

文章编号: 1007-4619(2008)06-0877-08

# 汶川地震灾区无人机遥感影像获取 与可视化管理系统研究

周洁萍, 龚建华, 王 涛, 汪东川, 杨荔阳, 赵向军, 洪 宇, 赵忠明

(中国科学院 遥感应用研究所, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101)

**摘要:** 介绍无人机遥感影像获取、纠正、配准及可视化管理的关键技术与系统研发。论文设计无人机影像获取及三维可视化管理系统的框架结构, 包括航迹规划、无人机影像获取、影像预处理及三维可视化 4 个子系统; 讨论了基于高分辨率遥感影像的无人机影像配准、无人机影像的空间索引管理、基于四叉树的影像金字塔及细节层次模型等关键技术。基于自主研发的虚拟地理环境数字地球平台 (VGE-3DGlobeEarth), 构建了汶川地震应急三维可视化遥感影像管理系统, 在“5·12”汶川地震的救援与次生灾害应急中进行了实践应用。同时该系统可继续服务于汶川地震灾后重建的信息共享管理、发布以及空间决策支持。

**关键词:** 无人机; 遥感影像; 配准; 三维可视化; 汶川地震

中图分类号: TP79 文献标识码: A

## 1 引言

自 1917 年英国人研制成功了世界上第一架无人机后, 无人机经过了无人靶机、预编程序控制无人侦察机、指令遥控无人侦察机和复合控制多用途无人机的发展过程<sup>[1]</sup>。到 20 世纪 80 年代, 无人机得到日益广泛的应用, 将无人机技术应用于航空摄影领域逐渐成为研究的热点问题。无人机作为卫星遥感不可缺少的补充手段, 具有可在云下低空飞行能力, 弥补了卫星光学遥感和普通航空摄影经常受云层遮挡获取不到影像的缺陷; 具有灵活机动的特点, 无需机场起降, 可进行车载起飞、伞降和水面降落等多种方式; 由于无人驾驶, 回避了飞行员人身安全的风险, 适于救灾应急等。近年来, 国内的科研单位, 如中国科学院遥感应用研究所、北京大学遥感与地理信息系统研究所、中国测绘科学研究院等在无人机遥感技术和后期图像处理方面做了很多研究和探索性工作<sup>[2-5]</sup>。

2008-05-12 发生的汶川大地震, 遥感作为获取

地震灾区地面信息的重要手段, 为各部门救灾指挥提供了直观可靠的地面数据。无人机遥感技术作为卫星遥感和载人航空遥感的有效补充, 具有灵活机动的特点, 可根据具体任务要求随时起飞, 并且受天气影响较小, 在阴天或者小雨天气情况下可起飞, 能够进行离地面几百米超低空飞行, 在云下获取 0.5m 或者更高空间分辨率的图像<sup>[6]</sup>。为此, 2008-05-13 针对“5·12”四川汶川特大地震, 中国科学院遥感应用研究所(简称遥感所)成立了灾区一线的“无人机”遥感小分队<sup>[7-9]</sup>, 并于 2008-05-14 在成都电子科技大学成立由中国科学院遥感应用研究所、成都电子科技大学、北京安翔动力科技有限公司、中国科学院成都山地研究所、西南交通大学组成的“现场无人机遥感应急赈灾联合组”, 开展了基于无人机的地震灾区遥感影像获取与处理工作。

在汶川大地震中, 灾情信息的实时性与有效性很重要。可供抗震救灾指挥中心使用的无人机影像信息三维可视化系统, 使得无人机获取的实时高分辨率光学影像数据能与其他空间信息数据进行集成, 具有组织管理、三维可视化表达以及空间分

收稿日期: 2008-07-12 修订日期: 2008-08-01

基金项目: 国家 863 计划项目(编号: 2006AA12Z204), 中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: Kzcx2-yw-126-01)和国家 973 项目(2007CB714402)。

