

支持无人机遥感影像的场景多树组织与跨源调度技术^①

李 毅^② 龚建华 洪 宇* 宋宜全

(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)

(* 深圳市海域使用动态监管中心 深圳 518049)

摘 要 针对无人机(UAV)影像等多源影像构建全球虚拟场景的数据组织和调度问题,研究了无人机影像的预处理方法,讨论了适于可视化需要的球体简化投影方法以及全球虚拟场景的结构,并在此基础上提出了支持无人机影像的全球场景多线性四叉树的组织方式,介绍了无人机影像等多源影像跨源影像衔接与调度的关键技术。用 5.12 汶川大地震中获取的无人机影像数据进行的实验证明,采用文中提出的数据处理与组织管理方法,能够减少数据存储的冗余性,提高系统运行的效率,方便数据的管理与更新,高效地提供灾情信息可视化服务。

关键词 多线性四叉树,影像金字塔,数字地球,无人机遥感,无人机影像

0 引 言

数字地球利用海量地球信息对地球进行多分辨率、多尺度、多时空和多种类的三维描述,并利用它作为工具来支持和改善人类活动和生活质量^[1]。无人机(unmanned aerial vehicle, UAV)遥感系统能够以很短的周期对小范围灾区进行高精度数据的实时获取与更新,尤其可以用于突发事件以及恶劣环境条件下的影像采集,是数字地球的一种重要的影像数据来源。

目前在无人机影像处理和利用领域虽然已经有不少的研究成果^[2,3],但是针对全球虚拟场景可视化的数据处理尚缺乏相应研究。国内外研究中对全球场景的投影与剖分问题,目前主要采用全球离散格网(discrete global grid, DGG)^[4-8],需要以三角形单元为基础来划分全球区域的数据,使无人机数据的处理工作量较大,影响了数据更新显示的时效性,并且空间索引较为复杂,难以满足空间查询和可视化的需要^[4]。

至于虚拟场景的四叉树细节层次(level of detail, LOD)技术,目前多采用离散的、连续的、多分辨率的技术^[9-11],针对分辨率和人眼视觉对影像分块和调度进行改进,均使用单四叉树对瓦片数据进行

组织和浏览,不利于无人机数据的单独管理和实时更新。另外无人机影像与卫星影像数据分辨率的比值不一定是 2 的整数倍,按照 $n+1$ 级转换则牺牲可视化的精度,按照 n 级转换会造成各数据块的冗余,且无人机数据与较易于获取的中分辨率影像数据在范围和分辨率上都相差巨大,用单四叉树组织会产生较多的无效数据文件块,降低数据存储和传输的效率,不利于对无人机数据的可视化浏览。

本文研究了无人机遥感数据的全球范围的高效管理与可视化方法,介绍了全球简化投影方法以及虚拟场景结构,并提出了针对无人机数据可视化的预处理以及多源影像的多树组织方法。最后采用汶川地震中获取的无人机影像数据进行实验,对方法和结论进行了验证。

1 无人机影像的预处理

无人机采用非量测相机获取影像,获取的影像未经过几何纠正,影像个数很多,按照航带排序,并按照定位和索引文件决定其实际的地理位置和范围。因此,为了有效地对这些数据进行组织和浏览,需要进行一系列的预处理步骤。

首先要针对无人机影像做几何纠正,并给影像加入地理坐标。几何纠正主要包括数码相机镜头非

① 973 计划(2007CB714402),863 计划(2006AA12Z204)和水利部黄河泥沙重点实验室开放课题(2007009)资助项目。

② 男,1981 年生,博士生;研究方向:虚拟地理环境,数字地球技术,三维建模与可视化;联系人,E-mail:li_yi81@126.com
(收稿日期:2008-10-15)

线性畸变的纠正和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的纠正。前者通过拍摄前的镜头畸变检校统一纠正。后者需要通过地面控制点建立纠正函数逐一纠正,并将图像由像空间坐标转换到大地坐标。然后利用尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)算法寻找影像对的同名像点,进行图像间的匹配和拼接。

