

# SAR 图像打击效果评估技术研究

徐 颖<sup>1</sup> 李华军<sup>2</sup> 吴 聪<sup>3</sup> 张琳娜<sup>4</sup>

(空军预警学院研究生管理大队 武汉 430019)<sup>1</sup> (94005 部队保障处 酒泉 733306)<sup>2</sup>

(国防信息学院 武汉 430010)<sup>3</sup> (95857 部队 孝感 432000)<sup>4</sup>

**摘 要** 首先通过对合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar,SAR)图像打击效果评估方案的分析,提出了一种改进的 SAR 图像打击效果评估方案,新方案增加了专家指数库推理;然后从图像配准、变化检测和毁伤评估 3 个方面对基于变化检测的效果评估方法技术进行了研究;最后对 SAR 图像打击效果评估研究中待解决的问题进行了总结。论文具有一定理论指导意义。

**关键词** SAR 图像,专家指数库推理,变化检测,打击效果评估

中图法分类号 TP391 文献标识码 A

## Study of Hitting Effect Evaluation Technology Based on SAR Images

XU Ying<sup>1</sup> LI Hua-jun<sup>2</sup> WU Chong<sup>3</sup> ZHANG Lin-na<sup>4</sup>

(Department of Graduate Management, Air Force Early Warning Academy, Wuhan 430019, China)<sup>1</sup>

(Security Office of the No. 94005 department, Jiuquan 733306, China)<sup>2</sup> (Institute of National Defense Information, Wuhan 430010, China)<sup>3</sup>

(95857 Unit of PLA, Xiaogan 432000, China)<sup>4</sup>

**Abstract** Firstly, by analyzing hitting effect evaluation scheme based on SAR images, an improved hitting effect evaluation scheme based on SAR images was given and expert exponent libraries were added to the new scheme, then according to image registration, change detection and damage assessment, hitting effect evaluation technique based on change detection was studied, finally, aiming at the problems which are not solved in studying of hitting effect evaluation based on SAR images, a summary was made. This paper has certain guiding significance.

**Keywords** SAR image, Expert exponent libraries, Change detection, Hitting effect evaluation

随着军事科学技术和战争形态的发展与需求,越来越多的政府机构和科研工作者开始关注和重视打击效果评估技术研究,同时,合成孔径雷达(SAR)具有全天候、全天时等优点,非常符合打击效果评估对实时性的要求,因此,开展 SAR 图像打击效果评估技术研究,是未来 SAR 研究发展方向之一,具有重要的军事意义和现实需求。

从近年公开发表的学术成果来看,国内关于 SAR 图像打击效果评估的研究工作起步较晚,技术还不成熟,理论性成果较少。文献[1]将 SAR 图像应用到打击效果评估领域,通过仿真得到建筑物的打击后 SAR 图像,对仿真前后 SAR 图像进行目标检测、目标分割、特征提取,得到打击前后的目标特征向量,再根据目标特征变化情况判断其毁伤程度,给出最终的评估结果;文献[2]提出了一种基于 ISAR 的空中目标打击效果评估方法,并通过实验仿真验证了利用 ISAR 评估目标打击效果方法的可行性;文献[3]首先在图像上识别出目标,然后分别在打击前后图像上提取目标特征向量,并对目标特征向量进行分析比较,根据目标特征向量的变化对目标损伤程度进行评估,提出了一种高分辨率光学图像目标打击效果评估系统。本文提出了一种改进的 SAR 图像打击效果评估系统,在此基础上对基于变化检测的效果评估方法技术进行

了研究,其具有一定指导意义。

### 1 基于 SAR 图像的打击效果评估方案

打击效果评估起始于第一次世界大战的美国,经过几次局部战争的检验,效率大大提高。我国打击效果评估起步较晚,文献[4]在总结已有的评估流程方法的基础上,提出了打击效果评估的一般性流程,如图 1 所示。其中的关键技术包括:图像配准、变化检测和毁伤评估,评估的各个阶段根据图像类型的不同,所采用的实现方法或图像处理算法也会不同。文献[1]根据 SAR 图像的特点,以 SAR 图像的目标特征信息提取为基础,提出了基于高分辨率 SAR 图像的打击效果评估方法,评估流程如图 2 所示。目前,这种评估方法,被很多以研究目标特征变化为毁伤评估方法的文献所采用[1,2,5-9]。