作者简介: 周洁萍(1979—), 女, 研究实习员, 在职博士研究生。2005 年于中国科学院遥感应用研究所获地图学与地理信息系统专业硕士学位, 现从事 GIS、虚拟地理环境、三维可视化等方面的研究。E-mail: jzhou@irs.ac.cn。

析功能,为抗震救灾提供直观可靠实时灾情信息,为抗震救灾指挥决策提供实时有效的支撑。无人机影像三维可视化系统,为决策者及时快速了解震后灾区的房屋、道路等损毁程度与空间分布、地震次生灾害如滑坡、崩塌以及因此形成的堰塞湖的分布状况与动态变化等,提供了快速有效的数据来源和分析手段<sup>[10]</sup>。

## 2 影像获取与三维可视化管理系统框架设计

无人机影像获取及可视化管理系统,包括航迹规划、无人机影像获取、影像预处理及可视化管理 4 个子系统(图 1)。其中航迹规划子系统包括三维环境下的航迹规划模块和无人机航迹控制模块 2 个部分;无人机影像获取子系统包括无人机监测控制模块和遥感影像采集传输模块 2 个部分;影像预处理器系统包括相机畸变纠正模块和投影变形纠正与配准模块 2 个部分;可视化管理子系统包括无人机影像空间索引模块和无人机影像三维可视化模块 2 个部分。

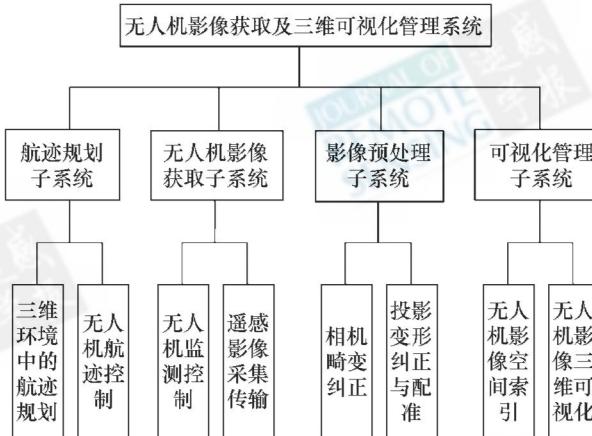


图 1 无人机影像获取及三维可视化管理系统

Fig. 1 The structure of UAV remote sensing image acquiring and visualization management system

航迹规划子系统实现根据遥感任务的要求,对拍摄地区进行航迹规划的任务,规划无人机飞行的路线,并载入无人机航线控制模块,使无人机可以根据预定航迹进行遥感影像数据采集工作。无人机影像获取子系统中的无人机监测控制模块是通过无线通讯对无人机方位、姿态等各项参数进行监测,并对无人机飞行航线和姿态进行控制;遥感影像采集传输模块,控制遥感传感器进行航空摄影,将采集的遥感影像通过无线传输通道将飞行数

据传输到地面接收平台。影像预处理器系统,对无人机影像由于镜头焦距的改变、像主点的偏移和镜头光学畸变等数码相机镜头产生非线性畸变纠正<sup>[11]</sup>,针对成像时由于飞行器姿态变化引起的图像旋转和投影变形纠正,进行影像配准使其获得空间地理信息。可视化管理子系统中的无人机影像空间索引可为海量的无人机影像在三维可视化环境中建立空间快速检索及管理,无人机影像三维可视化模块可以将无人机影像直接与地形叠加进行直观的三维可视化显示。

## 3 关键技术研究

### 3.1 基于高分辨率遥感影像的无人机影像配准技术

传统无人机影像处理技术普遍采用地面控制点 GCP (ground control point), 对整个拍摄区域的遥感影像进行纠正。但在山区地震灾害条件下,由于道路封闭不能到达无人机航拍线路地点,无法进行地面控制点设置,因此,需要采用其他技术,对在缺少地面控制点的情况下基于同地区同期高分辨率遥感影像进行影像配准。