对于拼接完毕的飞行区域全图,需要先按照经纬度格网生成其最大外接矩形框,对外接矩形框内不足的部分采用无效像素值来填充(如图 1 所示)。然后对整个矩形框分层分块,按照瓦片金字塔的方法进行数据组织。

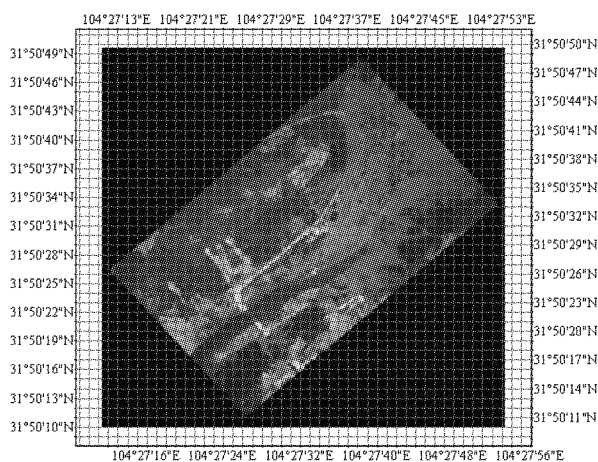


图 1 按照经纬度格网范围对拼接后影像进行无效值填充

金字塔是一种多分辨率层次模型^[12],它采用一种以空间换时间的方法,保存不同细节层次的影像数据,在场景绘制时不需要重采样而直接提供,能够在保证显示精度的前提下使数据加载量保持不变,从而提高显示速度。

在金字塔构建中,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,该层影像块数为 $2^n \times 2^n$ 。在第 0 层的基础上,按每 2×2 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。

整个无人机影像的获取与处理过程如图 2 所示。

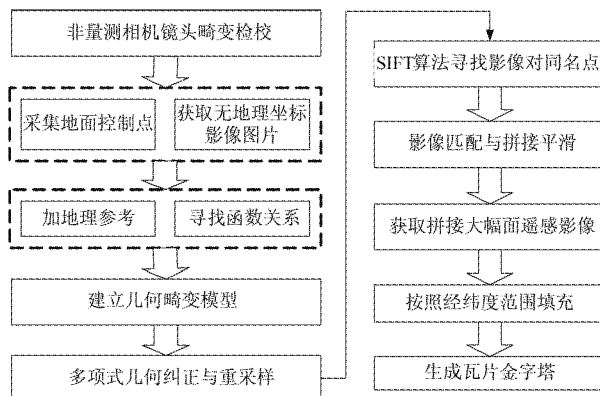


图 2 无人机影像获取与处理流程

2 支持无人机数据的全球场景组织技术

2.1 全球简化投影方法与虚拟场景结构

本文针对全球影像特别是无人机影像可视化的需要,采用 Plate Carree^[13]投影方法,如图 3 所示。Plate Carree 投影是一种简单的圆柱投影,是将地球体的经度坐标直接映射到 x 轴上,并将纬度坐标直接映射到 y 轴上。这种投影方式导致了平面正交化的投影结果。整个球面投影后形成长宽比为 2:1 的矩形。这种投影方式的误差特点是随着纬度的升高,投影误差会逐步增大。比起墨卡托投影,该投影方式在两极地区的面积误差更小,更加简单方便。

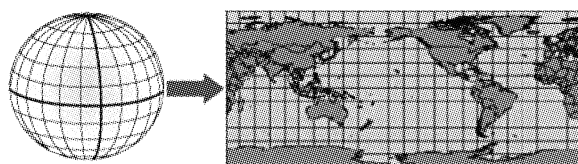


图 3 Plate Carree 投影

针对全球场景中无人机等影像源的可视化,本文采用 Plate Carree 投影方法,其优点如下:

