

四川芦山 M_s 7.0 级地震空基联合观测与灾情增强识别

许志华¹, 刘纯波², 王平³, 王秋玲¹, 李发帅⁴, 吴立新^{1,5}

1. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院; 北京师范大学, 北京 100875
2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094
3. 中国人民财产保险股份有限公司, 北京 100022
4. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083
5. 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏徐州 221008

摘要 以四川芦山 M_s 7.0 级地震后中国科学院遥感与数字地球研究所的有人机航拍为基础, 辅以低空无人机平台进行联合观测, 建立了空基多平台联合灾情观测模式下的灾情增强识别系统。介绍了空基多平台航测系统的组成及联合灾情观测的技术流程, 使用有人机遥感平台与固定翼无人机遥感平台对重灾区芦山县进行航空联合观测。对震后有人机与无人机遥感影像进行综合对比, 分析了地震中房屋典型受损的细节、滑坡体空间变化及重要电力线的破坏情况。结果表明, 采用空基多平台的灾情监测模式, 可显著增强对灾情的识别能力。

关键词 四川芦山 M_s 7.0 级地震; 航空遥感; 联合观测

中图分类号 P315.9

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.12.006

Airborne Union Observation and Disaster Enhanced Identification of M_s 7.0 Lushan Earthquake

XU Zhihua¹, LIU Chunbo², WANG Ping³, WANG Qiuling¹, LI Fashuai⁴, WU Lixin^{1,5}

1. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China
2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China
3. Peoples Insurance Company of China, Beijing 100022, China
4. School of Earth Science and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China
5. School of Environment Science and Suney, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China

Abstract Based on the Manned Aerial Vehicles (MAV) airborne remote sensing images of Sichuan Lushan M_s 7.0 earthquake acquired by the Institute of Remote Sensing and Digital Earth (RADI), Chinese Academy of Sciences (CAS), an enhanced disaster identification system was developed with Multiple Airborne Sensors Monitoring System (MASMS) supported with low-altitude unmanned aerial vehicles (UAV) sensors. The component of the MASMS and the technical process of the disaster monitoring were introduced. The MAV remote sensing and fixed-wing UAV were applied to joint monitor the disasters in Lushan County, which was badly suffered from Lushan M_s 7.0 earthquake. Taking the remote sensing images acquired by MAV and UAV into consideration synthetically, the details of typical building damage, the distribution of landslides and the destruction of power lines were analyzed comprehensively. The results showed that the MASMS can investigate the disaster situations of major electricity facilities, and meanwhile enhance the ability of disaster identification.

Keywords Sichuan Lushan M_s 7.0 earthquake; airborne remote sensing; union observation

收稿日期: 2013-04-26

基金资助: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2011CB707102); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(105565GK)

作者简介: 许志华, 博士研究生, 研究方向为灾害观测研究; 吴立新(通信作者), 教授, 研究方向为数字矿山与数字减灾、灾变遥感与灾害观测、空间信息理论与方法, 电子信箱: awulixin@263.net

0 引言

地震是突发性重大自然灾害之一,大地震往往造成重灾区大面积房屋倒塌及道路、通讯设施等重要生命线的破坏^[1]。快速、准确地获取灾情信息成为重大地震灾害紧急救援的首要任务。近年来,遥感技术已成为灾害监测的关键手段^[2]。随着卫星遥感分辨率的提高,使地物变化类型的精细解译成为可能。有人机遥感平台的有效载荷大、续航能力强、数据处理方法成熟,可在重大自然灾害发生后第一时间获取大范围的灾情数据,为紧急救援提供决策支持。低空无人机平台具备成本低、机动性强、起降场地条件及天气状况要求低等优势,可快速获取高分辨率遥感影像数据^[3-6],是灾场遥感数据获得的重要工具之一。但是,高分辨率卫星遥感,时效性差、重访周期长,一般不能为应急救援提供及时的灾情数据;有人机遥感对起降场地条件和天气状况要求高、机动性差,限制了其在灾情连续监测上的应用;无人机系统的相对飞行高度低,单次续航能力、有效载荷能力弱,单次飞行获取数据能力有限,不适合大范围的灾情监测。因此,需要采用空基多平台遥感系统进行联合观测,以满足灾害应急观测与灾情评估的需要。