将无人机影像与该地区高分辨率遥感影像或地形图进行配准,使其具有地理制图标准的地理信息。以高分辨率遥感影像作为配准基础,选取无人机影像与遥感底图匹配的同名控制点,采用控制点数据对原始无人机影像的几何变形过程进行数学模拟,建立原始的无人机图像空间与地理制图用标准空间之间的对应关系,利用这种对应关系把变形空间中的元素变换到纠正图像空间中,从而实现几何纠正并使其具有地理信息。影像几何纠正和配准包括 2 个方面的内容: (1)影像空间像元位置的变换; (2)变换后的标准影像空间的像元亮度值的计算。因此,几何纠正及影像配准的过程也就分为 2 个步骤: (1)进行像素坐标空间变换,即在几何位置上进行校正,并将图像坐标转变为地图或地面坐标; (2)取得变换后影像各像元的亮度值,采用重采样法以实现 2 个空间的灰度转换。

影像纠正配准的原理是利用图像坐标和地面坐标(另一图像坐标、地图坐标等)之间的数学关系,即输入图像和输出图像间的坐标转换关系实现。纠正后的新图像的每一个像元,根据变换函数,可以得到它在原始图像上的位置。如果求得的位置为整数,则该位置处

的像元灰度就是新图像的灰度值; 如果不是整数, 则通过对周围的像元值进行内插来求出新的像元值。在本研究中, 实验用高分辨率遥感底图为 2008-05-22 北川地区福卫影像 2m 全色波段与 8m 多光谱波段融合影像, 欲纠正配准的影像为同一天的北川地区唐家山附近

近润江流域 0.2m 分辨率航片。选取 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_48N 作为影像投影, 对超低空遥感影像采用选取同名点配准的方法进行了几何纠正, 选取 6 个以上同名点, 采用二次多项式法方法纠正, 经几何纠正和配准后的超低空遥感影像见图 2。



图 2 配准后的无人机影像

Fig. 2 UAV remote sensing image after image rectification

### 3.2 无人机影像的空间索引管理技术

基于大范围无人机影像的海量特征, 为了便于无人机影像的管理和快速浏览, 基于数据库对无人机影像进行空间索引管理和可视化。由于无人机一次飞行即获取几百张影像, 影像数据量大, 重叠度高, 对这些影像进行管理和使用, 需要基于数据库技术, 并采用空间索引的方法, 对无人机影像进行有效管理和直观索引。根据影像的元数据和定位数据建立无人机影像数据库, 从影像数据的应用角度, 建立影像数据库, 首先一个最为重要的功能是实现高效的数据检索、查询, 以及空间分析功能。

空间索引也称为空间访问方法 ( spatial access method, SAM ), 是指依据空间对象的位置和形状或空间对象之间的某种空间关系按一定的顺序排列的一种数据结构, 其中包含空间对象的概要信息如对象的标识外接矩形及指向空间对象实体的指针。本研究以 XML 文件形式对无人机影像和其他影像的定位数据、索引数据、元数据和图像数据进行组织, 将具有经纬度坐标的图例标识作为空间索引指针, 部分 XML 文档如下例。

< PlaceMark>

```

< name> 5< /name>
< description> <! [CDATA [
ID: 5< BR>
data 20080522< BR>
time 11: 10: 56< BR>
lon 104.444366< BR>
lat 31.8030962< BR>
height 1544.582< BR>
...
< MG SRC = “.. /Image/Beichuan /
MG_5328.jpg”>< BR>
]]>< /description>
< Point> < coordinates> 104.444366
31.8030962, 0< /coordinates>< /Point>
< PlaceMark>

```

其中 name 是对索引数据的描述, CDATA 部分是对元数据的描述, 而 Point 部分是对定位数据的描述, 图像数据的描述由 MG 实现。在以上对于影像建立的索引 XML 文件基础上, 建立影像数据库, 以分层方式, 按照不同的影像级别对无人机影像及其他遥感影像数据进行组织, Data 存放影像原始数据, 而 Index 存放影像索引数据, 数据库结构见图 3。

