

高分辨率 SAR 数据在 5·12汶川地震灾害 监测与评估中的应用

刘斌涛^{1,2}, 陶和平², 范建容², 田兵伟^{1,2}, 张建强^{1,2}, 严冬^{1,2}

(1 中国科学院研究生院, 北京 100049; 2 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 2008-05-12四川省汶川县境内发生 8.0 级地震, 紧接而来的降雨天气严重影响了地震灾害遥感监测的实施。合成孔径雷达以其穿透云雾的能力, 备受人们关注, 成为抗震救灾遥感信息保障的重要数据源。利用 COSMO-SkyMed、TerraSAR-X、RADARSAT 等高分辨率 SAR 数据对 5·12 汶川地震灾害的监测表明, 合成孔径雷达在重大自然灾害遥感监测中起着非常重要的作用, 特别是在多云多雨环境下合成孔径雷达起到的作用更加明显。

关键词: 地震灾害; 合成孔径雷达; 灾害监测; 汶川

中图分类号: P306 P694 P642 TP79 P407

文献标识码: A

2008-05-12 T14:28 分四川省汶川县境内发生 8.0 级强烈地震, 紧接而来的降雨又造成灾区发生大面积的崩塌、滑坡等次生灾害, 进出灾区的公路交通几乎全部被毁。在灾区灾情不明、余震与次生灾害不断发生的情况下, 遥感成为获得震区灾情的主要手段。由于灾区天气一直不好, 光学成像比较困难, 合成孔径雷达 (SAR) 成为这次抗震救灾前期遥感信息保障的十分重要的数据源。

5·12 汶川地震灾害遥感监测与评估大致经历了三个阶段。第一阶段是摸清灾区的灾情情况, 主要是进行灾区房屋倒塌情况评估; 第二阶段是为救灾提供空间信息保障, 即利用遥感进行主要道路的通行能力评估; 第三阶段是对地震灾害造成的次生灾害进行动态监测, 主要包括崩塌、滑坡、泥石流的识别以及堰塞湖的动态监测。本研究用到的数据包括: 5月13日的 COSMO-SkyMed SAR 数据、5月14日的 RADARSAT-1 SAR 数据、5月15日的 TerraSAR-X SAR 数据、5月17日的 RADARSAT-1 SAR 数据。辅助数据是灾前的中巴地球资源卫星

02B 星 HR 数据和 RADARSAT-1 SAR 数据。

1 房屋倒塌情况评估

遥感具有快速、机动、可以到达等特点, 可以对灾区大范围内的受灾情况进行估算, 并且可以了解救援人员难以到达的地方的灾害情况。因此, 房屋倒塌情况评估是汶川地震灾害遥感监测与评估第一阶段的重要工作。

1.1 房屋倒塌评估技术方法

在地震应急救援工作中, 在无法进行地面调查的情况下, 或进行地面调查的同时, 利用遥感影像对灾区进行全面、宏观的了解并对建筑物受损情况进行快速评估, 为地震应急救援提供决策依据^[1-3]。用于震区房屋倒塌评估的数据主要是航空影像^[3,4]、高分辨率的光学遥感影像^[5,6], 包括 IKONOS、QUICKBIRD、SPOT 等, 方法包括震害影像判读、变化监测、结合 GIS 技术的损失评估等^[7-9]。使用高分辨率的合成孔径雷达 (SAR) 图像进行震害评

收稿日期 (Received date): 2008-05-26

基金项目 (Foundation item): 中国科学院成都山地灾害与环境研究所 5·12 汶川地震科技救灾特别专项。[Supported by the Special Fund of Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences for the earthquake of May 12 in Wenchuan.]