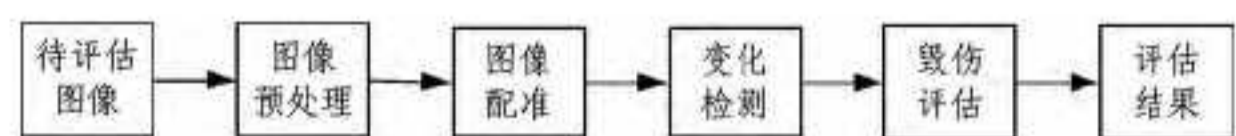


图 1 基于光学图像的打击效果评估流程[4]

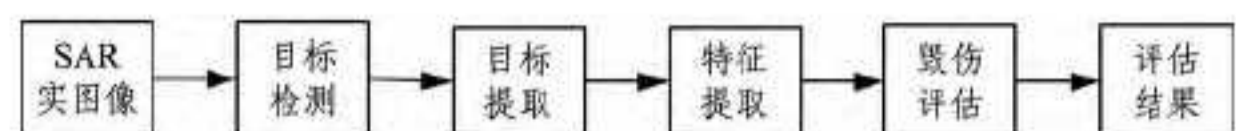


图 2 基于高分辨率 SAR 图像的打击效果评估流程[1]

徐 颖(1985—),女,博士生,主要研究方向为图像处理,E-mail:40129343@qq.com;李华军(1978—),男,工程师,主要研究方向为雷达数据处理;吴 聪(1988—),男,硕士,助理工程师,主要研究方向为装备保障;张琳娜(1988—),女,硕士,助理工程师,主要研究方向为通讯工程。

基于目标特征变化的打击效果评估方法对目标特征提取的依赖性很大,能否准确进行目标分割和特征提取,是能否准确进行毁伤评估的关键,另一个方面,基于目标特征变化的打击效果评估算法在实际应用中也具有很大的局限性,因此,文献[10]根据实际需求,设计了基于 SAR 图像的打击效果评估系统研究方案,如图 3 所示。此方案主要考虑算法的实际效果和应用范围,以光学图像打击效果评估方法为参考,依据打击效果仿真和 SAR 图像仿真提供的实验数据,能够很好地完成 SAR 图像的打击效果评估。本文在文献[10]的基础上,增加了专家指数库推理,提出了改进的 SAR 图像打击效果评估系统研究方案,如图 4 所示。



图 3 SAR 图像打击效果评估系统研究方案[10]