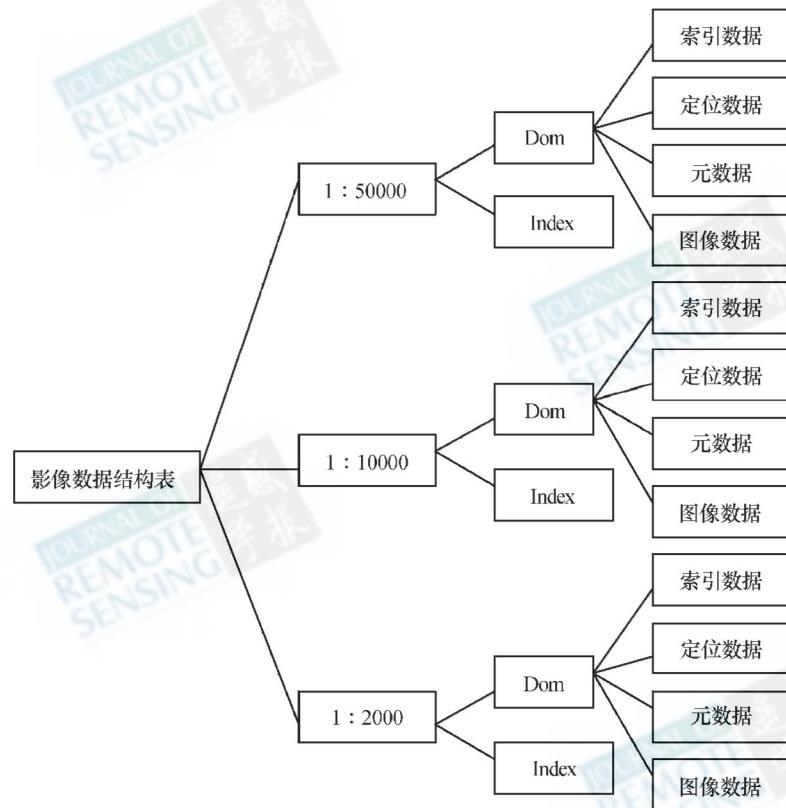


图 3 影像管理数据结构图

Fig. 3 Data structure of remote sensing management system

采用空间索引技术对无人机影像及其他遥感影像建立索引表, 将影像按照一定的级别进行统一组织, 并按照索引实现影像的快速查找及可视化。

在本研究中, 索引标识采用具有影像中心点经纬度坐标的白色标块表示, 并标注相应影像的索引数据, 见图 4。



图 4 无人机影像空间索引管理

Fig. 4 Spatial index management of UAV remote sensing

### 3.3 基于四叉树的影像金字塔及细节层次模型技术

由于需要对无人机影像及其所在地区卫星影像、地形等数据进行综合三维可视化,对于这样的多源海量数据,要满足一定的可视化以及调度效率的要求,需要对各类影像数据进行多分辨率的处理。目前的影像多分辨率模型中,金字塔技术已经比较成熟,其核心思想是分层和分块,将原始数据按不同分辨率重采样产生层,而同一层数据按指定的分割方式将影像均匀剖分形成格网。

金字塔构建过程,首先把初始影像作为金字塔模型的底层即第 0 层,并对其进行分块,形成第 0 层影像。在第 0 层的基础上,按每  $2 \times 2$  个像素合成为 1 个像素的方法生成第 1 层,并对其进行分块,形成第 1 层影像。再在第 1 层的基础上采用同样的方法生成第 2 层影像。如此下去,构成整个四叉树金字塔模型。每块影像的大小一般采用  $2^n \times 2^n$ ,  $n$  为正整数。当四叉树金字塔模型中影像层的大小小于或等于  $2^0 \times 2^0$  时停止构建金字塔的过程。本研究针对无

人机等多源影像的金字塔构建方法采取以下 2 个方法进行金字塔模型构建: (1)多分辨率的数据源自动构建金字塔,由于无人机影像与其他遥感影像数据本身为多分辨率的,因此可以直接建立不同的图像工程将数据入库,通过图像工程自动构建金字塔; (2)影像数据抽取构建金字塔,对于图像库中基础层影像数据,为了提高调度效率,其上层可以根据相应的比例尺从下层抽取数据来构建金字塔。