作者简介 (Biography): 刘斌涛 (1984-), 男, 硕士研究生, 山东德州人, 主要研究方向为雷达遥感、智能空间计算、遥感影像处理算法与应用、软件开发技术。[LU Binta (1984-), Male Master Born in Dezhou city, Shandong province, China. Research fields mainly covering microwave remote sensing and intelligent spatial computing. Email: lbt609@163.com]

估还不多见。

5•12汶川地震发生后,灾区的天气一直不好,光学成像受到极大的限制。合成孔径雷达(SAR)具有全天候、全天时的工作能力,不受云雨影响,使用高分辨率SAR图像进行灾区房屋倒塌情况快速评估成为最好的选择。利用SAR影像对建筑物的特殊反应,可以很容易的识别出没有倒塌的房屋,如果配合上震前的图像便可以提取出建筑物受损情况。在实际工作中,作者提出了一种自动提取受损建筑物的方法。这种方法首先提取高分辨率SAR图像的纹理信息,然后再对SAR图像进行边缘检测,最后使用Dissimilarity Homogeneity Sobel(边缘检测算子)分量进行RGB合成。利用整个倒房评估技术如图1所示。

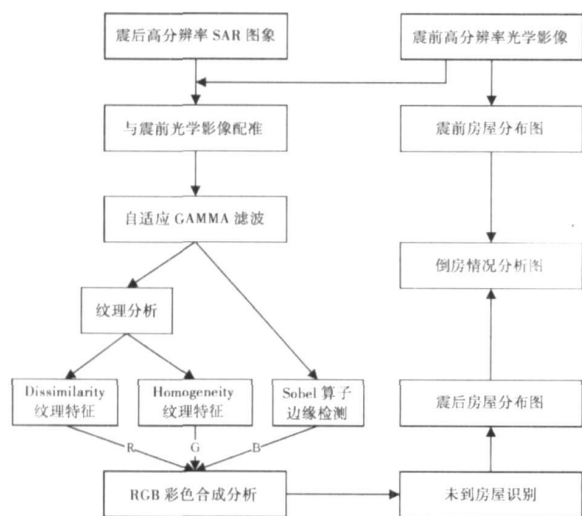


图1 房屋倒塌情况评估技术流程

Fig 1 Scheme of assessment of earthquake damage to buildings

1.2 房屋倒塌评估结果

根据图1中的评估技术流程,使用COSMO-SkyMed 3 m的SAR数据进行了都江堰城区、北川县城及其震中映秀镇的倒房评估。图1是映秀镇倒房情况评估图。

评估中首先利用中巴地球资源卫星的HR数据圈出映秀镇城区的边界和主要建筑物的位置,然后对COSMO数据进行边缘检测,并提取纹理信息,组成多特征数据层,最后目视判读出倒房分区情况。根据实际可以判断的能力,将映秀镇建成区分成完全倒塌区、部分倒塌区和低密度建设区。完全倒塌区是通过COSMO数据Dissimilarity Homogeneity

Sobel(边缘检测算子)三个分量进行RGB合成结果判读已经没有明显建筑物的区域,说明已经完全倒塌,这部分占到整个城区面积的47.9%;部分倒塌区是目视判读还有建筑区存在,但具体损毁情况不明,这部分占到整个城区面积的30.3%;低密度建设区是建设密度很低,雷达图像无法识别的区域,这部分占到整个城区面积的21.9%。

