circ)$ 后得到这个边缘点上的最大起飞距离 L_i 。

⑤对每个边缘点作以上运算, 分别得到 $L_{i+1}, L_{i+2}, \dots, L_{i+m}$, 找到其中的最大值 L_b 。

(3) 根据毁伤后机场图像, 寻找符合最小起飞宽度的最长起飞距离 L_a 。具体算法与上一步相似。

(4) 判定目标毁伤等级, 建立了如下的划分原则:

$$\mu = 10 \times \left(1 - \frac{L_a}{L_b} \right) \tag{1}$$

其中, μ 为最终的毁伤等级, L_b 和 L_a 分别为目标毁伤前后的最长起飞距离。

(5) 通过以上计算, 可指导下一步的作战计划, 若 $L_{len} \leq L_a$, 则需要对该机场进行进一步的攻击。同时, 还可得到毁伤等级 μ , 该指标可作为对机场毁伤情况的一个宏观的衡量指标。

算法的流程图如图 2 所示。

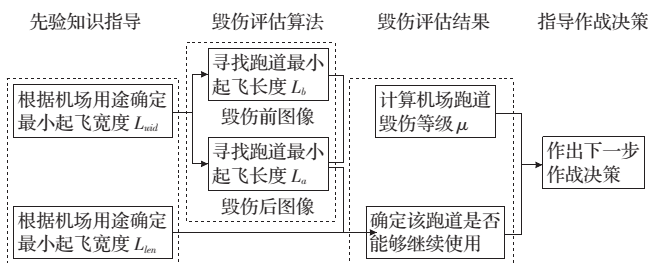


图2 毁伤评估流程图

2 半物理仿真平台建设

基于目前毁伤评估研究素材缺乏的现状, 设计了以下的半物理仿真平台, 可自主地模拟各种地物变化及毁伤实例, 该平台上搭载了可见光、红外和全景相机, 可多角度地拍摄感兴趣目标, 同时也使研究方法得到了扩展, 可利用多传感器得到的图像进行实验, 并可进行数据融合。

2.1 平台概述

该半物理仿真平台主要包括两个部分: 目标区域模型和多传感器平台。

其中目标区域模型是根据实际需要, 对某军事目标的真实模拟, 对山川、河流、海洋等自然地貌进行相应比例的缩小, 并建立了城市建筑、道路、军事港口、桥梁、机场和可移动舰船等目标, 并可根据实际情况, 建立不同毁伤程度的目标模型, 这样就使得实验素材十分的丰富, 以便建立更加接近实际的模型对目标的毁伤程度进行描述。该仿真平台的示意图如图 3 所示。

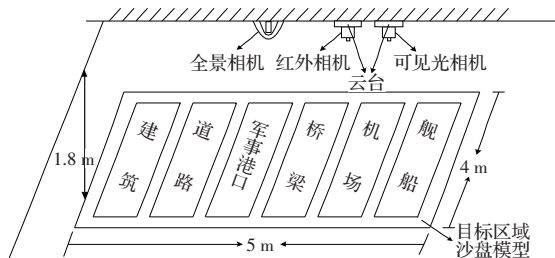


图3 半物理仿真平台示意图

2.2 搭载传感器参数

搭载传感器参数见表 1 和表 2。

3 机场毁伤评估实验

实验材料均取自上文所描述的半物理仿真平台, 为可见光相机拍摄的灰度图像。

3.1 目标检测

图 4 所示图像为可见光图像经过对比度增强后的目标区域图像, 根据其直方图峰谷分布, 可自适应地找到合适的阈值, 对图像进行二值化, 二值化后的图像如图 5 所示。可以看到, 图