1 空基多平台航测系统

联合有人机遥感平台与低空无人机系统的多平台协同监测系统,是一种以有人机遥感平台为基础,利用无人机遥感平台机动性进行多时相、多模式、多角度聚焦服务的应急观测系统。

1.1 有人机遥感平台

有人机遥感的主要平台是飞机(航空机、直升机),可同时搭载不同型号的传感器,如航空摄影机、航空多谱段扫描仪、航空测试雷达等,具有地面分辨率高、成像比例尺大等特点,适合大面积地形测绘、大范围获取灾情信息。重大自然灾害发生后,由国家减灾委员会审批空域范围,统一调度航空大飞机,可第一时间获取较大范围的灾情信息,进行数据处理可保障灾情快速评估。

1.2 固定翼无人机遥感平台

固定翼无人机主要采用玻璃钢和碳纤维复合材料加工而成,重量轻、强度大^[6]。机身有一定的容积范围,以搭载普通数码相机为主。该类系统多采用 GPS 自主导航和气压测高,可按设定的航线全自主飞行,飞行中可随时切换遥控飞行状态或自主飞行状态,通过自动触发相机快门,定时、定点拍照^[6-8]。其单次作业范围有限,但适合重灾区的连续灾情获取,可为紧急救援提供决策支持。

1.3 旋翼无人机遥感平台

相对于固定翼无人机遥感平台,旋翼无人机遥感平台的机动灵活性更高、操作更简单,增加了空中悬停和实时数据传输功能。可通过搭载摄像机对重灾区实施全方位空中聚焦监测服务,尤其适用于道路断绝处的信息获取、潜在滑坡的排查等侦察工作,有助于减少次生灾害对人类生命安全的威

胁^[9]。空基多平台航测系统,采用多模式、多时相的空基遥感监测平台联合观测或协同作业,可实现对重灾区的连续、聚焦服务,逐步更新、完善灾情评估结果。图 1 为空基多平台协同灾情监测系统,表 1 为不同传感器观测平台的应用特点。

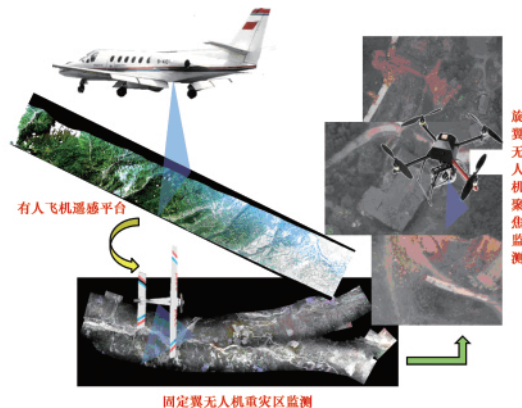


图 1 空基多平台协同灾情监测系统

Fig.1 Disaster monitoring system coordinated with multi-airborne sensors

表 1 不同传感器观测平台的应用特点

Table 1 Application characteristics of the different sensor observing platforms

对比项目	有人机遥感	固定翼无人机遥感	旋翼无人机遥感
覆盖范围/km ²	10~100	0.1~5	0.1~1
第一时间获取数据能力	易受空域和天气条件制约	机动灵活	可定点悬停,多角度拍摄
重复观测周期	1~3d	2~4h	1h
高空间分辨率观测精度	dm	cm	mm
全天候全天时观测能力	一般	较高	很高
多谱段观测能力	较高光谱成像仪	一般	一般
数据获取成本	高	低	低
系统建设成本	较高	很低	很低

2 空基多平台数据联合获取

2013年4月20日08:02,四川省雅安市芦山县(30.3°N, 103.0°E)发生 M_s 7.0级地震,震源深度13km。地震发生后,有关部门及时启用空基多平台进行联合观测与数据获取。