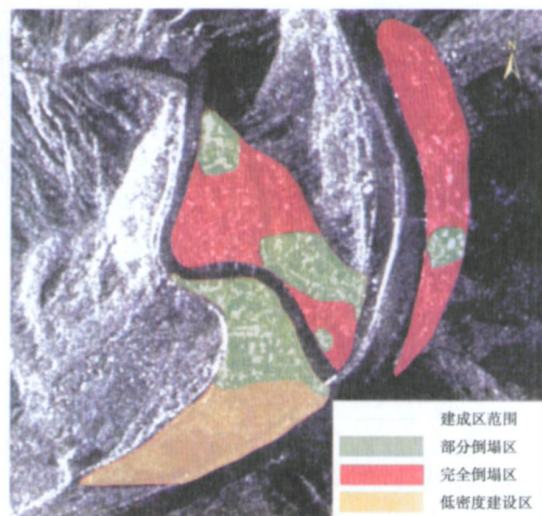


图2 映秀镇倒房情况分析图

Fig 2 Result map of building damaged assessment in Yingxiu town

2 道路通行能力评估

道路通行受阻是影响这次救灾行动的关键因素,因此使用SAR图像进行道路通行能力评估意义重大。公路目标的雷达后向散射类型是漫反射,因此公路在高分辨率SAR图像表现出一条暗色条带,易于识别。当公路由于崩塌、滑坡等原因造成通行受阻时,公路的石块、滑坡体等便可以反射雷达波,因此通行受阻的公路色调比较明亮,类似于山体的特征。利用这种反差,利用高分辨率SAR图像可以快速的评估出公路的通行能力。

图3中(A)方框中为可以通行的公路,表现出一条暗色的条带;(B)方框中为通行受阻的公路,可以看到暗色条带一段消失,说明公路在这个地方丧失了通行能力。

3 次生灾害监测

5•12汶川地震灾害引发了大范围的崩塌、滑

坡、泥石流等山地灾害, 这些灾害又造成灾区多条河流发生堵江。因此, 对这地震引发的次生灾害进行遥感监测成为汶川地震灾害遥感监测与评估第三阶段的主要工作。

以前有学者对泥石流、滑坡与堰塞湖灾害进行过遥感监测研究, 如西藏易贡滑坡^[10]、帕里河滑坡^[11]等, 使用的遥感数据都是光学遥感数据。由于

SAR 图像成像方式与光学影响完全不同, 解译难度较大, 使用高分辨率单波段单极化 SAR 图像识别崩塌、滑坡、泥石流仍有困难。但是利用相关地物特征可以解译出堵江的滑坡, 这主要通过前后两期的雷达影像对比、左右侧视影像对比、河道中断处识别来进行解译。