表1 可见光相机参数

CCD 图像传感器	1/2"隔行传输 Hyper HAD CCD	
传感器芯片尺寸	6.4 mm×4.8 mm	
有效像素(H×V)	768×49	752×582
单位像素尺寸	8.4 μm×9.8 μm	
扫描	525 电视线, 2:1 隔行或逐行	
同步	HD: 15.734 kHz; VD: 59.940 Hz HD: 15.625 kHz; VD: 50 Hz	
电视清晰度	H: 570 电视线 V: 375 电视线 H: 560 电视线 V: 450 电视线	
信噪比	58 dB (AGC 关闭, Gamma 1.0)	
最低照度	0.03 lux×F1.4	
视频输出	1 V p-p, 75ohm (BNC 或 12 针接头)	
AGC 自动增益控制	AGC (自动增益控制) / MGC (手动增益控制) 可选	
帧模式	帧模式/场模式选	
电子快门	1/60~1/10 000 秒可选, 异步采集模式下可达 1/31 000	
镜头接口	C-接口	
工作温度	-10C~+55C	
电源	12VDC, 210 mA, 2.5 W	
外形尺寸	50 mm×40 mm×83 mm	
外同步	内/外 自动开关	
异步采集	标准	
慢速快门	2FLD~16FLD (可选)	
长时积分	1/30~2 s	
重量	155 g	

表2 红外相机参数

传感器	碲镉汞 MCT (HgCdTe) IRFPA	工作温度范围	-20°C~40°C
波长	3.6~4.9 μm		
分辨率	320×240	系统控制	通过 RS232 与远 程计算机相连, Windows 环境
像素大小	25 μm×25 μm (pitch 30×30)		
成像模式	Snap shot	视频输出	CCIR
冷却方式	Stirling cooler		
帧频(全屏)	可编程 标准 1~50 Hz	NUC 图表	存储 3 种表格
积分时间	可编程 (从 1 μm 到 10 ms; typ. 2 ms)	外形尺寸 (不带镜头) 重量(不带镜头)	245 mm(长)×120 mm (宽)×150 mm(高) 2 kg
A/D	14 bits	电源	24 V, 30 W
NETD	<30 Mk at 25°C	平均寿命(MTTF)	4 000 h

工作温度: -20°C~+40°C 存储温度: -20°C~+70°C

5 中除了感兴趣的道路、机场、建筑等目标外, 还存在着许多的噪声, 为此, 采用形态学去斑的方法, 先后对二值图像进行一次腐蚀和膨胀, 得到的图像如图 6 所示, 有效地去除了杂斑。

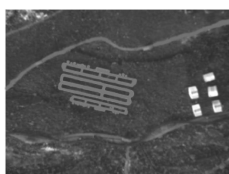


图4 原图像



图5 阈值分割二值化



图6 形态学开运算去斑



图7 Sobel 算子边缘检测

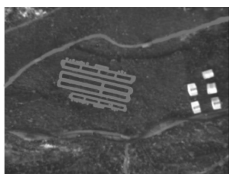


图8 毁伤前图像

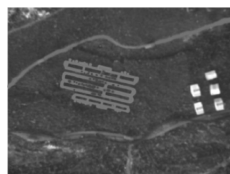


图9 配准后毁伤图像

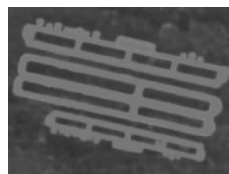


图10 截取毁伤前机场图像

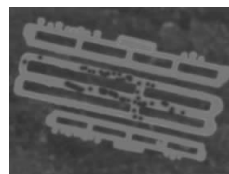


图11 截取毁伤后机场图像

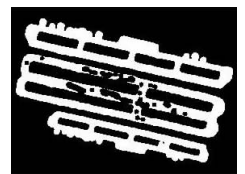


图12 毁伤效果图

实验中, 形态学运算中的结构元素采用的是"square"方形的 3×3 的矩阵。

$$strel = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

经过反复实验, 如图 7 所示, 采用 sobel 算子进行边缘检测可以很好地检测到道路、机场、建筑的边缘, 达到预期的目标检测识别的目的。

3.2 毁伤评估

在目标毁伤评估的实验中, 建立了形状相同的毁伤前后的机场模型, 并确保二者的位置准确匹配, 实验中, 分别获取了毁伤前后的可见光图像, 图 8、图 9 分别为毁伤前图像和配准后的机场毁伤图像。为了研究的方便, 在两幅图像中, 分别截取了毁伤前后的机场图像, 如图 10、图 11 所示。在进行了一系列代数运算后, 得到了如图 12 所示的毁伤效果图。