在建立了四叉树金字塔模型后,可以采用层次细节模型 LOD 技术在保持视觉效果最佳的条件下,对影像金字塔模型的不同层的不同块进行调用和显示。其基本原理是,利用透视投影的特性——距离当前观察视点越远的物体,其在成像平面上的投影面积越小,那么对远处的物体在绘制阶段可用较少的等效绘制元素来表现它。通过 LOD 技术,可有效检索出需要分辨率的影像,并能把不在视野内的影像去掉,降低浏览交互的响应时间。在本研究中,对 ETM+ 自融合影像、福卫自融合影像以及无人机影像进行了基于四叉树的金字塔数据组织及细节层次模型可视化,可视化效果见图 5。

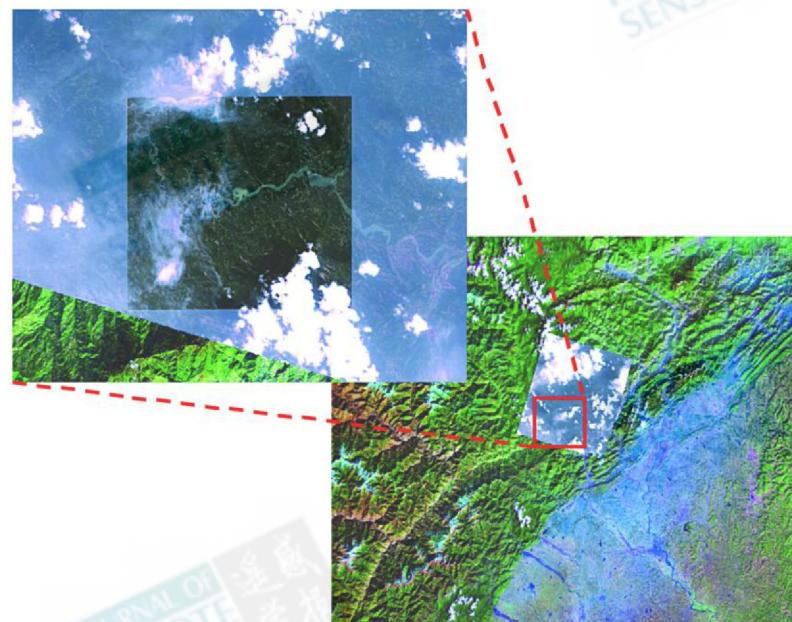


图 5 基于四叉树的影像金字塔及细节层次模型的可视化效果图

Fig. 5 Visualization of remote sensing images based on quadtree pyramid and LOD model

## 4 汶川地震灾区应用实践

本研究在“5·12”汶川地震灾区进行了应用实践。无人机平台采用北京安翔动力科技有限公司的小型低空遥感无人机——飞象 1 号,图 6 为该无人机在航拍中的照片。无人机飞象 1 号主要技术

参数为:飞行高度可达到 4000m,一般拍摄高度在 400m—2000m 左右,巡航速度为 90km/h,续航 3h,有效载荷为 3kg,1 架次空中飞行拍摄作业时间为 2h,拍摄的影像地面分辨率可高达 0.2m 左右。试验区选择汶川地震灾区唐家山堰塞湖区域,超低空遥感影像于 2008-05-22 获取,由于抗震指挥部要求,当日采用直升机作为获取平台,拍摄参数、数据

质量以及处理方法与无人机平台相一致。



图 6 无人机飞象 1号航拍中

Fig. 6 UAV ( Flying Imager-1 ) in sky

基于自主研发的虚拟地理环境数字地球平台 (VGE-3DG lobeEarth), 构建了汶川地震应急三维可视化遥感影像管理系统, 对 2008-05-22 北川地区润江流域超低空遥感影像、同日的福卫卫星全色多光谱融合光学影像、ETM+ 全色多光谱融合光学影像以及 90m 地形等进行综合管理, 通过基于四叉树的金字塔数据组织形式实现细节层次模型的可视化, 并具有水平漫游、视点垂直升降、俯仰角调整和旋转等多种可视化交互方式。通过实验显示, 汶川地震灾区的无人机影像获取与三维可视化效果良好 (图 7)。