2.1 有人机遥感数据获取

在紧急协调飞行航线后,中国科学院遥感与数字地球研究所(以下简称遥感地球所,RADI)启动遥感飞机B-4101携带ADS40光学传感器,于2013年4月20日09:50从绵阳机场起飞,开始执行芦山地震灾情遥感监测任务^[10],第一时间获取了重灾区0.6m分辨率的灾情遥感数据。

2.2 固定翼无人机遥感数据获取

为准确掌握重灾区灾情及发展情况,遥感地球所与中国人民财产保险股份有限公司合作,于2013年4月22日下午,利用固定翼无人机对地震重灾区芦山县进行航拍监测(图2)。航拍范围为芦山县太平镇和中林乡2个重灾区,作业时3级微风、多云,飞行稳定,平均相对高度500m,共17条航带,传感器为佳能EOS5D2数码相机,航带分布如图3所示,共获取影像1130张。



图2 固定翼无人机监测系统

Fig. 2 Fixed-wing UAV monitoring system

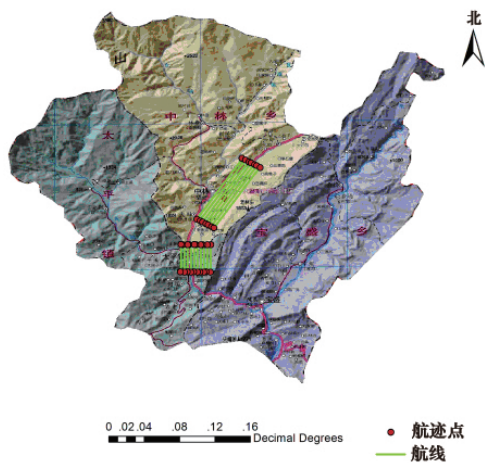


图3 固定翼无人机飞行航线

Fig. 3 Flight routes of the fixed-wing UAV

2.3 固定翼无人机遥感数据处理

利用全景制作软件PTGui对无人机影像进行拼接,生成全景影像,包括南、北2个分区。基于航拍影像的基高比计算得到影像分辨率为9cm。使用ArcGIS 10.0软件,以几何校正后的有人机遥感影像为基准,对拼接后的无人机影像进行几何校正、精确配准,两者关系如图4所示。

由图4可见,南部太平镇拼接后的无人机遥感影像几何校正误差较小,在0.2个像元内。北部带状无人机影像完成几何精校正后与有人机影像间存在配准偏差,误差约为2个像元。分析原因主要有:①该区域航带呈狭长带分布,影像拼接过程累积误差大;②几何校正过程选取的地面控制点分布不均,且主要沿峡谷呈条状分布,几何校正误差大。

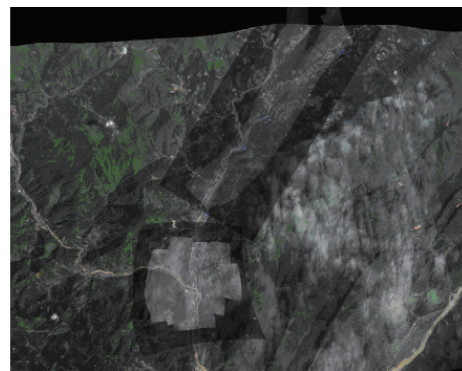


图4 芦山县地震灾区无人机遥感影像与有人机影像配准图

Fig. 4 Mosaic of MAV and UAV images of the earthquake-stricken area in Lushan County

3 灾情信息增强识别

3.1 房屋损毁精细识别

基于目视判读的方法,对配准后的空基多平台遥感影像进行综合分析。采用由粗到精的判读策略,重点分析太平镇重灾区的房屋倒塌情况,并与遥感地球所基于有人机遥感影像评估出的房屋倒塌情况进行对比。对比表明,受有人机航空影像分辨率(0.6m)的限制,只有受损严重(如坍塌、倒损)的房屋方可在影像中直接解译,而轻微受损(如倾斜、楼顶破损)的房屋,在有人机遥感影像上特征不明显,很难通过目视解译进行判读,容易发生错判、漏判情况。而辅以无人机遥感影像进行建筑倒塌判读,则结果更为准确、可靠。图5为基于无人机遥感影像和有人机遥感影像对局部区域的灾损房屋进行判读的典型对比。