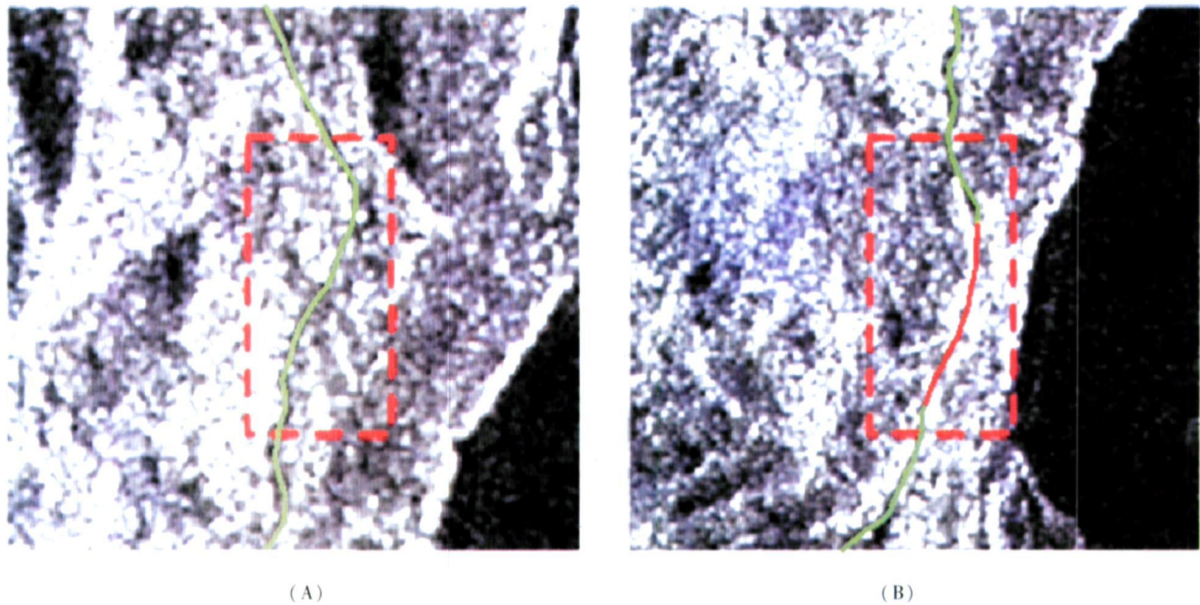


图 3 典型公路特征
Fig. 3 Feature of landslide-blocked road

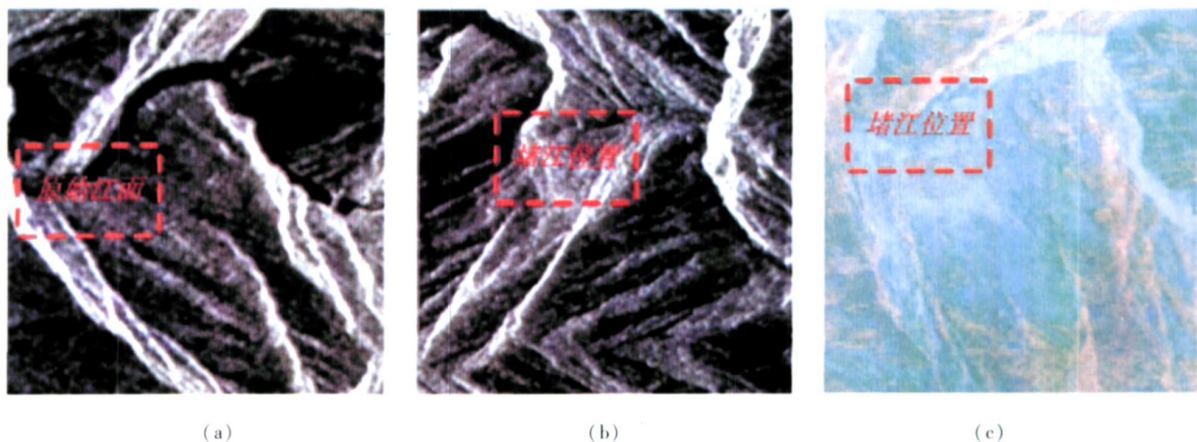


图 4 唐家山滑坡分析图
Fig. 4 Feature of Tangjianshan landslide and landslide-blocked lake

图 4展示了北川县唐家山大型滑坡堵江的相关特征, 其中 (a)为震前 2007- 12- 26 的 RADARSAT - 1/SAR 影像 (降轨右侧视观测); (b)为震后 2008 - 05- 17 的 RADARSAT - 1/SAR 影像 (升轨右侧

视观测); (c)为震后 2008- 05- 14 的福卫 2 号多光谱影像。对比 (a)和 (b)可以发现, 在 (b)图方框处河流断开, 说明此处发生了堵江, 仔细观察 (b)还可以识别出滑坡台地, 并能够大致判断出滑坡滑动

的方向。以(c)中的光学影像作为对比,说明影像判读结果是正确的。

4 结论

星载合成孔径雷达以其特有的全天候、全天时、大幅宽、高分辨率、侧视观测、重复周期短等优点在这次汶川地震灾害遥感监测中起到了重要的作用。实践证明,合成孔径雷达(SAR)已经成为重大自然灾害遥感信息保障的关键数据源。在使用高分辨率SAR数据进行汶川地震灾害遥感监测时也发现很多技术困难。主要表现在以下方面:1. SAR图像变形很大,在高山峡谷地区解译十分困难,变形导致很多地物被掩盖而无法解译;2. 这次使用的高分辨率SAR数据都是单波段、单极化的数据,信息量有限,建议以后进行类似监测应该进行多极化或全极化观测;3. 使用SAR数据进行滑坡、泥石流等山地灾害体识别仍然有困难,这是本为以后的研究方向。

