科学通报 2009 年 第 54 卷 第 17 期: 2581 ~ 2585
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE IN CHINA PRESS

一种改进的地震灾害倒塌房屋遥感信息自动识别方法

郭华东[①], 鹿琳琳[②], 马建文[①], Martino Pesaresi[③], 苑方艳[①]

① 中国科学院对地观测与数字地球科学中心数字地球科学重点实验室, 北京 100190;
② 中国科学院研究生院, 北京 100049;
③ Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC), European Commission Joint Research Center, Ispra (Varese), 21027, Italy
E-mail: hdguo@ceode.ac.cn

2009-03-27 收稿, 2009-06-10 接受
国家重点基础研究发展计划(编号: 2009CB723906)和中国科学院知识创新工程(编号: KKCX1-YW-01)资助项目

摘要 地震灾害倒塌房屋的识别是地震灾害损失评价的重要环节, 也是判断地震强度的指标之一. 5.12 汶川大地震发生后, 中欧地震灾害评估项目组使用自动识别技术处理 0.5 m 分辨率的 ADS40 航空遥感数据, 需要克服航空遥感数据中未倒塌混凝土桥梁、滑坡体滚石与倒塌房屋反射光谱的相似性. 经过多次实验改进后的技术, 一次性识别的倒塌房屋面积覆盖率优于 95%. 介绍了这次实验过程和结果, 实验表明, 该方法也可以用于其他灾害造成的倒塌房屋的自动识别.

关键词
地震灾害
航空遥感影像
倒塌房屋
反射光谱相似性
自动识别方法

利用地震前后高分辨率遥感卫星图像变化监测的方法被广泛应用于地震灾情评估. 对地震前后SPOT5, Quickbird等光学卫星数据进行几何纠正、辐射纠正及影像匹配, 提取变化区域, 可以获取倒塌房屋等地震灾情信息[1~3]. GIS信息作为先验知识加入建筑物倒塌提取过程中, 能够提高信息提取精度[4~6]. 三维信息也可用于倒塌建筑物自动识别, Turker等人[7]利用航空立体像获取地震前后DEM, 通过对比DEM的不同, 提取倒塌建筑物. ALOS/PALSAR, ERS-1, ERS-2和ASAR等雷达卫星数据的相干系数和强度信息亦应用于灾前灾后的建筑物提取[8~12]. 另有研究[13]提出将光学和雷达特征相结合提取灾情信息. 但通常的情况是, 地震发生后初期无法及时得到发生地震区域震前的遥感数据, 或者可以得到震前遥感数据, 但是无法和震后的遥感数据配准并进行变化信息提取.

航空遥感系统机动性强, 光学和雷达传感器可以全天候完成地震灾区的遥感监测, 是灾害监测最有效的技术手段之一. 5.12 汶川大地震发生后, 中国科学院对地观测与数字地球科学中心立即派出航空遥感飞机, 载荷高分辨率雷达和光学 ADS40 遥感系统, 对汶川、茂县、北川等地震灾害影响最严重的地区进行遥感监测, 获得灾区 0.5 m 分辨率 ADS40 影像.

在地震倒塌房屋提取与灾情评估中, 选择受灾最严重的北川县城为实验区. 由于没有地震前空间分辨率优于 1 m的遥感数据, 难以通过地震前和地震后遥感影像变化监测的方法得到倒塌房屋信息. 利用同一期获得的ADS40 影像开展灾后评价, 最重要的是克服未倒塌混凝土桥梁、滑坡体滚石与倒塌房屋反射光谱的相似性. Pesaresi等人[14]在SPOT5 全色波段(Pan)地面分辨率 2.5 m和 3 个多光谱地面分辨率为 10 m的基础上开发了一种技术. 由于SPOT5 和ADS40 数据的光谱覆盖和空间分辨率差异, 直接利用这种技术处理ADS40 数据时不能得到理想的效果, 需要在影像锐化、像元邻域共现测量以及波段选择、

引用格式: 郭华东, 鹿琳琳, 马建文, 等. 一种改进的地震灾害倒塌房屋遥感信息自动识别方法. 科学通报, 2009, 54: 2581~2585
Guo H D, Lu L L, Ma J W, et al. An improved automatic detection method for earthquake-collapsed buildings from ADS40 image. Chinese Sci Bull, 2009, 54: 3303－3307, doi: 10.1007/s11434-009-0461-3

图像拉伸增强等环节做出适当的改进.

