基于合成孔径雷达的城市建筑地震受损分析*

张建强[1,2]，崔 鹏[1]，葛永刚[1]，向灵芝[1,2]

（1. 中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室，中国科学院成都山地灾害与环境研究所，四川 成都 610041；2. 中国科学院研究生院，北京 100049）

摘 要：汶川地震灾区位于青藏高原东缘，该地区云雨天气较多，光学遥感受制约较大，而微波能够穿透云、雾、小雨等，且不受太阳光线的影响，雷达遥感具有全天时、全天候的特点，因而可以弥补光学遥感的不足。根据房屋受地震破坏后影响雷达回波强度，在雷达影像上表现为亮度及纹理不同的原理，本论文利用不同分辨率的 COSMO - SkyMed 和 Radarsat 等 SAR 数据，将其与震前的 SPOT 影像进行配准后，通过纹理分析等处理，对都江堰市区、北川县城曲山镇等受灾较为严重的城镇进行分析解译，利用雷达影像判读出倒塌房屋的信息，以及地震次生山地灾害对城镇的破坏。

关键词：汶川地震；房屋受损；合成孔径雷达

中图分类号：P315.9 **文献标识码**：A **文章编号**：1000 - 811X(2010)S0 - 0282 - 04

汶川地震发生后，灾区公路交通遭到损毁，遥感成为获取灾区灾情的重要手段，但由于重灾区位于青藏高原的东缘，该区域降雨较为充沛，光学遥感受到限制，从而造成部分灾区灾情无法得到及时调查。而雷达遥感具有全天候、全天时和大面积成像探测能力[1]，不受天气、光照等条件的影响，因而可以弥补多雨多云地区光学遥感的局限，特别是合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar，SAR)已经广泛的应用于众多领域。

城市中建筑物的墙壁与地面构成二面或者多面角反射体，造成雷达波束双面或多次角反射，且发射的方向相同或相交，使回波大大增强。同时，建筑物等含金属结构，使物质的介电常数 ε 增大，产生强烈的雷达后向散射[2]。因而在雷达影像上，居民点多呈明显亮斑，在城镇中，建筑呈带状亮斑，易于识别。在汶川地震中，由于震动或次生山地灾害的破坏，使得这些建筑倒塌或被掩埋，而在影像上失去其线状的特征。研究中使用了 5 月 13 日的 COSMO - SkyMed SAR 数据、5 月 17 日的 Radarsat SAR 数据进行房屋地震受损的研究。

1 图像预处理

合成孔径雷达图像在成像机理和图像特征等方面与光学遥感影像均存在显著的差异，因而雷达图像的处理方法与光学遥感影像也不同，相比光学遥感影像，雷达图像的预处理更为复杂。

1.1 天线畸变校正

由于仪器的天线接收阵列，雷达图像在距离向上发生增益变化，即在垂直天线方向产生一定的畸变，通过查阅数据的头文件可获取影像的天线畸变的相关系数，再通过天线阵列校正函数消除该畸变，也可通过统计计算雷达图像在距离向上的平均变化(图 1)，并使用多项式来拟合平均变量从而移除该增益变化。

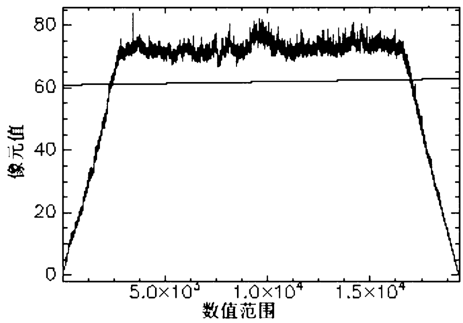
1.2 辐射定标

雷达系统输入的是目标回波能量，输出的是图像的亮度，输入量和输出量之间的关系被称为传递函数。在数据处理中，利用图像参数和现成的算法，重新计算雷达图像的亮度值和后向散射系数 σ°[2]。

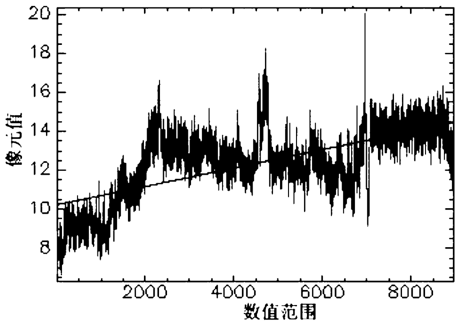
$$B_{ij} = \lg[DN^2 + A_0/A_j], \tag{1}$$