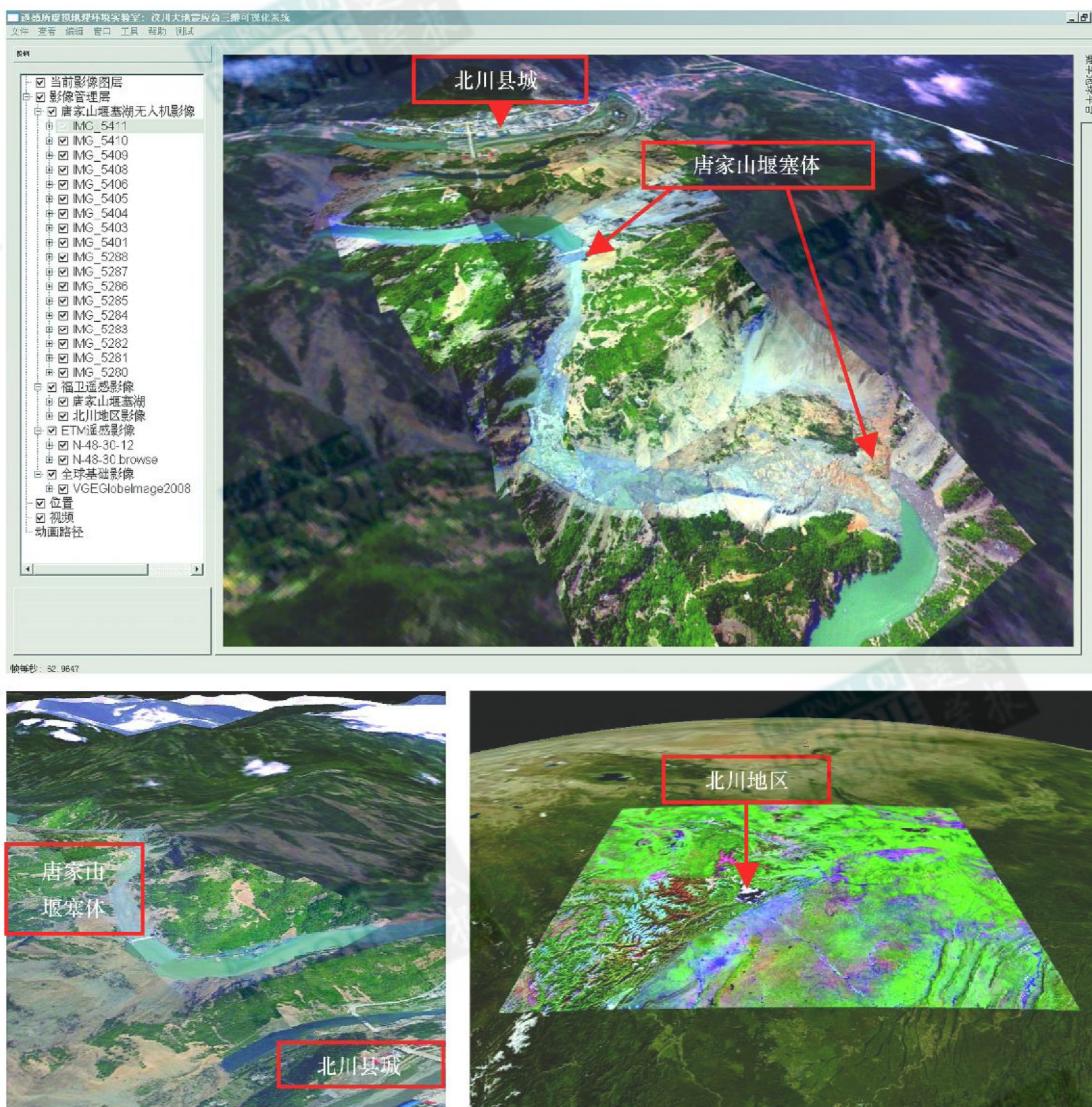


图 7 基于虚拟地理环境数字地球平台的影像三维可视化管理系统

Fig. 7 3-D visualization management system of remote sensing images based on VGE-3DG lobeEarth platform