(1) 与全球离散格网投影分块方法相比,Plate Carree 投影方法用经纬度格网将地球表面划分为大小均等的矩形,能够方便无人机影像等多源数据的预处理,提高无人机数据实时可视化的时效性。

(2) 虽然 Plate Carree 投影在两极地区仍有较大的误差,但由于用户在全球场景中的浏览操作大多位于中纬度地区,而高纬度和两极区域的浏览较少,因此该形变在可视化需求的角度上是可以接受的。

(3) 视点距地球球心的距离较远时,只需要显示一个逐渐放大的假的背景球体。而当视点离地表足够近时,视场范围中的地球由一个球体“变成”接

近于无限巨大的平面。由于无人机影像的范围较小,更可以忽略球体到平面的几何投影“变形”。

在 Plate Carree 椭球简化投影的基础之上,参照 Ottoson 椭球四叉树^[9]的索引方式对全球虚拟场景进行组织。首先将全球场景分为东半球和西半球,然后每个半球均采用四叉树金字塔的结构进行组织,组织方式如图 4 所示。

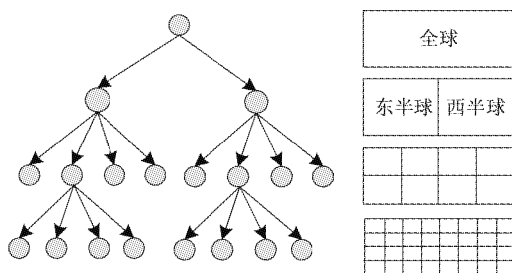


图 4 全球虚拟场景结构

2.2 支持无人机数据的多四叉树技术

本文针对无人机影像数据源的特点在全球虚拟场景结构的基础上提出了一种非完整型金字塔的多树组织结构,这种金字塔的四叉树组织结构在卫星遥感影像数据源和在无人机影像数据源中各自是连续的,但在这两种数据源之间的衔接是采用不连续的方式。如图 5 所示,根据经纬度包含关系,无人机数据源根节点的父节点为卫星遥感影像四叉树中范围刚好包含无人机数据源的节点。

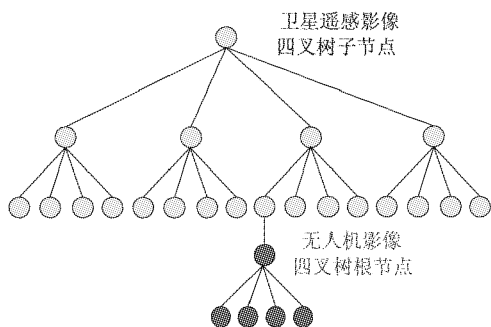


图 5 支持无人机数据的全球影像多树组织方法

针对该组织方式,本文设计了如下数据组织方法:

(1) 树(Tree):可以认为一个树就是由一块原始数据所生成的一个金字塔结构的数据集(dataset)。树的元数据信息被定义如下:

```
struct DataSetInfo
{
```

```
    string DatasetName;
    //数据集的名称

    double East, West, North, South;
    //数据集的边界(经纬度)

    double DataResolution;
    //源数据的分辨率(经纬度)

    int TilePixels;
    //瓦片所含像素数

    double TLBlockSize;
    //树根节点的瓦片大小(经纬度)

    int nLevels; //树的层数
}
```

针对某种数据源构建四叉树时,树根节点的瓦片大小和分辨率由数据集的边界计算得到。

(2) 层(layer):指金字塔的层次,所有数据集的分层。层数据的元数据信息 DomLayerInfo 被定义如下:

```
struct DomLayerInfo
{
    int XBlocksNum;
    //当前层 x 方向上的瓦片块数

    int YBlocksNum;
    //当前层 y 方向上的瓦片块数

    int BlockRow;
    //一块瓦片上的像素点行数

    int BlockColumn;
    //一块瓦片上的像素点列数

    double BlockSize;
    //瓦片块大小(以度为单位)

    double BlockCellSize;
    //像素点间距(以度为单位)
}
```