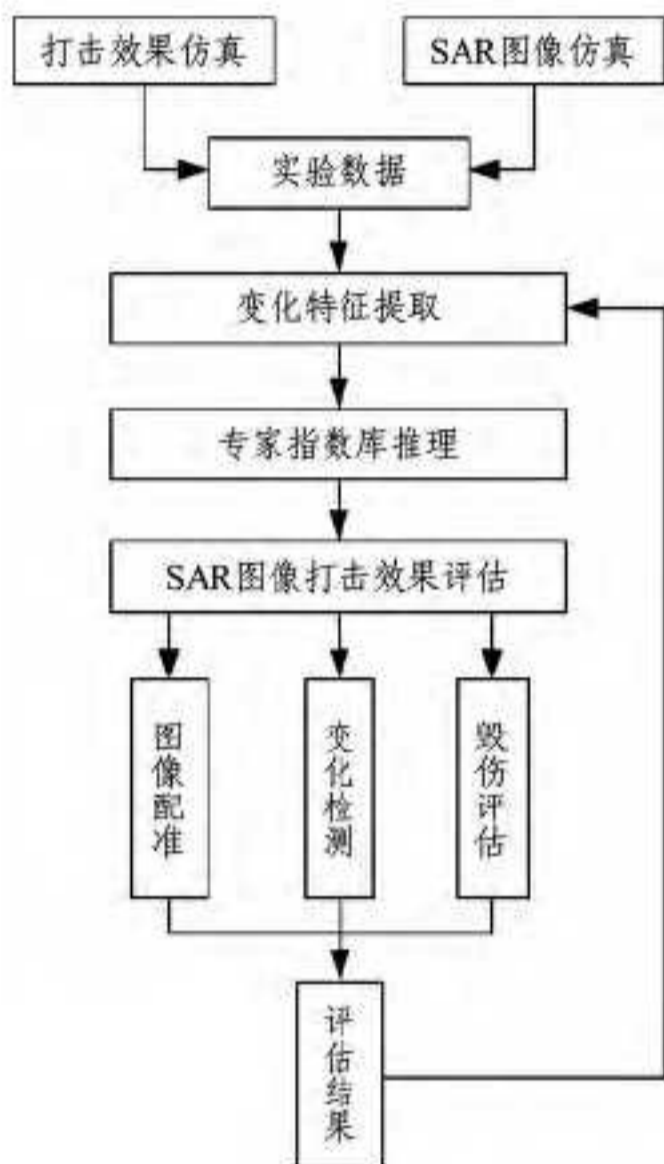


图 4 改进的 SAR 图像的打击效果评估系统研究方案

## 2 SAR 图像打击效果评估技术研究

本文根据图 4 提出的 SAR 图像打击效果评估系统研究方案,主要对基于变化检测的效果评估方法技术进行研究,其算法主要包括图像配准、变化检测和毁伤评估等关键技术。

### 2.1 图像配准

图像配准是对从不同的传感器获得的同一物体场的两幅图或者从同一个传感器在不同时间获得的同一个物体区域的两幅图进行逐个像素比较。图像配准需要注意的地方有很多,归结起来,主要有以下几个方面:

- 1) 相似性度量:用来评估两幅图像之间特征数据的匹配程度,相似性度量越高,匹配越精准,反之,相似性度量越低,匹配越模糊。
- 2) 搜索策略:用于提高搜索效率的策略,在搜索空间大、

精度要求高时,最佳配准方案往往非常耗时,在有些情况下,可以利用一些可以得到的信息去掉不可能匹配的搜索子空间,从而达到减少计算量的目的。

3) 图像重采样:图像重采样技术的选择,也是图像准确配准的一个方面,一般而言,对于适当重采样技术的选择,依赖于对插值精度的要求和计算复杂性的折中选择。

目前,图像配准方法很多[11-15],大致可以分为 3 类:基于灰度信息的图像配准方法、基于变换域的图像配准方法和基于特征的图像配准方法,如图 5 所示。

#### (1) 基于灰度信息的图像配准方法

基于灰度信息的图像配准方法是利用两幅图像的灰度统计信息作为相似性度量标准,采用适当的搜索策略得到最大化的相似性度量的图像变换模型,实现图像配准。该方法的优点是实现比较简单,缺点是不能直接用于校正图像的非线性形变,对噪声较为敏感,应用范围窄,运算量大。目前,采用图像的互信息进行相似性测度在基于灰度信息的图像配准方法研究中采用较多[16-19]。

#### (2) 基于变换域的图像配准方法

傅氏变换配准法是基于变换域的图像配准方法的主流。图像的旋转、平移、比例变换都能在傅里叶变换频域中反映出来,变换域的方法有一定的抗噪性,同时傅里叶变换由于有成熟的快速算法和易于硬件实现的特性,在工程应用上使用较多,但受限于傅立叶变换性质,此方法适用于存在仿射变换的图像配准,对存在其他复杂变化的图像效果较差。

鉴于 FFT 算法的局限性,工程人员利用小波分解理论为 SAR 图像提供了一种精细的配准方法,提高了配准精度,但为了保证分解后的子图像具有平移和旋转不变性,选择合适的小波至关重要。

#### (3) 基于特征的图像配准方法

基于特征的图像配准方法是当前研究的热点[20],它不受图像灰度变化的影响,通过提取图像中的结构特征进行配准,因此更适用于 SAR 图像的匹配。此类方法将对整个图像进行的分析转化为对图像特征的分析,从而大大减小了图像处理的运算量,对同一场景灰度差异较大的 SAR 图像存在的局部扭曲形变以及遮挡等情况都有较好的适应能力[10]。