我们先后实验了多种识别方法[14,15]，最后通过改进欧方技术提出一种新的倒塌房屋自动识别方法，成功地识别了实验区几乎全部的地震倒塌房屋，统计房屋倒塌面积覆盖精度优于 95%. 该方法的理论基础主要是基于数学形态学. 数学形态学以腐蚀和膨胀为两类基础操作，利用结构元素对图像进行运算，从图像中提取感兴趣特征[15~17]. 近年来，在遥感数据处理中，针对不同的提取对象，进行组合运算，多种形态学算法得以发展，并成功应用于遥感图像的分类提取[18,19].

1 方法的理论基础

地震倒塌房屋自动识别技术是在对计算形态理论与电磁波反射机理的充分理解的基础上设计出来的一种新的图像处理策略，在处理高空间分辨率Pan和多光谱组合的卫星遥感影像方面有广泛的意义. 基本思路是：首先对高空间分辨率Pan做计算形态学处理，这一步的目标是增强高空间分辨率中地面建筑物的边缘，相反，在用于地震倒塌房屋识别时主要是将地面建筑物的边缘模糊掉. 核心算法是共现矩阵，关键点是选择 3×3 或 5×5 窗口的x和y的移动方式和移动距离，最后形成灰度值序列影像[17,19].

参照Pesaresi等人[14]和已有文献[15,17,19]，方法的主要理论基础如下:

假设$\gamma^*\lambda$是使用结构元素 SE= λ的形态学开运算算子，$\prod\gamma(x)$ 是图像 Pan 在像素 x 的开廓线. 则 $\prod\gamma(x)$ 被定义为一个矢量:

$$\prod\gamma(x)=\{\prod\gamma_\lambda:\prod\gamma_\lambda=\gamma_\lambda^*(x),\forall\lambda\in[0,n]\}. \quad (1)$$

同样φ^*是利用结构算子 SE= λ的形态学闭运算. 那么，像素 x 的闭廓线 $\prod\phi(x)$ 被定义为矢量:

$$\prod\varphi(x)=\{\prod\varphi_\lambda:\prod\varphi_\lambda=\varphi_\lambda^*(x),\forall\lambda\in[0,n]\}. \quad (2)$$

公式(2)中，根据开和闭的定义，λ = 0 时 $\prod\gamma_0(x)=\prod\varphi_0(x)=I(x)$. 形态学廓线的导数定义为一个矢量，这个矢量记录了一个递增序列中每一步的开闭廓线的导数值.

开廓线的导数 $\Delta\gamma(x)$ 被定义为矢量,

$$\Delta\gamma(x)=\{\Delta\gamma_\lambda:\Delta\gamma_\lambda=|\prod\gamma_\lambda-\prod\gamma_{\lambda-1}|,\forall\lambda\in[1,n]\}. \quad (3)$$

闭廓线的导数 $\Delta\varphi(x)$ 定义为矢量,

$$\Delta\varphi(x)=\{\Delta\varphi_\lambda:\Delta\varphi_\lambda=|\prod\varphi_\lambda-\prod\varphi_{\lambda-1}|,\forall\lambda\in[1,n]\}. \quad (4)$$

因此，形态学廓线的导数 $\Delta(x)$ 或者 DMP 可以写为矢量,

$$\Delta(x)=\left\{\Delta_c:\begin{matrix}\Delta_c=\Delta\varphi_{\lambda=n-c+1},\forall c\in[1,n]\\ \Delta_c=\Delta\gamma_{\lambda=c-n},\forall c\in[n+1,2n]\end{matrix}\right\}, \quad (5)$$

其中, n 为总的迭代次数, c = 1, …, 2n, |n–c|为形态变化的大小. DMP 矢量的中心位置附近记录的是利用小的结构元素计算得到的响应；而 DMP 矢量开始(c= 1)或者结束(c= 2n)位置，分别记录的是结构元素开廓线和闭廓线中较强烈的响应. 所以，如果获得一个中心的 DMP，表示图像中有小的结构存在. 如果得不到一个中心的 DMP，表示图像中有相对周围区域像素较暗的或者较亮的大结构存在. 因此，通过 DMP 灰度图像记录的信号响应提供了图像中结构的尺寸和类型信息. 结构尺寸 s= |n–c|是距离 DMP 中心的长度，结构的类型通过它在 DMP 矢量灰度图中的位置确定.

2 处理步骤与结果影像分析

北川实验区遥感数据为 0.5 m 分辨率 ADS40 航空影像，彩色影像合成方案为 RGB 3 个波段合成，见图 1. 选择一个波段做共现矩阵处理，选择剩余波段做光谱增强的均值处理，技术路线分解为 3 个基本步骤.