(3) 块(block):每个叶节点的数据块编号也称块号,所有数据集的编号统一从影像数据的左下角开始,从左至右,从下到上依次进行。在卫星遥感影像四叉树中,我们对直接包含无人机影像四叉树根节点的叶节点采用变量标识,在含有标识的叶节点处采用不同四叉树进行过渡处理。每层数据块的像素点的行数和列数均不变,这样的好处可以使每层数据块中的像素个数相同,便于计算机硬件实现。

本文将所有的数据块按照图 6 路径格式存放。这样,确定经纬度坐标和瓦片大小的影像数据和唯一的文件路径一一对应,并且无人机影像的管理和更新在单独数据集文件路径下完成。

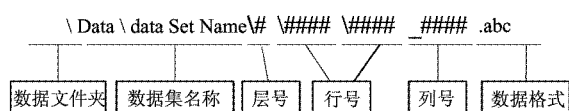


图 6 支持无人机数据的多源影像存放方式

2.3 无人机等多源影像跨源衔接与调度技术

由于无人机影像和卫星影像是两种不同的数据源,过渡时视觉突跳难以避免。因此根据上文的数据组织方法,视点在场景中移动时数据的调度规则如下:当由视点位置计算出的当前瓦片块具有包含无人机四叉树根节点的标识且视点继续降低时,则采用视点飞行平滑过渡的可视化方法调用无人机四叉树根节点的数据。

数据块的调度按照如下方法计算数据块的行列号 $xblock$, $yblock$ 和像素的行列号 $xpixel$, $ypixel$:

$$\begin{aligned} xblock &= (\text{int}) \frac{B - \text{DataSetInfo}.West}{BlockSize_i} \\ yblock &= (\text{int}) \frac{L - \text{DataSetInfo}.South}{BlockSize_i} \\ xpixel &= (\text{int}) \frac{B - \text{DataSetInfo}.West}{BlockCellSize_i} \\ &\quad - xblock \times BlockRow_i \\ ypixel &= (\text{int}) \frac{L - \text{DataSetInfo}.South}{BlockCellSize_i} \\ &\quad - yblock \times BlockColumn_i \end{aligned}$$

其中(B,L)为视点的经纬度坐标,其它变量已在 2.2 小节中注明。其中 $\text{DataSetInfo}.West$ 和 $\text{DataSetInfo}.South$ 在结构体 DataSetInfo 中定义, $BlockSize_i$, $BlockCellSize_i$, $BlockRow_i$, $BlockColumn_i$ 在结构体 DomLayerInfo 中定义,为第 i 层数据对应的参数。

3 原型系统实验

3.1 数据获取背景

本研究在 5.12 汶川地震灾区进行了实践应用。汶川大地震受灾面积大、受灾人数多,滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害进一步威胁着灾区数百万民众,因此,需要借助遥感的手段获取地震灾区地面信息,为各部门救灾指挥提供直观可靠的地面数据。而四川灾区是一个多云地区,在此地区卫星以及航空影像受低云大雾的影响,可用的高分辨率遥感信息比较少。而无人机可以在阴天或者小雨天气情况下起飞,在云下获取高空间分辨率的图像^[14]。为此,在 2008 年 5 月 13 日,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)成立了去灾

区第一线的“无人机”遥感小分队^[15-17],并于 5 月 14 日在成都电子科技大学成立了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。

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,其主要技术参数为:飞行高度可达 4000m,一般拍摄高度在 400m 到 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为 0.2m 左右。

3.2 实验效果

本文所论述的方法在自行研发的虚拟地理环境数字地球平台(VGE-3DGlobeEarth)中得到了很好的应用。整个系统采用 VC++、OpenGL 图形库和动态链接库开发,采用汶川地震后第 10 天(2008 年 5 月 22 日)获取的北川地区涪江流域的 0.2m 分辨率的无人机影像数据、全球范围的 90m(3 弧秒)分辨率的热红外波段 TM 影像(美国陆地卫星专题制图仪(thematic mapper, TM)所获取的扫描影像)数据以及数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据进行实验。其中无人机影像经过预处理、拼接和建立四叉树金字塔后的经纬度范围为(N 31.83° - N 31.85°, E 104.46° - E 104.47°)。