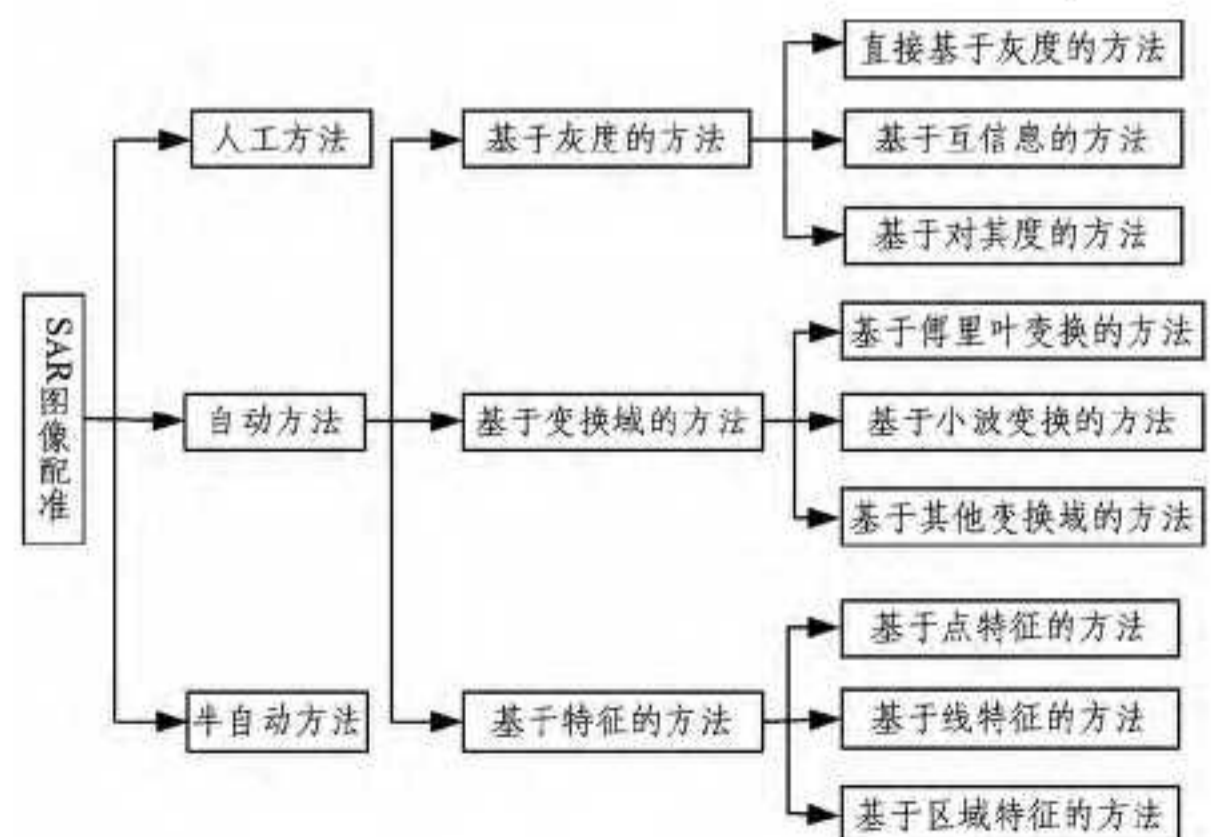


图 5 SAR 图像配准方法

### 2.2 变化检测

图像变化检测技术是根据不同时间的多次观测来确定图像状态变化的过程。广义的 SAR 图像变化检测过程比较复杂

杂,涉及多个方面,过程如图6所示。

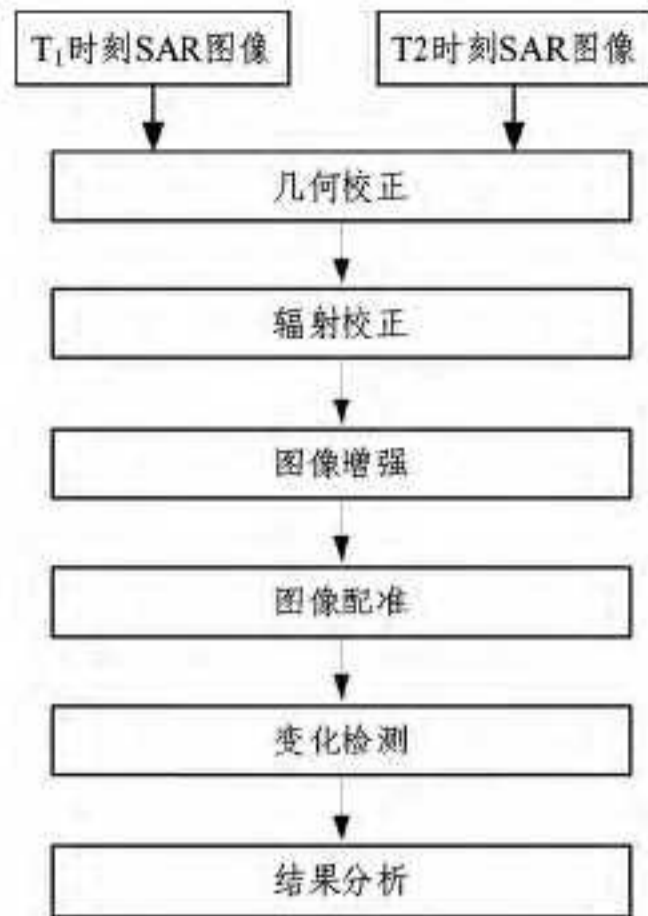


图6 SAR 图像变化检测过程流程图

### 2.2.1 SAR 图像变化检测技术

SAR 图像变化检测技术主要包括简单代数运算的检测方法、图像变换的变化检测方法和结构特征分析的变化检测方法等。

#### 1) 简单代数运算的 SAR 图像变化检测方法

简单代数运算的 SAR 图像变化检测方法有图像差分、图像比值、图像回归和植被索引差值等。其特点是简单、直接,但也存在一些缺点:

- (1) 检测可靠性不高;
- (2) 阈值确定困难;
- (3) 无法同时获取变化类型;
- (4) 在涉及到图像相减相除运算时,由于同质异谱和异质同谱现象的存在,会漏掉很多真正的变化信息;

(5) 简单的差值或比值运算,既可能出现很多噪声,也可能损失掉一些信息。

#### 2) 图像变换的 SAR 图像变化检测方法

图像变换的 SAR 图像变化检测方法主要有主分量分析、典型相关分析、变化向量分析和正交变换等,它通过图像的多时相变换,减少了数据间的冗余信息,增强了变换后图像上的变化信息,主要缺点有:

(1) 对图像数据质量要求高。图像变化法存在比较明显的配准误差和辐射度差异,因此,在进行图像变换时,需要高数据质量的图像。

(2) 可能造成信息丢失。由于图像变换法只考虑随机变量在特征空间的分布,没有考虑其在地理空间上的分布特性,也没有考虑各波段通道和时相之间的相关性,因此可能造成变换后的图像信息丢失。