## 5 结 论

无人机遥感系统具有快速灵活机动的特点,能够低速、低空飞行,有利于遥感作业;并且机动灵活,能快速响应拍摄任务;可以承担高风险或高科技的飞行任务。在这次“5·12”汶川地震灾害中,无人机遥感在四川多云多雨的山区第一时间获取了大量高清晰影像数据,在震后的次生灾害监测如滑坡、泥石流和堰塞湖等发挥了极其重要的作用。但由于无人机续航能力有限,后期灾区指挥部要求对灾区所有的堰塞湖进行系列勘察,改用了直升机作为遥感器搭载平台沿灾区各河谷进行了不间断飞行航拍。由于直升机或无人机作为平台的超低空遥感影像的方法原理是一样的,因此本文采用同样的技术手段对试验区超低空遥感影像进行索引管理和三维可视化,随着以后无人机及相关航空摄影技术的改进与发展,无人机航空摄影必将成为现代国家对地观测体系中不可或缺的重要组成部分。而与之相配套的无人机影像空间管理、综合三维显示的可视化分析平台则将随之发展,成为政府和专家等对如汶川地震这样的紧急事件快速处理的决策支撑平台。

**致 谢** 本研究得到“5·12汶川地震现场无人机遥感应急赈灾联合组”工作的支持,在此表示感谢。

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Hong Y. The Research on UAV Remote Sensing Image Mosaics and Applied Technology [ D ]. China University of Mining & Technology (Beijing), 2008 [洪宇. 无人机航拍遥感图像的拼接及应用技术研究 [D]. 中国矿业大学(北京), 2008 ]
- [ 2 ] Lu S Q, Yan L, Zhang B, et al. The Integration and Flight Experiment of UAV Remote Sensing System [ J ]. *Science of Surveying and Mapping*, 2007, 32( 1 ): 84—86 [吕书强, 晏磊, 张兵等. 无人机遥感系统的集成与飞行试验研究 [J]. 测绘科学, 2007, 32( 1 ): 84—86 ]
- [ 3 ] Yan L, Lu S Q, Zhao H Y, et al. Research on Key Techniques of Aerial Remote Sensing system for Unmanned Aerial Vehicles [ J ]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2004, 37( 6 ): 67—70 [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—70 ]
- [ 4 ] Cui H X, Lin Z J, Sun J. Research on UAV Remote Sensing System [ J ]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2005, ( 5 ): 11—14 [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 ]
- [ 5 ] Sun J, Lin Z J, Cui H X. UAV Remote Sensing System [ J ]. *Remote Sensing Information*, 2003, ( 1 ): 49—50, 27. [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, ( 1 ): 49—50, 27. ]
- [ 6 ] Ma R S, Sun H, Lin Z G, et al. Geometric Correction and Registration of Optical Remote Sensing Image from Miniature Unmanned Aerial Vehicle [ J ]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2005, ( 10 ): 634—639 [马瑞升, 孙涵, 林宗桂等. 微型无人机遥感影像的纠偏与定位 [J]. 南京气象学院学报, 2005, ( 10 ): 634—639]
- [ 7 ] Chinese Academy of Sciences Dive Technology into Earthquake-stricken Area [ N ]. Science Times, 2008-05-18. [http://www.sciencecn.com/dz/dznews\\_photo.asp? id=3381](http://www.sciencecn.com/dz/dznews_photo.asp? id=3381) [中国科学院调动力量投入科技救灾 [N]. 科学时报, 2008-05-18. [http://www.sciencecn.com/dz/dznews\\_photo.asp? id=3381](http://www.sciencecn.com/dz/dznews_photo.asp? id=3381) ]
- [ 8 ] Institute of Remote Sensing Applications. First Batch of Remote Sensing Image Has Been Acquired by the UVA of CAS [ R ]. 2008-05-15. <http://www.irsat.ac.cn/cn/info/browse.jsp? id=1111& column=442> [中国科学院遥感应用研究所, 中国科学院三架无人机已获取第一批灾区遥感监测数据 [K]. 2008-05-15. <http://www.irsat.ac.cn/cn/info/browse.jsp? id=1111& column=442> ]
- [ 9 ] Virtual Geographic Environment Wenchuan Earthquake [ K ]. 2008-05-15. <http://www.vgelah.org/512.htm> [虚拟地理环境:汶川地震 [K]. 2008-05-15. <http://www.vgelah.org/512.htm> ]
- [ 10 ] Gong J H, Li W H, Zhou J P, et al. Design and Application of Virtual Geographic Studio [ A ]. The Exploration about the Frame of Modern Science and Technology: Xiangshan Science Conferences of No 324, Beijing (Xiangshan) [ C ]. 2008 [龚建华, 李文航, 周洁萍等. 虚拟地理研讨厅设计与应用 [A]. 香山科学会议第324次学术讨论会“现代科学技术体系总体框架的探索”[C]. 北京, 香山, 2008 ]
- [ 11 ] Cui H X, Sun J, Lin Z J. The Auto-Control System of Remote Sensing Devices for Unmanned Air Vehicle [ J ]. *Science of Surveying and Mapping*, 2004, 29( 1 ): 45—47. [崔红霞, 孙杰, 林宗坚. 无人机遥感设备的自动化控制系统 [J]. 测绘科学, 2004, 29( 1 ): 45—47. ]