本文的多树组织方案与单四叉树组织方法对无人机数据管理的效率对比见表 1。其中细节层次的级数是按照全球场景漫游中统一标准计算得到的,可以看出,按照多四叉树组织方法能够方便无人机数据的更新,并且减少分层分块所需的数据块数量以及每块数据的冗余量,从而提高无人机影像存储、传输以及数据检索的效率。

整个系统运行的效果图如图 7 所示,其中图(a)中场景显示的是以 Blue Marble 影像为纹理的背景球体;图(b)中场景为 TM 影像与无人机四叉树根节点影像数据的衔接过渡阶段,即从 90m 分辨率的 TM 影像飞行过渡到分辨率为 12.8m 的无人机影像;图(c)中显示的为空间分辨率为 0.2m 的无人机影像。可以清晰地看到唐家山和北川县城一带的受灾现状,在震后的滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害的监测中发挥了极其重要的作用。

表 1 多四叉树组织方法与单四叉树组织方法对无人机数据管理的效率对比

	LOD 级数	该 LOD 级别 数据块数量	数据源 总块数	每块数据 冗余	数据更新的数据库 或文件路径
多四叉树组织方法	14 - 20	$2^{k-13} \times 2^{k-13}$	$\frac{1}{3}(2^{16} - 4)$	1:1.00	单独数据集文件路径
单四叉树组织方法	12 - 20	$2^{k-11} \times 2^{k-11}$	$\frac{1}{3}(2^{20} - 4)$	1:1.43	分散在单四叉树各个 节点及子节点中

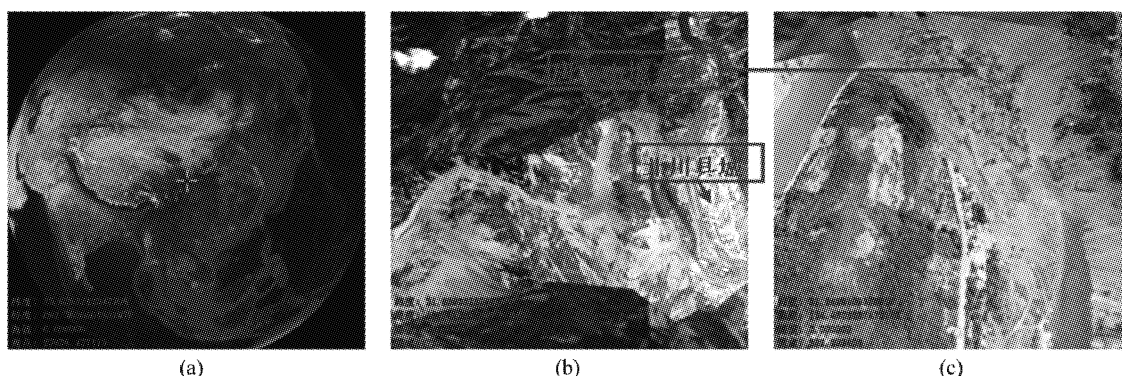


图 7 全球多尺度影像浏览结果

4 结 论

本文针对无人机等多源影像构建全球虚拟场景的数据组织问题,研究了无人机影像的预处理方法,采用了适于可视化需要的球体简化投影方法,并根据无人机影像数据源的特点提出了多线性四叉树的组织方式。实验证明采用本文论述的多树组织方法能够减少数据冗余量,提高系统运行效率,方便无人机数据的管理和实时更新,很好地满足卫星遥感影像和无人机影像等多源遥感数据实时可视化要求,提供灾情信息服务。

随着无人机飞行技术、协同多机数据获取技术的改进以及续航能力的提高,无人机遥感技术有望将数据覆盖范围向全球扩展。在今后的工作中,如何对无人机数据进行高精度的纠正以及智能高效的拼接处理是亟待改进的问题。