#### 3) 结构特征分析的 SAR 图像变化检测方法

结构特征分析的 SAR 图像变化检测方法是通过不同算法从初始 SAR 图像中提取特征信息,通过不同时相图像中空间结构的变化来实现对特征信息的综合分析,其主要方法有:基于线特征的 SAR 图像变化检测方法、基于空间纹理的 SAR 图像变化检测方法、基于模型结构的 SAR 图像变化检测方法和基于语义描述的 SAR 图像变化检测方法等。

结构特征分析的 SAR 图像变化检测方法在高分辨率图像方面优势明显,同时由于采用了空间结构的变化来实现对

特征信息的综合分析,因此更容易进行高层分析。对这种算法来说,特征的提取和分析是技术攻关的难点,目前而言,对于点、线和区域等特征的提取,技术还不成熟,因此基元特征提取的问题不能很好地得到解决,而基元特征的提取直接决定着检测的性能,所以在实际应用中,结构特征分析的 SAR 图像变化检测方法受到很大限制,也是今后需要探索研究的方向之一。

### 2.2.2 SAR 图像变化检测评估方法

由于很难获得 SAR 图像实际变化区域,因此,对 SAR 图像变化检测效果进行定量评价是很难的。一般而言,在已知实际变化区域的前提下,通过以下 3 个表达式来衡量 SAR 图像变化检测效果:

(1) 正确检测率:

$$PC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

(2) Jaccard 系数:

$$JC = \frac{TP}{TP + FP + FN}$$

(3) Yule 系数:

$$YC = \left| \frac{TP}{TP + FP} + \frac{TN}{TN + FN} - 1 \right|$$

其中,  $TP$  表示实际发生且检测为发生的像素个数;  $FP$  表示虚警个数;  $TN$  表示实际未发生且检测为未发生的像素个数;  $FN$  表示漏检个数。