式中：DN 为原始图像第 i 行 j 列像元灰度值；B_{ij}

* 收稿日期：2010 - 09 - 25
基金项目：国家重点基础研究发展计划“973”计划资助项目(2008CB425890)；科学支撑计划资助项目(2006BAC10B04)；中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2 - YW - Q03 - 5 - 2)
作者简介：张建强(1982 -)，男，博士生，研究方向为山地灾害遥感与山地灾害数据挖掘. E-mail：zhangjianqiang83@163.com



(a)COMOS-SkyMed数据



(b)Radar数据

图 1　天线校正图

为校正后图像第 i 行 j 列像元灰度值；A_0 为增益偏移量；A_j 为增益比率查找表值。A_0 和 A_j 由头文件给出。

$$\sigma^{\circ}_{ij} = B_{ij} + 10\lg[\sin(\theta_j)], \quad (2)$$

式中：θ_j 为第 j 个像元的入射角。

$$\theta_j = \arcsin[(R_t + H)\sin(\varphi_j)/R_j], \quad (3)$$

式中：R_t 为地球半径；H 为轨道高度；φ_j 为第 j 个像元的圆心角；R_j 为第 j 个像元的斜距。这些参数均由雷达图像的头文件中查询获取。

1.3　几何校正

于光学遥感不同，雷达图像上存在着多种几何畸变，如阴影、叠掩、透视收缩等，因而对雷达图像的几何校正，多利用数字地形模型 DTM 和雷达成像参数生成无畸变的雷达模拟图像，在选定控制点进行多项式校正。而对于城市地区，一般城镇所在区域地势平坦，因而几何畸变较小，且比较容易寻找控制点，因而研究时根据震前的光学遥感影像 SPOT 寻找控制点，进而用多项式进行几何校正。

1.4　消除斑点噪声

雷达成像过程中相干处理会造成斑点噪声，这是一种与信号相关的噪声，在雷达影像上呈颗粒状散布的斑点，斑点噪声会限制其辐射分辨率，模糊地物的纹理信息，从而影响雷达影像的解译，因而需要消除影像的斑点噪声。在雷达遥感中，斑点噪音不宜通过提高信噪比来改善，而是通过成像过程中的多次观测技术或滤波方法来压制噪音[3]。本研究采用滤波的方法，常用的滤波方法有中值滤波、均值滤波等。

2　城镇倒塌建筑分析

本研究选取都江堰市城区为研究区，研究采用的数据为震前分辨率为 2.5 m 的 SPOT 全色波段和震后的 COSMO SAR 图像。在 SPOT 影像中，房屋、公路、桥梁等人工设施，以及河流，其反射率均较高，在影像上亮度较高，呈白色，而植被等其他地物对光线的吸收较强，因而亮度较低。而在雷达图像中，房屋建筑造成雷达波束双面或多次角反射，回波能量较强，因而其边缘亮度较高，纹理信息特别丰富，而对于公路和河流等表面平坦的线性地物，表面光滑，对微波产生镜面反射，造成雷达天线无法接受到反射信号，因而在图像上呈现出暗色调，只有当微波与其近垂直角入射时，才能显示出强反射。而位于公路两旁的金属路灯，由于其介电常数 ε 较大，因而呈现为亮点，这在 SPOT 影像中无法识别出。

波段融合是变化检测的一种常用的方法。SAR 图像和可见光图像融合的关键技术包括：空间配准、融合算法和融合质量评价[4]。将震后高分辨率的 COSMO SAR 数据与震前的 SPOT 数据进行融合，由于该地区拥有的 SPOT 数据为 2.5 m 全色波段影像，无多波段信息，因而在波段组合时讲 COSMO 数据赋予红色，SPOT 全色波段数据重复赋予蓝色和绿色，叠加和形成彩色信息，从而提高影像的信息量(图 2)。融合后影像基本呈四种颜色，未变化的房屋以及线性地物(道路、房屋等)为浅蓝色，山体呈暗红色，其他未发生变化的平原区域为暗绿色，发生变化的城市区域呈粉红色。倒塌的房屋，其规则的纹理信息消失，叠加后呈粉红色。由于震前的 SPOT 影像为 2006 年数据，震后影像中增加的新的建筑，因而需要将此数据剔除。

融合后图像的质量虽然有明显的改善，但与自动识别阶段相比还有很大的差距[4]。因而对融合影像的解译，仍采用人机交互解译的方法。在融合的影像中对颜色进行分析，并对比震前震后的影像，解译出都江堰城区倒塌的建筑(图 3)。通过实地考察，都江堰中医院及建安中学倒塌建筑，均正确提取。但是，在都江堰城区裂而未倒的建