# Study on UAV Remote Sensing Image Acquiring and Visualization Management System for the Area Affected by 5·12 Wenchuan Earthquake

ZHOU Jie-ping GONG Jian-hua WANG Tao WANG Dong-chuan YANG Li-yan

ZHAO Xiang-jun HONG Yu ZHAO Zhong-ming

(State Key Lab of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract** The aerial remote sensing(RS) by unmanned aerial vehicles(UAV), which is flexible and quick, showed great benefits in data collection for the area impacted by 5·12Wenchuan earthquake. A framework of 3D visualization management system for UAV remote sensing image has been developed. There are four parts in this 3D visualization system: flight tracking design system, remote sensing image acquiring system, image processing system, and 3D visualization management system. The flight tracking system provides the tools to design flight path for UAV in a 3-D visualization environments. The flight path design can be loaded into the UAV flight path control system to control the UAV direction, speed, and so on. The remote sensing image acquiring system is to acquire remote sensing images by controlling the attitudes and camera actions of the aerial vehicles. The image processing system includes the functions of image distortion correction and registration. The 3D management system handles the management and 3D visualization of UAV images. The key technologies regarding the system are discussed. The high-resolution remote sensing images are used as base images, and the geometric correction and Gray-Scale transform methods are employed to change original UAV remote sensing images to new ones in geographic coordinate system. UAV remote sensing images are managed by spatial index in 3D visualization environment which has multi-scale remote sensing images from different satellites. The paper establishes the quadtree pyramid and LOD model for managing large volume remote sensing data, which can provide more fluent visualization when users navigate in the 3D virtual environment. A 3D visualization management system for UAV remote sensing images has been implemented based on the VGE-3DGlobeEarth platform. From the experimental results, the system works well when it manages and visualizes the UAV remote sensing images in the areas impacted by 5·12Wenchuan earthquake. With regard to the roles of UAV remote sensing in the 5·12Wenchuan earthquake rescue, it is argued that UAV remote sensing images acquiring and visualization management system can be a very important supporting tool for quick response of emergent events such as floods, earthquakes, forest fires, and environmental pollution earthquakes.

**Key words** UAV (unmanned aviation vehicle); remote sensing image; image rectification; 3D visualization; 5·12 Wenchuan Earthquake