参考文献

- [1] 李德仁. 数字地球与“三 S”技术. 中国测绘, 2003, (2): 28-31
- [2] Nygard J, Skoglar P, Ulvklo M, et al. Navigation aided image processing in UAV surveillance: Preliminary results and design of an airborne experimental system. *Journal of Robotic Systems*, 2004, 21(2): 63-72
- [3] Du Q, Raksuntorn N, Orduyilmaz A, et al. Automatic registration and mosaicking for airborne multispectral image sequences. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2008, 74(2): 169-181
- [4] 白建军, 赵学胜, 陈军. 基于线性四叉树的全球离散格网索引. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(9): 805-808
- [5] Goodchild M, Yang S R. A hierarchical data structure for global geographic information systems. *CVGIP-Graphical Models and Image Processing*, 1992, 54(1): 31-44
- [6] Bartholdi J J, Goldman P. Continuous indexing of hierarchical subdivisions of the globe. *Int J Geographical Information Science*, 2001, 15(6): 489-522
- [7] White D. Global grids from recursive diamond subdivisions of the surface of an octahedron or icosahedron. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, 4(1): 93-103
- [8] Fekete G. Rendering and managing spherical data with sphere quadrees. In: *Proceedings of the Conference on Visualization '90*, San Francisco, CA, USA, 1990
- [9] Ottoson P, Hauska H. Ellipsoidal quadrees for indexing of global geographical data. *Int J Geographical Information Science*, 2003, 16(3): 213-226
- [10] 杜莹, 武玉国, 王晓明等. 全球多分辨率虚拟地形环境的金字塔模型研究. 系统仿真学报, 2006, 18(4): 955-958, 967
- [11] 杜金莲. 大规模三维地形实时绘制关键技术的研究与实现. [博士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2003
- [12] 戴晨光, 张永生, 邓雪清. 一种用于实时可视化的海量地形数据组织与管理方法. 系统仿真学报, 2005, 17(2):

406-409, 413

- [13] ESRI. ArcGIS 9.2 Desktop Help. http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?topicname=plate_Carree: ESRI, 2007
- [14] 科学时报. 无人遥感机将在灾区进行超低空飞行. <http://www.irsas.ac.cn>: 中科院遥感所, 2008
- [15] 中科院遥感所. 遥感所与地理所首批科研人员今赴汶川灾区开展工作. <http://www.irsas.ac.cn>: 中科院遥感所, 2008
- [16] 中科院遥感所. 中科院三架无人飞机已获取第一批灾区遥感监测数据. <http://www.irsas.ac.cn>: 中科院遥感所, 2008
- [17] 中科院遥感所. 来自抗震救灾一线的报道. <http://www.irsas.ac.cn>: 中科院遥感所, 2008

An UAV remote sensing image-supporting technique for scenes' multi-quadtrees organization and inter-source dispatch

Li Yi, Gong Jianhua, Hong Yu^{*}, Song Yiquan

(State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

(* Sea Use Surveillance Center of Shenzhen, Shenzhen 518049)

Abstract

Aiming at the data organization and data dispatch problems in building a global virtual scene with multi-source images including unmanned aerial vehicle (UAV) images, this paper explores the UAV image pre-processing, the simplified sphere projection suitable for visualization, and the structure of the global virtual scene. Based on this, an UAV image-supporting structure of the model for multi-quadtrees organization in the global scene is proposed, and the key techniques for inter-source linking and dispatching of the data of multi-source images including UAV images are given. The result of the experiment performed using the UAV images acquired in the 5.12 Wenchuan earthquake as the data source shows that the methods presented in the paper can reduce the data redundancy, promote the system running efficiency, make data management and updating convenient, and effectively provide visualization service in disaster response and management.

Key words: multiple linear quadtree, pyramid image, digital earth, UAV remote sensing, UAV image