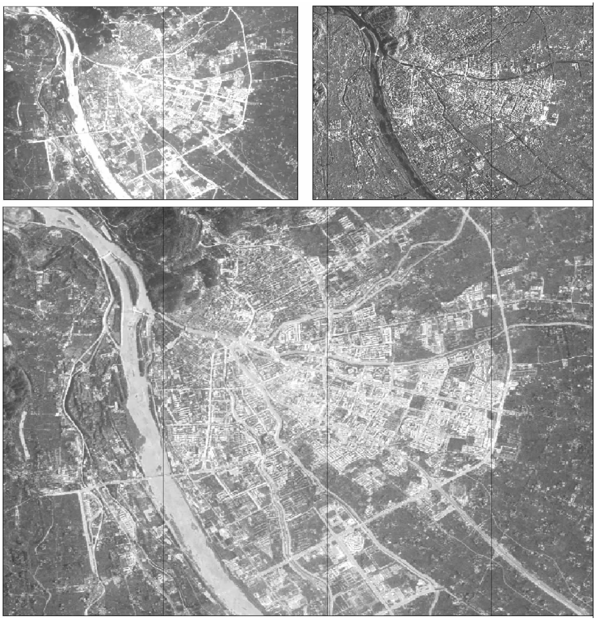


图 2 都江堰遥感影像融合

筑较多，然而这些建筑在雷达图像中表现并不明显。

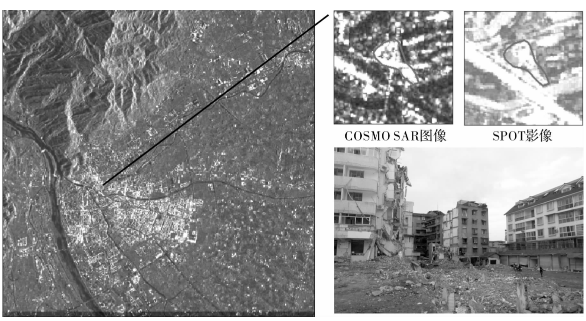


图 3 倒塌房屋解译结果

3 次生灾害破坏分析

北川县城是受汶川地震破坏最为严重的城镇之一，强烈的地震振动及地表破裂使该县城成为一片废墟，此外，地震诱发的崩塌、滑坡、堰塞湖等次生山地灾害，也是造成北川县城地震危害的主要原因之一。在 RADAR 雷达图像，由于北川老县城的房屋受损严重，无法形成二面角或多面角的反射体，因而图像上未呈现出明亮的线性特征，但由于仍存在大量的未倒房屋，因而雷达图像上仍存在一定的纹理信息(图 4)。但位于县城西南侧以及东南侧，房屋的纹理信息消失，可以推测出该区域为次生山地灾害发生区域，将房屋掩埋后，使该区域失去纹理信息。对比震后的光学影像，这两处均发生较大的滑坡，分别为王家岩滑坡和景家山滑坡[5]。

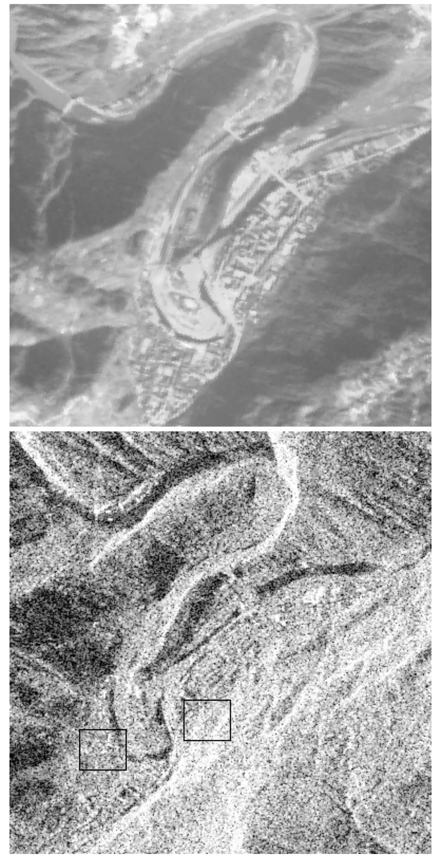


图 4 北川县城震前震后对比

县城周边地形起伏较大，因而雷达图像特有的几何畸变，如透视收缩，叠掩，阴影等广泛分布，影响影像的解译。即使用单波段单极化 SAR 图像识别次生山地灾害难度较大[6]。理论上讲，发生崩塌、滑坡的区域，由于表面粗糙度的改变，从而影响雷达回波的强度，但在解译过程，这种差异并不明显。但是可以根据次生山地灾害对河流、道路及房屋等线性特征及纹理的改变，确定其发生的位置，并通过对周围区域的对比，确定其发生的范围，必要时可以和震前的光学影像进行对比。通过对雷达图像的分析，解译出造成湔江堵塞的堰塞坝，分别为唐家山滑坡，苦竹坝滑坡和新街村滑坡，而对县城造成直接危害的滑坡为王家岩滑坡和景家山滑坡(图 5)。