步骤1，处理高分辨率航空影像时，选择5×5窗口. 分析图像中倒塌房屋的特性，进行窗口设计，提取图像的形态学特征. 设定窗口的 x 和 y 移动方向，再计算窗口像元灰度值时，要同时参考相邻窗口相同位置像元的灰度，计算结果的取值取决于窗口的 x 和 y 方向, 5×5 矩阵中设计了 10 个窗口，生成 10 个序列影像，求 10 个序列影像的最小值图像，作为候选波段，见图 2.

步骤 2，对剩余波段做光谱增强地物的处理，经过实验研究中采用了 3 个波段均值处理的方案，突出裸露地表信息，包括裸露地表土壤，滑坡、崩塌滚石.

步骤 3，将计算形态学处理结果最小值图像与光谱增强波段合成，影像中植被和河道水体为绿色，倒塌房屋为紫红色，裸地为土红色，湖泊为黑色，红色铁皮房保留了原色.

将结果影像图 3 与原始影像图 1 关联后，选择全部倒塌①③④⑤、部分倒塌点②⑥区，与目视解译结果比对分析表明，倒塌房屋识别率优于 95%，误差主要出现在部分倒塌区，见图 3.



图 1　北川县城南部

震倒房屋呈现灰白色，红色和蓝色为铁皮屋顶失去几何形状. (a) 从下到上出现 4 处山体滑坡, (b) 出现 2 处山体滑坡, 图像 1474 m×1572 m, 0.56 k

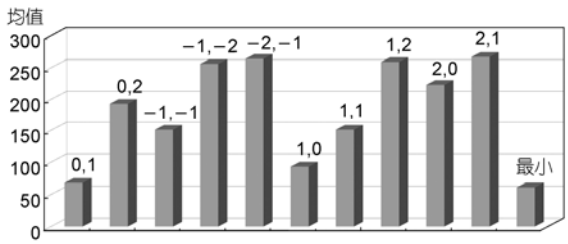

图 2　序列影像的均值直方图

步骤 4，对步骤 3 生成的影像做分类处理和分类统计图，分别见图 4，5. 经过类别归并，将占整体区域面积较小的未倒塌房屋和桥梁合并到植被和水体两类中.

3　结论与讨论

已有的对卫星遥感的高分辨率 Pan 作计算形态学处理和对多光谱波段中地表作光谱增强处理然后合成识别地震倒塌房屋的技术不具备通用性，这种技术在处理高分辨率 ADS40 航空遥感数据时得不到