如图5(a)所示,该观测区域在有人机遥感影像上,纹理细节模糊,被整体错分为房屋倒塌;而在无人机遥感影像上,该区域细节清晰,房屋以敞篷为主,未有明显房屋倒塌情况,院内停放车辆较多,地上摆放多个轮胎,可初步判断该区域为汽车修理厂。图5(b)、(c)、(d)所示区域为有人机遥感影像未能识别出来的受损房屋,这些房屋均为砖木结构,在有人机遥感影像上影像纹理差异小,这是造成灾损房屋漏判的主要原因;相反,无人机影像分辨率更高,地物细节(如屋顶瓦片、横梁等)更加明显,能清晰识别出屋顶结构及塌损程度。图5(e)所示房屋发生了整体变形,在有人机遥感影像上未能反映出房屋的变形状态,而无人机遥感影像上房屋的变形程度清晰可见。

3.2 滑坡变化识别

联合前后2次航空遥感影像(图6)分析发现,2013年4月20日,在太平镇-中林乡区域因地震引发的大型山体滑坡共有5处,均位于芦邛路(中林乡段),特征明显,且影响范围较大,造成芦邛路封堵。截止4月22日下午无人机飞行时,芦邛路段的4处滑坡体尚无人清理,甚至有扩大迹象,只有1处滑坡已有施工队在实施清理(左3);新发现1处重大滑坡

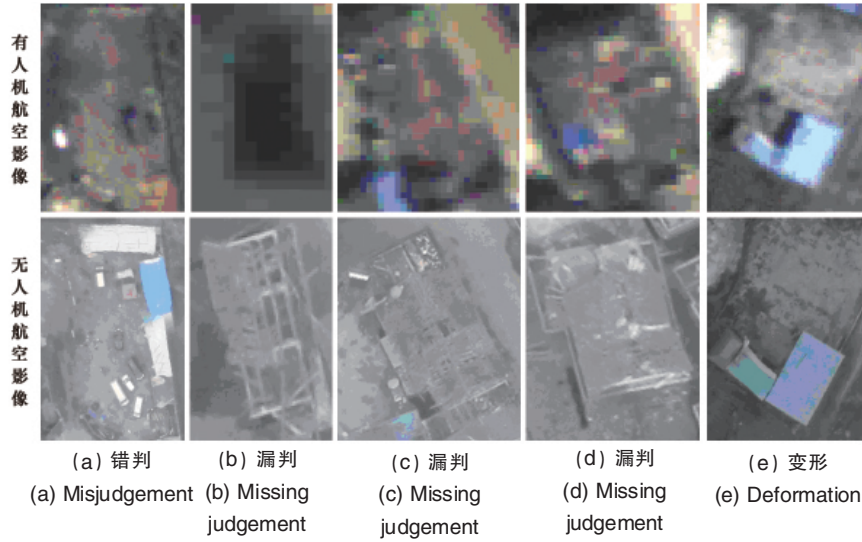


图5 空基多平台遥感影像房屋损毁识别对比

Fig. 5 Identification comparison of typical damaged buildings in images of multi-airborne sensors