除此之外,人眼视觉观察也能作为 SAR 图像变化检测评估方法。

### 2.3 毁伤评估

SAR 图像打击效果评估最重要也最关键的一个环节是毁伤评估。毁伤评估是更高层的决策,直接决定着 SAR 图像打击效果评估的好坏,也决定了后续作战计划的开展,影响着后续作战进程的发展,前期对 SAR 图像所有的处理方法,包括几何校正、辐射校正、图像增强等,都是为毁伤评估做准备。目前对 SAR 图像打击效果毁伤评估研究比较少,其方法主要有两类:以毁伤区域指示为目的的打击效果评估方法和以目标毁伤程度指示为目的的打击效果评估方法。

文献[9]以提取毁伤区域为目的,通过图像配准、变化检测等操作,实现对激光雷达仿真图像的毁伤区域精确提取。随着各种图像处理技术的发展,打击效果评估技术的研究也越来越深入,评估准则也逐渐趋于以感兴趣军事目标的变化情况为对象。文献[1,6,7]通过目标提取、特征提取的处理手段,通过对比打击前后目标特征的变化情况,分析目标的毁伤程度,实现目标的毁伤评估。

一般而言,根据图像配准和差值变化检测的结果,毁伤评估准则可以表示如下:

- 1 级毁伤:  $\sigma \leq I(x, y) < 1.5\sigma$ , 表示无损伤或者轻微损伤;
- 2 级毁伤:  $1.5\sigma \leq I(x, y) < 2\sigma$ , 表示轻微毁伤或者中度毁伤;
- 3 级毁伤:  $2\sigma \leq I(x, y) < 2.5\sigma$ , 表示中度毁伤或者严重毁伤;
- 4 级毁伤:  $I(x, y) \geq 2.5\sigma$ , 表示严重毁伤或者完全毁伤。

其中,  $I(x, y)$  为  $(x, y)$  点的领域均值的差值结果,  $\sigma$  为差

值图像的标准差。

### 3 SAR 图像打击效果评估研究中存在的问题

SAR 图像打击效果评估研究还处于初级阶段,因此不可避免出现一些问题,主要表现如下:

(1)SAR 图像打击效果评估的方法不完善。目前,SAR 图像打击效果评估研究才刚刚起步,技术还不成熟,对于 SAR 图像理解来说,没有现成的理论和方法支撑。同时,SAR 图像的打击效果评估方法主要是基于目标特征的对比评估,这种方法要求能够通过前期处理方式提取出待评估的目标区域,但针对不同目标,其在 SAR 图像中的表现特性也不相同,因此对其进行图像分割时用到的算法也不相同。文献[1]给出的目标提取算法虽然能够提取出目标区域,但是由于采用了空间二维匹配滤波算法,在要求目标的方向精度较高或者图像较大的情况下,运算量极大。如果采用 Otsu 分割算法结合形态学处理方法,可以很快地分割出目标,但是待分割的目标必须与背景差异较大,对其他类型的目标则不适用。因此,针对不同目标,对 SAR 图像打击效果评估方法进行完善,建立 SAR 图像打击效果评估方法库,是构建 SAR 图像打击效果评估体系的重要步骤之一。

(2)SAR 图像打击效果评估结果的表示不清楚。文献[1]通过对目标进行特征提取,以打击前后的目标的对应特征以及特征矢量间的二次距离<sup>[21]</sup>作为评估最终结果,并指出:在打击前后的特征变化不大的情况下,目标基本上不受摧毁。但是,该文并没有对特征变化的大小进行量化及详细说明,即没有给出一个指标来表示当特征变化小于某个数值时,认为变化由噪声干扰造成,当特征变化在某个区间时,认为目标受到中等毁伤或者其他毁伤。文献<sup>[21]</sup>则以变化毁伤区域作为评估的最终结果,评估结果简洁明了,但是不能反映进一步的毁伤信息。