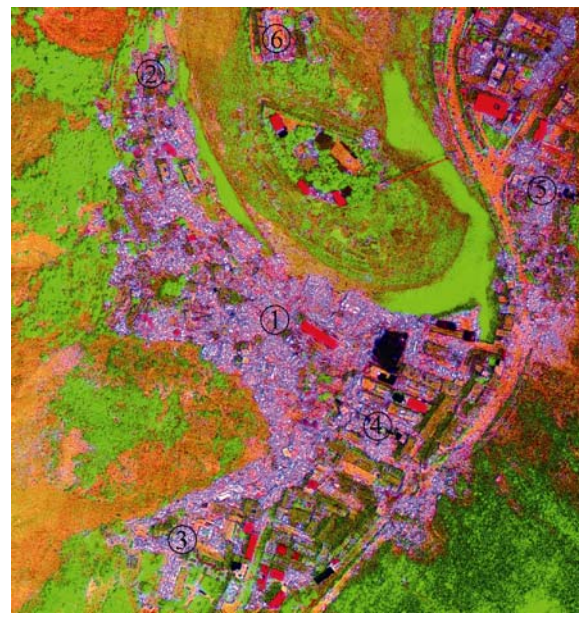

图 3　北川县城部分倒塌房屋提取结果

震倒房屋呈现紫红色，滑坡滚石、裸土为土红色，绿色为植被和河道水体，黑色湖泊，红色铁皮屋顶和未倒塌桥梁为红色，①②③④⑤⑥为精度对比区

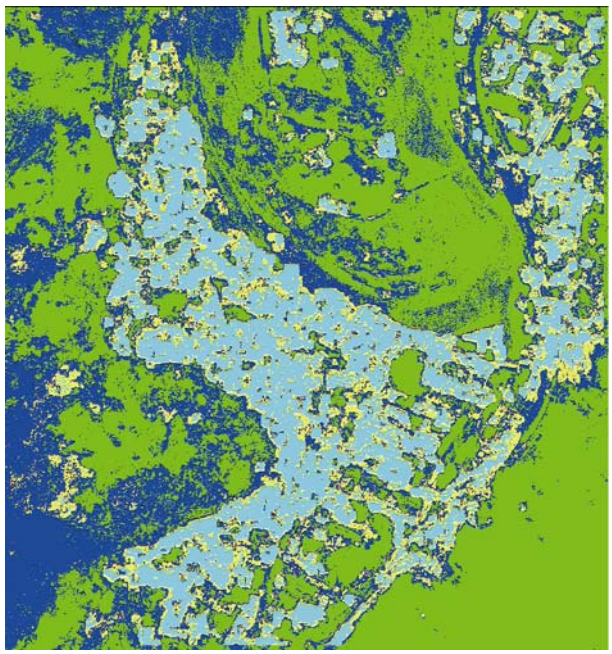

图 4 经过提取和归并类别结果

震倒房屋呈现浅蓝色，绿色为植被、裸土和水体，深蓝色为滑坡滚石，黄色为裸地与未倒塌房屋之间的过渡类

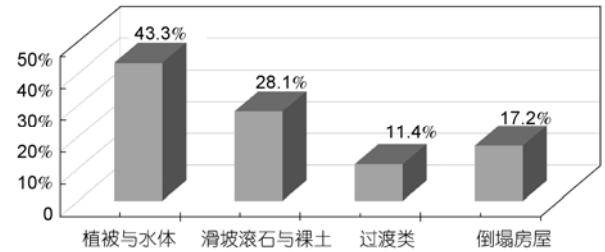

图 5 北川县城部分城区地震灾害后分类统计图

预期效果. 经过对航空遥感数据的分析理解，在原来方法的基础上通过反复实验取得了最佳地物增强方案. 共现矩阵窗口设计和窗口计算起始点是倒塌房屋自动识别的关键，经过多次实验取得了很好的结果.

在中国，70%以上的城市、50%以上的人口分布在气象、地震、地质、海洋等自然灾害严重的地区，防灾减灾是一项长期的任务. 高分辨率航空遥感是灾害监测的重要技术手段，因此探索灾害损毁房屋的遥感自动识别方法具有重要的科学和应用价值.

参考文献

1 Sakamoto M, Takasago Y, Uto K, et al. Automatic detection of damaged area of Iran earthquake by high-resolution satellite imagery. Proceedings of IGARSS'04. Alaska, 2004. 1418—1421

2 Kaya S, Curran P J, Llewellyn G. Post-earthquake building collapse: A comparison of government statistics and estimates derived from SPOT HRVIR data. Int J Remote Sens, 2005, 26: 2731—2740[DOI]

3 Turker M, San B T. SPOT HRV data analysis for detecting earthquake-induced changes in Izmit, Turkey. Int J Remote Sens, 2003, 24: 2439—2450[DOI]

4 Turker M, San B T. Detection of collapsed buildings caused by the 1999 Izmit, Turkey earthquake through digital analysis of post-event aerial photographs. Int J Remote Sens, 2004, 25: 4701—4714[DOI]

5 Turker M, Emre S. Building-based damage detection due to earthquake using the watershed segmentation of the post-event aerial images. Int J Remote Sens, 2008, 29: 3073—3089[DOI]

6 Ettarid M, Rouchdi M, Labouab L. Automatic extraction of buildings from high resolution satellite images. Proceedings of ISPRS'08. Beijing, 2008. 415—420

7 Turker M, Cetinkaya B. Automatic detection of earthquake-damaged buildings using DEMs created from pre- and post-earthquake stereo aerial photographs. Int J Remote Sens, 2005, 26: 823—832[DOI]

8 Trianni G, Gamba P, Acqua F D, et al. Damage detection using ALOS-PALSAR images and ancillary information for the 2007 Peru earthquake. Geophys Res Abs, 2008, 10: EGU2008-A-01201

9 Gamba P, Acqua F D, Trianni G. Rapid damage detection in Bam area using multitemporal SAR and exploiting ancillary data. IEEE Trans Geosci Rem Sens, 2007, 45: 1582—1589[DOI]

10 Matsuoka M, Yamazaki F. Building damage mapping of the 2003 Bam, Iran, earthquake using Envisat/ASAR intensity imagery. Earthq Spec, 2005, 21: 8285—8294

11 Matsuoka M, Yamazaki F. Use of satellite SAR intensity imagery for detecting building areas damaged due to earthquakes. Earthq Spec, 2004, 21: 975—994[DOI]