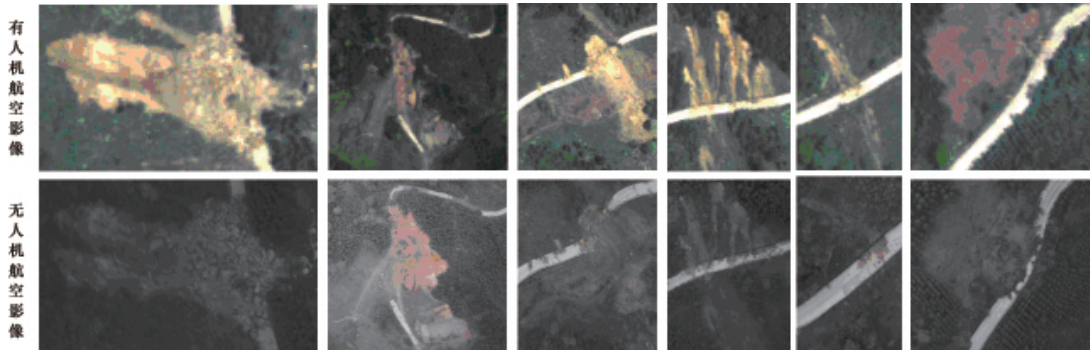


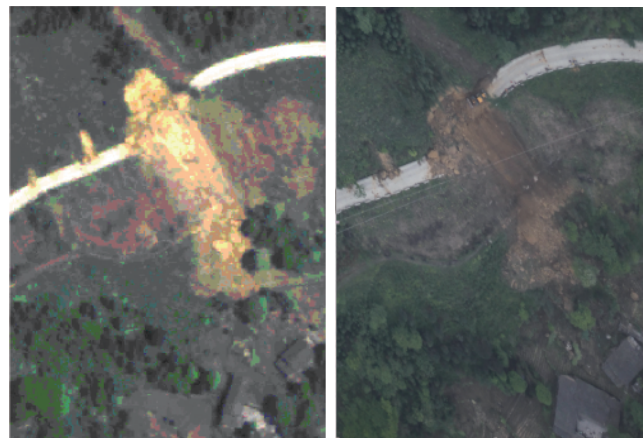
图6 空基多平台遥感影像多时相滑坡变化识别

Fig. 6 Change detection of landslides with multi-temporal images of multi-airborne sensors

(右1),位于芦邛路,造成部分道路被封堵。从滑坡迹象和纹理色彩方面对比分析,初步判断该滑坡为1个老滑坡的活化,而且有继续发育的趋势。

3.3 电力线识别

2013年4月20日,有人机航拍影像揭示芦邛路上发生有重大山体滑坡(图7(a))。4月22日,低空无人机遥感影像



(a) 2013年4月20日有人机遥感影像观测滑坡

(b) 2013年4月22日无人机遥感影像观测滑坡

(a) Remote sensing images of landslides observed by manned aerial vehicle on 20, April, 2013

(b) Remote sensing images of landslides observed by unmanned aerial vehicle on 22, April, 2013

图7 空基多平台遥感影像滑坡区域监测

Fig. 7 Remote sensing images of landslides area monitoring with multi-airborne sensors

(图7(b))发现,该滑坡体的宽度扩大,滑坡滚石已向前延伸到坡下民房位置;挖掘机已在现场处理该滑坡。而且,该影像清楚显示架空电线的走向成规整的直线状,表明没有损毁。可见,低空无人机遥感可在地震灾害的电力、通信线路损毁调查中发挥独特作用。

4 结论

灾害应急观测是灾情快速评估的重要环节。及时、可靠的灾害观测,有利于从整体和局部全面把握灾区的灾情状况及其变化趋势。卫星虽然可从天上对灾区进行遥感观测,但受卫星轨道与影像分辨率制约,往往难以保证卫星观测的及时性、数据的有效性;航空飞机可在第一时间飞赴灾区进行航拍,但易受地形和天气影响,往往难以低空作业和频繁作业,航拍影像仍不足以准确反映房屋损毁状态、难以发现电力线路破坏情况;固定翼无人机可在运抵灾区后,机动地对灾区局部地区(如重灾区、灾害链发展区)进行航拍,准确把握灾区房屋的损毁状态、电力线路破坏情况、滑坡与堰塞湖等次生灾害的发展变化情况;旋翼无人机因体积小、起降方便、飞行稳定,可用于人员不可达地区(如滑坡体顶部、河流对岸、山体后侧等)的灾情观测,为抢险救灾队伍的施工作业提高信息保障与决策支持。因此,天-空-地协同观测,尤其是有人机(包括航空飞机、直升机)与无人机(包括固定翼、旋翼)的空中观测协作十分重要,这应是灾害应急观测技术的发展方向,灾害应急机构和抢险救灾队伍可考虑构建此类新的装备体系。