(3)SAR 图像打击效果评估模型库的建立不系统。不同的目标具有不同的模型,现阶段各模型之间还不具有通用性,专家库建立不完善。随着武器系统性能的提高,打击效果评估的标准也要及时更新,同时及时建立和更新专家库。评估模型的建立,需要熟悉各武器装备和各种目标的特征,能够根据得到的数据库合理地提出毁伤指标,给出正确的毁伤等级。现有的评估模型中仍存在问题,如:不能全面反应模型中子目标之间的复杂关系、物理毁伤到功能毁伤的映射函数难以建立等,这些问题有待进一步研究以扩大模型的适用范围<sup>[22]</sup>。

结束语 打击效果评估是近年来刚刚兴起的一个研究领域,基于 SAR 图像打击效果评估也是近年来一个热点,由于其在军事上的重要意义及良好的应用前景,已经受到各国政府及很多研究人员的高度关注。本文对基于变化检测的 SAR 图像效果评估方法技术进行了研究,并对 SAR 图像打击效果评估研究中待解决的问题进行了总结,具有一定理论意义。

### 参考文献

- [1] 付文亮,李少洪,洪文. 基于高分辨率 SAR 图像的打击效果评估[J]. 电子学报,2003,31(9):1290-1294
- [2] 罗勤,郭艳丽. 基于舰载无人机的海战场打击效果评估研究[J]. 舰船电子工程,2008,28(6):55-58
- [3] 尤晓建,韩雪梅. 高分辨率光学图像目标打击效果评估系统研究[J]. 信息技术,2010(5):92-95
- [4] Li Xu-hui,Ci Lin-lin,Liu Jia-hua, et al. Research on Battle Damage Assessment[C]// Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Test and Measurement, 2007:1248-1251
- [5] 娄联堂,汪世宏,戴祖旭. 基于图像理解舰船打击效果评估数学模型[J]. 佛山科学技术学院学报,自然科学版,2006,24(2):20-24
- [6] 骆渊. 基于图像理解的航母打击效果评估系统研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006
- [7] 席大春. 基于图像理解的桥梁打击效果评估研究[D]. 武汉:华中科技大学,2005
- [8] 苏娟,鲜勇,刘代志. 基于图像变化检测的打击效果自动评估算法[J]. 火力与指挥控制,2008,33(4):134-137
- [9] 朱文伯,陈岛. 海上机动目标打击效果评估决策支持系统设计[J]. 指挥控制与仿真,2007,29(1):34-41
- [10] 宛苏成. 基于高分辨率 SAR 图像打击效果评估研究与实现[D]. 南京:南京航空航天大学,2010
- [11] 郭佳,李辉,王成,等. 一种基于互信息的图像配准算法[J]. 传感技术学报,2013,26(7):958-960
- [12] Islam M B,Kabir M M J. A New Feature-Based Image Registration Algorithm[J]. Computer Technology and Application, 2013(4):79-84
- [13] 张开玉,梁凤梅. 基于改进 SURF 的图像配准关键算法研究[J]. 科学技术与工程,2013,13(10):2875-2879
- [14] 刘君,徐来明,左小女. 一种基于互信息与梯度的图像精确配准方法[J]. 南昌大学学报,工科版,2012,34(4):396-400
- [15] 尹程龙,张旭明,徐侃. 基于 Zernike 矩的快速图像配准算法[J]. 光电工程,2012,39(11):81-87
- [16] 冯林,张名举,贺明峰,等. 用分层互信息和薄板样条实现医学图像弹性自动配准[J]. 计算机辅助设计与图形学报,2005,17(7):1492-1496
- [17] 杨健,王涌天,唐宋元,等. 基于互信息量和薄板样条的 X 射线造影图像弹性配准[J]. 电子学报,2007,35(1):127-130
- [18] 章世平. 基于互信息的遥感图像非线性配准研究[D]. 南京:南京理工大学,2007
- [19] 刘景正. 基于特征的 SAR 影像匹配技术研究[D]. 南京:解放军信息工程大学,2007
- [20] Kreithen D E, Halversen S D, et al. A discrimination algorithm and the effect of resolution[C]// IEEE National Radar Conference. London: IEEE NRC, 1993:128-133
- [21] Yu S-H, Srivastava A, Mehra R K. Automatic Battle Damage Assessment based on Laser Radar Imagery[C]// SPIE. 1999: 210-221
- [22] 陈麒,祝明波,刘旭东. 基于图像的打击效果评估研究综述[J]. 舰船电子工程,2013,33(4):10-12