按照 1.2 节所描述的毁伤评估算法, 以图 12 为实验材料, 作如下实验。根据图 12 中毁伤情况, 为了实验的方便, 只提取主跑道作为实验对象。图 13 为对毁伤后主跑道作弹坑和跑道边缘提取后的效果图, 实验中, 采用了 3×3 的矩阵 A 作为边缘提取的结构模块, 效果良好。

图 14、图 15 分别为毁伤前后图像的最长起飞跑道提取效果图, 最长跑道均以实线标出。实验中采用的最小起飞宽度 L_{wid} 为 3 个像素值, 在进行最长起飞跑道提取时, 向量 V 的旋转间隔为 0.5°。

在进行完最长起飞跑道提取后, 可进行最后的毁伤等级判定, 实验中, 测得毁伤前跑道的最长起飞距离 L_b 为 256 (像素), 毁伤后跑道的最长起飞距离 L_a 为 152 (像素), 代入前文毁伤等级计算公式(1)得:

$$\text{机场主跑道毁伤等级 } \mu = 10 \times \left(1 - \frac{L_a}{L_b}\right) = 10 \times \left(1 - \frac{152}{256}\right) \approx 4.1$$

另外, 根据机场起落飞机种类等实际情况, 按照比例尺计算, 可设定好飞机的最小起飞距离 L_{len} , 若 $L_{len} \leq L_a$, 刚可进行下一次的攻击, 否则, 说明已经达到了预期的打击目的。

3.3 两种毁伤评估方法的比较

在基于图像的毁伤评估研究中, 根据毁伤后目标图像的毁伤面积来确定毁伤等级的方法是运用很广泛的一种方法。按照这种方法, 毁伤面积越大, 则毁伤等级评判的等级越高。为了与该文所用的等级划分规则一致, 该方法的计算公式可描述为 $\mu = 10 \times (S_a/S_b)$ (S_a, S_b 均以像素表示), 其中, μ 为毁伤等级, S_a 为

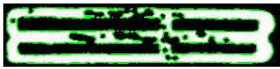


图13 毁伤后跑道边缘提取

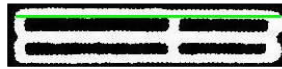


图14 毁伤前图像最长起飞跑道提取



图15 毁伤后图像最长起飞跑道提取



图16 另一种毁伤效果最长起飞跑道提取

毁伤后的弹坑面积, S_b 为毁伤前目标的总面积。按照这种方法,做了这样一组实验来比较两种方法的优劣。实验所采用的图像同样为图15所示的图像。实验结果如下。

采用以毁伤面积为依据的方法求得的毁伤等级

$$\mu' = 10 \times \frac{S_a}{S_b} = 10 \times \frac{1394}{56794} \approx 0.25$$

3.4 两种毁伤效果比较

为了进一步地说明算法的有效性,该文作了另一组实验,与图15中毁伤不同的是,图16所示毁伤中,下面跑道的毁伤位置在跑道一侧。

下面分别用基于面积和基于跑道最长起飞长度两种方法进行毁伤等级计算。

基于面积的毁伤评估:

$$\mu_{11} = 10 \times \frac{S_a}{S_b} = 10 \times \frac{1394}{56794} \approx 0.25$$

$$\mu_{21} = 10 \times \frac{S_a}{S_b} = 10 \times \frac{1425}{56794} \approx 0.25$$

基于跑道最长起飞长度的毁伤评估:

$$\mu_{12} = 10 \times \left(1 - \frac{L_a}{L_b}\right) = 10 \times \left(1 - \frac{152}{256}\right) \approx 4.1$$

$$\mu_{22} = 10 \times \left(1 - \frac{L_a}{L_b}\right) = 10 \times \left(1 - \frac{237}{256}\right) \approx 0.7$$