致谢:文章中使用的COSMO数据来自北京同天视地空间技术有限公司;TerraSAR和福卫-2号数据来自北京视宝卫星图像有限公司;RADARSAT数据来自中国科学院对地观测与数字地球科学中心抗震救灾共享数据。CBERS02-HR数据来自中国资源卫星应用中心。在此对提供数据的以上单位表示衷心的感谢。

参考文献 (References):

- [1] A. A. Tronin Remote sensing and earthquakes: A review [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2006, 31: 138~142
- [2] David M. Trallut, Ronald G. Blum, Victor Zlotnicki et al Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards [J]. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2005, 59: 185~198
- [3] Liu Jiahang, Yang Jianfeng, Wei Chengjie et al Acquisition of earthquake damage information based on remote sensing technology: history, current situation and trend [J]. *Journal of natural disasters*, 2004, 13(5): 46~52 [柳稼航, 杨建峰, 魏成阶. 震害信息遥感获取技术历史、现状和趋势 [J]. 自然灾害学报, 2004, 13(5): 46~52]
- [4] Wang Xiaoping, Wei Chengjie, Miao Chonggang et al The extraction of seismic damage from remote sensing images: A case study of Baichuan-Jiashi earthquake with MS 6.8 occurred on Feb. 24, 2003 [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(Suppl): 265~291 [王晓青, 魏成阶, 苗崇刚等. 震害遥感快速提取研究——以2003年2月24日巴楚—伽师6.8级地震为例 [J]. 地学前缘, 2003, 10(特刊): 265~291]
- [5] Ning Baokun, Qu Guosheng, Zhang Ning et al Application of KONOS imagery to earthquake disaster reduction and damage assessment in urban area [J]. *Seismology and geology*, 2004, 26(1): 161~168 [宁宝坤, 曲国胜, 张宁, 等. KONOS卫星影像在城市防震减灾及震害评价中的应用研究 [J]. 地震地质, 2004, 26(1): 161~168]
- [6] Yuan Zhongxia, Wang Lann in Urban feature recognition for seismic risk assessment using high-resolution satellite image [J]. *World earthquake engineering*, 2004, 20(3): 135~140 [袁中夏, 王兰民. 利用高分辨率卫星影像进行地震损失评价所需的城市特征识别 [J]. 世界地震工程, 2004, 20(3): 135~140]
- [7] Zhang Guifang, Shan Xinjian, Yin Jingyuan Application of high-resolution satellite remote sensing image in quick pre-estimate of seismic disaster [J]. *Journal of geodesy and geodynamics*, 2005, 25(2): 63~68 [张桂芳, 单新建, 尹京苑. 高分辨率卫星影像图在震害快速预估中的应用 [J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25(2): 63~68]
- [8] Zhu Min, Feng Zhongke, Xu Zhi in Prospect of digital seismic damage evaluation [J]. *Earthquake engineering and engineering vibration*, 2005, 25(6): 109~112 [朱敏, 冯仲科, 徐志敏. 数字震害评估的发展与应用 [J]. 地震工程与工程振动, 2005, 25(6): 109~112]
- [9] Wang Long, Wang Xiaoping, Ding Xiang et al Study on loss assessment of construction earthquake damage based on remote sensing and GIS [J]. *Earthquake*, 2007, 27(4): 77~83 [王龙, 王晓青, 丁香等. 基于遥感和GIS的建筑物震害损失评估方法研究与实现 [J]. 地震, 2007, 27(4): 77~83]
- [10] Lü Jietang, Wang Zhihua, Zhou Chenghu A tentative discussion on the monitoring of the Yigong landslide-blocked lake with satellite remote sensing technique [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(4): 363~368 [吕杰堂, 王治华, 周成虎. 西藏贡觉滑坡堰塞湖的卫星遥感监测方法初探 [J]. 地球学报, 2002, 23(4): 363~368]
- [11] Wang Zhihua, Xu Qide, Yang Rihou et al Remote sensing survey for a landslide disaster in the Boundary River between China and India [J]. *Science & Technology Review*, 2007, 25(6): 26~31 [王治华, 徐起德, 杨日红. 中印边界附近帕里河上的滑坡灾害遥感调查. 科技导报, 2007, 25(6): 26~31]