致谢 中国科学院遥感与数字地球研究所提供有人机遥感数据。

参考文献(References)

- [1] 陆博迪, 孟迪文, 陆鸣, 等. 无人机载重大自然灾害中的应用于探讨[J]. 灾害学, 26(4): 122-126.
Lu Bodi, Meng Diweng, Lu Ming, et al. Journal of Catastrophology, 26(4): 122-126.
- [2] Niethammer U, James M R, Rothmund S, et al. UAV-based remote sensing of the super-sauze landslide: Evaluation and results [J]. Engineering Geology, 2012, 128(1): 2-11.
- [3] 晏磊, 吕书强, 赵红颖, 等. 无人机航空遥感系统关键技术研究 [J]. 武

汉大学学报:工学版, 2004, 37(6): 67-701.

- Yan Lei, Lü Shuqiang, Zhao Hongying, et al. Engineering Journal of Wuhan University, 2004, 37(6): 67-701.
- [4] 崔红霞, 林宗坚, 孙杰. 无人机遥感监测系统研究 [J]. 测绘通报, 2005 (5): 11-14.
Cui Hongxia, Lin Zongjian, Sun Jie. Bulletin of Surveying and Mapping, 2005(5): 11-14.
- [5] 孙杰, 林宗坚, 崔红霞. 无人机低空遥感监测系统 [J]. 遥感信息, 2003, 27(1): 49-501.
Sun Jie, Ling Zongjian, Cui Hongxia. Remote Sensing Information, 2003, 27(1): 49-501.
- [6] 臧克, 孙永华, 李京, 等. 微型无人机遥感系统在汶川地震中的应用[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(3): 162-166.
Zang Ke, Sun Yonghua, Li Jing, et al. Journal of Natural Disasters, 2010, 19(3): 162-166.
- [7] 沈永林, 刘军, 吴立新, 等. 基于无人机影像和飞控数据的灾场重建方法研究[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(6): 13-17.
Shen Yonglin, Liu Jun, Wu Lixin, et al. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27(6): 13-17.
- [8] 雷添杰, 李长春, 何孝莹. 无人机航空遥感系统在灾害应急救援中的应用[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1): 178-183.
Lei Tianjie, Li Changchun, He Xiaoying. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(1): 178-183.
- [9] 黄山伐, 李晓东. 无人机、卫星充当“鹰眼”盘点解放军在雅安地震后出动的先进特种装备 [N]. 环球时报, [2013-04-22]. <http://news.hbtv.com.cn/2013/0422/303403.shtml>.
Huang Shanfa, Li Xiaodong. Global Times, [2013-04-22]. <http://news.hbtv.com.cn/2013/0422/303403.html>.
- [10] 中国科学院遥感与数字地球研究所. 遥感地球所启动应急响应预案, 遥感飞机开始执行雅安地震灾情遥感监测任务[EB/OL]. [2013-04-20]. http://www.radi.ac.cn/yaan/pgbg/201304/t20130420_3823920.html.
The Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences. [2013-04-20]. http://www.radi.ac.cn/yaan/pgbg/201304/t20130423_3825631.html.
- [11] 中国科学院遥感与数字地球研究所. 雅安地震灾害对芦山县影响的遥感监测与灾情评估 [EB/OL]. [2013-04-23]. http://www.radi.ac.cn/yaan/pgbg/201304/t20130423_3825631.html.
The Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences. [2013-04-23]. http://www.radi.ac.cn/yaan/pgbg/201304/t20130423_3825631.html.

(责任编辑 陈广仁)



《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿: www.kjdb.org。