其中, μ_{11} 为第一种毁伤效果基于面积方法的毁伤等级, μ_{21} 为第二种毁伤效果基于面积方法的毁伤等级, μ_{12} 为第一种毁伤效果基于跑道最长起飞长度方法的毁伤等级, μ_{22} 为第二种毁伤效果基于跑道最长起飞长度方法的毁伤等级。

在上文的实验1中,按照以机场跑道最长起飞长度为依据的评估中得到的毁伤等级为4.1级,在以毁伤面积为评判标准毁伤等级的评判中,毁伤等级为0.25级,可视无效的打击。实验2中,两种不同的毁伤效果,在基于面积方法的毁伤等级计算中,毁伤等级是一样的,但在基于跑道长度方法的毁伤等级计算中,毁伤等级却不在一个级别上,这样的差别会使得在下一步的打击决策上有完全不同的方案。很显然,基于机场跑道最长起飞长度方法的评估结果是更有说服力的。以毁伤面积为依据,在进行对一般建筑的毁伤评估上是有效的,但对于机

场等有特殊用途的建筑而言就有些欠说服力。可见,在毁伤评估工作中,单纯地按照毁伤面积评判的思路是远远不够的,而应该更加深入到打击目标的可用性的层次上去研究问题。

4 结语

较详细地描述了一套为毁伤评估研究而设计的半物理的基于多传感器的毁伤评估仿真系统,包括物理硬件构成、传感器参数等。另外,采用在该平台上获得的一组数据为材料,较为完整地完成了毁伤评估实验,并对两种评估方法作了比较和探讨。这也为今后的毁伤评估研究提供了一个良好的思路。

参考文献:

- [1] 张军. 多时相图像检测方法及其在毁伤评估系统中的应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2008.
- [2] 李正东, 郑晓东, 雍松林. 目标毁伤评判的探讨[J]. 光电工程, 2002(6): 17-19.
- [3] 马波. 基于图像分析的机场打击效果评估研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [4] 杨茂龙, 夏德深. 跑道毁伤识别中的变化检测研究[J]. 遥感技术与应用, 2005(10): 474-477.
- [5] 方晓芙. 遥感图像中战略目标识别方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2004.
- [6] 曹海梅. 遥感图像中水上桥梁目标识别与毁伤分析研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
- [7] 王润生. 图像理解[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1995.
- [8] 夏德深, 傅德胜. 现代图像处理技术和应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 1997.
- [9] Nadimi S, Bhanu B. Physics-based cooperative sensor fusion for moving object detection[C]//Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2004: 1063-6919.
- [10] Neil C R, Lynne L G. Change detection for linear features in aerial photographs using edge-finding[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(7): 1608-1612.
- [11] Singh A. Digital change detection techniques using remotely-sensed data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(6): 989-1003.

(上接176页)

有很强的鲁棒性,与基于SVM的空间域上的算法相比性能更加优越,具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] Chu W. DCT-based image watermarking using subsampling[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2003, 5(1): 34-38.
- [2] 刘瑞祯, 谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印方法[J]. 电子学报, 2001, 29(2).
- [3] 牛夏牧, 陆哲明, 孙圣和. 彩色数字水印嵌入技术[J]. 电子学报, 2000, 28(9): 10-12.

- [4] Yu P T, Tsai H H, Lin J S. Digital watermarking based on neural networks for color images[J]. Signal Processing, 2001, 81(3): 663-671.
- [5] Li Chun-hua, Lu Zheng-ding, Zhou Ke. SVR parameters selection for image watermarking[C]//Proceedings of the 17th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05), Hong Kong, China, 14-16 November 2005: 466-470.
- [6] Shen Rui-min, Fu Yong-gang, Lu Hong-tao. A novel image watermarking scheme based on support vector regression[J]. The Journal of Systems and Software, 2005, 78: 1-8.
- [7] Vapnik V. The nature of statistical learning theory[M]. New York: Springer-Verlag, 1995.