12 Yonezawa C, Takeuchi S. Decorrelation of SAR data by urban damages caused by the 1995 Hyogoken-Nambu earthquake. Int J Remote Sens, 2001, 22: 1585—1600[DOI]

13 Stramondo S, Bignami C, Chini M, et al. Satellite radar and optical remote sensing for earthquake damage detection: Results from different case studies. Int J Remote Sens, 2006, 27: 4433—4447[DOI]
14 Pesaresi M, Benediktsson J A. A new approach for the morphological segmentation of high-resolution satellite imagery. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2001, 39: 309—320[DOI]
15 Benediktsson J A, Pesaresi M, Arnason K. Classification and feature extraction for remote sensing images from urban areas based on morphological transformations. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2003, 41: 1940—1949[DOI]
16 Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. New York: Academic Press, 1982
17 Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. Vol 2. New York: Academic Press, 1988
18 Haralick R M, Shanmugan K, Dinstein I. Textural features for image classification. IEEE Trans Syst Man Cybern, 1973, 3: 610—621[DOI]
19 Soille P, Pesaresi M. Advances in mathematical morphology applied to geoscience and remote sensing. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 2002, 40: 2042—2055[DOI]

·动 态·

第 5 届青藏高原国际学术研讨会/第 24 届喜马拉雅-喀喇昆仑-西藏国际学术研讨会联合大会在北京召开

由中国科学院、国土资源部、西藏自治区人民政府主办，中国科学院青藏高原研究所、中国地质科学院地质研究所、中国青藏高原研究会、西藏自治区科技厅、中国科学院地理科学与资源研究所和国际山地综合发展中心等单位联合承办的第 5 届青藏高原国际学术研讨会/第 24 届喜马拉雅-喀喇昆仑-西藏国际学术研讨会(HKT)联合大会(以下简称联合大会)于 2009 年 8 月 11~14 日在北京召开. 会议开幕式由中国青藏高原研究会名誉理事长、中国科学院院士孙鸿烈主持. 中国科学院副院长丁仲礼院士、西藏自治区副主席李昭、国土资源部前党组成员孟宪来和作为科学家代表的 HKT 发起人 Mike Searle 教授应邀在开幕式上致辞. 牛津大学 Mike Searle 教授、德国森肯堡自然历史博物馆 Volker Mosbrugger 教授、日本东京大学 Toshio Koike 教授、国际山地中心 Andreas Schild 博士、美国宾西法尼亚州立大学 Eric Kirby 教授、中国地质科学院地质研究所许志琴院士、中国石油天然气集团贾承造院士、中国科学院青藏高原研究所姚檀栋院士应邀作了大会主题报告.

来自 22 个国家和地区(中国、美国、英国、德国、日本、奥地利、澳大利亚、比利时、加拿大、芬兰、中国香港特别行政区、意大利、波兰、俄罗斯、西班牙、瑞典、瑞士、塔吉克斯坦、印度、巴基斯坦、尼泊尔等)的 430 多位代表参加了会议，围绕“青藏高原隆升过程、环境演化及区域发展”的主题开展了深入的学术交流. 会议研讨的主要议题包括: 青藏高原深部过程与陆陆碰撞、地质演化与矿产资源形成、高原隆升过程与环境演化、高原气候环境变化过程及其机制、地表过程对全球变化的影响与响应、高原资源环境与经济社会发展等. 大会共收到论文 330 篇，通过大会特邀报告、分组专题报告和墙报形式在 16 个分会场进行广泛的学术交流.

为了便于国内外学者对青藏高原研究的交流，1980 年第一届青藏高原国际研讨会在北京召开，之后的 20 多年间分别在喀什、西宁和拉萨召开第 2~4 届研讨会，每次会议均得到国内外广大研究青藏高原科学工作者的热烈响应. 本次大会的一大特点是首次将第 5 届青藏高原国际学术研讨会与第 24 届喜马拉雅-喀喇昆仑-西藏国际学术研讨会联合召开，会议规模更大、参会人员更多、研讨议题更广.

此次大会吸引了国内外众多从事青藏高原研究的知名学者和青年科研人员参加，进一步提升了中国青藏高原研究的国际化水平，并将有利于推动中国青藏高原研究事业向前发展. 会议还商定下一届联合大会即“第 6 届青藏高原国际学术研讨会/第 28 届喜马拉雅-喀喇昆仑-西藏国际学术研讨会”将在德国举办. 会后，部分中外科学家前往西藏进行了为期一周的野外科学考察.

张莉
(《科学通报》编辑部)