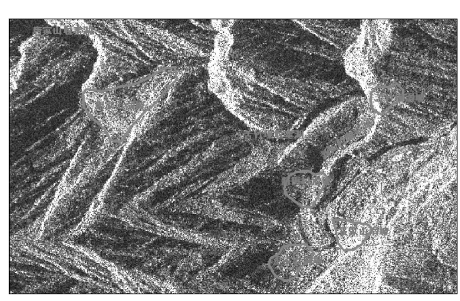


图 5 北川县次生山地灾害解译

4 结论

研究使用的合成孔径雷达数据，获取的时间分别为2008年5月13日和2008年5月17日，即在汶川地震发生很短的时间内获得，具有很强的时效性。且在地震发生后，地震灾区部分地区天气状况较差，光学遥感无法获取可用的数据，在地面交通及通讯中断的条件下，合成孔径雷达凸显其全天时、全天候及穿透性强的特点，弥补这些区域存在的数据盲区。

根据城市中建筑物的墙壁与地面构成二面或者多面角反射体，从而增强雷达波束的反射率这一特征，对通过对雷达图像的分析，以及对震前光学影像的对比，可以解译出地震造成的倒塌的房屋。而对于山区的城镇，通过对建筑纹理，对河流、道路等线性地物变化状况的分析，可以解译出，滑坡等次生山地灾害的位置和规模。

当然，合成孔径雷达数据存在一定的不足。首先其目视效果同光学遥感影像相比，差距较大，由于其成像原理的不同，相似分辨率的合成孔径雷达与光学遥感影像相比，其可识别性较差。山区区域内地形起伏造成的雷达的几何畸变较大，在进行辐射校正和几何校正后，仍无法消除这些畸变对解译的影响。此外，研究中主要针对地震造成的房屋倒塌以及较大规模的崩塌、滑坡对房屋的破坏，而对于合成孔径雷达图像对震裂的房屋，以及对规模较小的次生山地灾害的响应，并未涉及，因而可针对雷达图像对造成变化较小的危害的识别进行深入的研究。

致谢：本研究使用的COSMO雷达数据由北京同天视地空间技术有限公司提供，Radarsat雷达数据来着中国科学院对地观测与数字地球中心抗震救灾共享数据，对提供以上数据的各单位表示感谢。

参考文献：

[1] 陈升来，李云茹，李涛. 基于合成孔径雷达图像的河流监测方法研究[J]. 计算机测量与控制，2009，17(7)：1267-1269.

[2] 赵英时等. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京：科学出版社，2005.

[3] 史旭，周扬. 汶川地震堰塞湖的雷达遥感识别研究[J]. 水电能源科学，2009，27(5)：65-68.

[4] 李德军，赵文杰. 基于影像融合技术的合成孔径雷达(SAR)图像目标识别方法的探讨[J]. 摄像技术，2007(6)：40-44.

[5] 王根龙，刘红帅，张军慧. 汶川特大地震之北川县城震害分析[J]. 西北地震学报，2010，32(2)：173-178.

[6] 刘斌涛，陶和平，范建容，等，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[J]. 山地学报，2008，26(3)：267-271.

Analysis of Damaged Building by Wenchuan Earthquake Based on SAR Images

Zhang Jianqiang[1,2], Cui Peng[1], Ge Yonggang[1] and Xiang Lingzhi[1,2]

(1. *Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process*, *Institute of Mountain Hazards and Environment*, *Chinese Academy of Sciences*, *Chengdu* 610041, *China*;
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract: The disaster area of Wenchuan earthquake located in the eastern margin of Tibetan plateau, where cloud and rain were more common, so the optical remote sensing was restricted. The microwave remote sensing could work all time and all-weather for the microwave could penetrate through cloud, fog and light rain, and it also without limitation of night. The buildings which damaged by the earthquake would influence the echo intensity of microwave, which coursed the differences of brightness and texture in the images. The COSMO-SkyMed and Radarsat with different resolution were used in this study. They were geo-corrected with the SPOT images with 2.5 m resolution. By using the edge enhancement and texture analysis, the interpretation was done in the Dujianyan city and Qushan town. The information of damaged buildings was extracted, as well as the information of buildings damaged by the earthquake induced geo-hazards.

Key words: Wenchuan earthquake; damage of buildings; SAR