Application of High-Resolution SAR Images in Wenchuan Earthquake Hazard Monitoring and Assessment

LIU B intao^{1, 2}, TAO Heping², FAN Jianrong², TIAN Binwei^{1, 2}, ZHANG Jianqiang^{1, 2}, YAN Dong^{1, 2}

(1 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2 Institute of Mountain Hazards and Environment, The Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

Abstract One heavy earthquake with MS8.0 occurred on May 12, 2008 in Wenchuan County, Sichuan province. After the earthquake, the bad weather has made the optical satellite acquired data difficult. Microwave can transmit through cloud and rain, so synthetic aperture radar images has widely used in Wenchuan earthquake hazard monitoring and assessment. Using high-resolution SAR images, such as COMOS, TerraSAR, RADARSAT, the buildings and roads which has been damaged by earthquake were monitored and the landslides, debris flow, landslide-blocked lake were recognized. The result shows that high-resolution SAR images are a very important data source in natural hazard monitoring and assessment, especially in the cloudy and rainy weather.

Key words Earthquake Hazard, Synthetic Aperture Radar, Hazard monitoring, Wenchuan

堰塞湖

堰塞湖, 这个过去连许多水利行业人士都不甚熟悉的专业术语, 如今因 5·12 汶川地震而引起社会各界的广泛关注。堰塞湖, 英文名 imprisoned lake, 指河流被外来物质堵塞而形成的湖泊。常由火山熔岩流, 或由地震活动等原因引起山崩、滑坡、泥石流等堵截河谷或河床而成。由火山熔岩流堵截而形成的湖泊称为熔岩堰塞湖, 还有由冰川泥石流形成的冰湖等。

由山崩滑坡所形成的堰塞湖多见于藏东南峡谷地区, 且年代都很新近, 如藏东南波密县的易贡错是 1990 年由于地震影响暴发的特大泥石流堵截了乍龙湫河道而形成的; 波密县的古乡错是 1953 年由冰川泥石流堵塞而成 (冰湖); 八宿县的然乌错是 1959 年暴雨引起山崩堵塞河谷形成的; 还有最新的易贡湖是 2000 - 04 发生的西藏易贡藏布大滑坡引起的堰塞湖, 覆盖面积 33 km²。另外, 我国东北的五大连池旧称鸟得邻池, 系由老黑山和火烧山两座火山喷溢的玄武岩熔岩流堵塞堰塞湖; 黑龙江省的镜泊湖是由第四纪玄武岩流形成的一个典型熔岩堰塞湖, 面积约 90.3 km²。

堰塞湖的堵塞物不是固定永远不变的, 河谷、河床被堵塞后, 流水聚集, 堵塞物受冲刷、侵蚀、溶解、崩塌等等, 一旦堵塞物被破坏, 湖水便四周漫溢, 甚或倾泻而下。由地震灾害区形成的堰塞湖一旦决口会对下游形成洪峰, 破坏性不亚于地震灾害的破坏力。

5·12 四川汶川特大地震, 已造成 36 处堰塞湖危险地带, 北川部分地区被堰塞湖水淹没。伴随次生灾害的不断发生, 堰塞湖的水位可能会迅速上升, 对此, 有关部门已经采取了调查、监测、监督、评价等措施, 动用航空遥感等手段, 通过高分辨率的图像查清堰塞湖的分布, 对堰塞湖的水位上升情况和坝体的结构进行评价。为保障居民安全, 政府已对有些由比较松散的物质构成的危险堰塞湖下游沿岸位置较低居民, 实行了尽快转移。

(冯海燕)