

三维场景中无人机地理视频数据的集成方法

陈光^{1,2}, 郑宏伟¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:建立无人机地理视频数据描述模型的核心要素包括描述无人机位置和姿态的空间数据、与空间数据对应的视频数据以及描述地理视频基本信息的元数据。对空间数据扩充时间线性参照,使其对应指定的视频帧或视频片段,通过空间数据、时间线性参照解算视频帧地理位置,将视频数据与空间数据集成,实现地理视频的查询、更新、三维渲染以及视频帧定位。以乌鲁木齐市白鸟湖新区为试验区,通过采集视频数据,同时结合 OSG 图形引擎设计了三维无人机视频 GIS 系统。系统测试表明,该文提出的无人机视频与三维 GIS 集成方法是可行的,且技术实现简单。应用分析表明,将无人机视频与三维 GIS 集成可提高视频影像判读效率,有利于获取更多空间属性信息,在城市安全、灾害监测等领域具有重要应用价值。

关键词:地理视频;三维场景;数据模型;地理表达;无人机视频

中图分类号:P208 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-0504(2017)01-0040-04

0 引言

地理视频是地理空间信息表达的新方法,是多媒体 GIS 的进一步扩展,通过集成视频数据与地理空间数据,提供空间位置与视频影像相结合的信息管理与应用服务^[1,2]。近年来,国内外学者对地理视频及视频 GIS 进行了深入的理论研究和应用探索。Berry 提出了数据采集与处理的视频地图系统框架^[3];Navarrete 等将视频影像和地理信息相结合,建立视频片段的地理索引,生成能在地理环境中调用的超视频^[4];Wu 等针对时空协同分析提出一种适应性的地理视频组织方法,并讨论了其在公共安全领域的应用^[5];Aleksandar 等提出了视频监控系统与三维 GIS 的集成方法^[6]。我国学者王建华等讨论了图像、视频等可视化媒体在 GIS 中的表达方式^[7];丰江帆等基于 GPS、GIS、计算机网络及通信技术,设计并实现了可定位的移动视频直播系统^[8];李德仁等提出了空间信息服务的数字地球影像体系,并给出了一种可量测实景影像数据获取、组织管理以及 4D 产品集成的技术途径^[9];韩志刚等通过整合分析视频数据,设计了一个地理立体视频数据模型,支持可视化、检索以及量测等多个应用功能,实现了地理立体视频对象数据组织与检索表达^[10];丰江帆等提出了基于随机图的地理视频流描述方法,可用于动态、直观地描述地理视频流中运动要素的空间关

系,为地理视频场景的语义描述提供了新的思路^[11]。同时,地理视频在商业领域也受到重视。美国 Red Hen Systems 公司于 1998 年提供地图影像服务(<https://www.redhensystems.com/>);微软和谷歌分别于 2006、2007 年提供街景服务;ESRI 公司在 2010 年发布的 ArcGIS10.0 版本中,提供对地理视频数据的支持。

国内外对视频 GIS 的研究开发取得了显著性进展,针对地理视频表达可概括为两种:1)在固定点位置显示视频和语义信息,如 Aleksandar 等设计的三维视频 GIS 监控系统^[6]、ESRI 公司的 AGV 文件(ArcGIS Video File)格式;2)视频点固定,在地图相应位置绘制视频轨迹,如孔云峰等设计的网络视频 GIS 系统^[1]、Red Hen Systems 公司开发的地理视频显示工具 isWhere。以上两种方法的缺陷在于采用单调的地理图层标记视频帧位置,所表达的地理视频空间信息直观性差,不利于视频影像判读。此外,已有研究成果大多采用地面采集设备获取视频数据,而利用无人机获取资料的研究较少,其中关于无人机视频与三维 GIS 集成的相关研究更是少有报道。无人机遥感具有机动灵活、成本低、时效性强等优势,已成为获取地面数据的重要手段。提出适用于三维 GIS 的无人机地理视频数据模型,将无人机遥感获取的视频信息与三维 GIS 集成,实现无人机视频在三维场景中的动态渲染,不仅能发挥无人机

收稿日期:2016-08-24; 修回日期:2016-10-28

基金项目:千人项目(Y474161);国家科技支撑计划课题“我国边疆城镇精细化管理技术及维稳应用示范”(2015BAJ02B02)

作者简介:陈光(1990-),男,硕士研究生,主要研究方向为三维 GIS。E-mail:chenguangds@sina.com

自身优势,还可以充分利用三维 GIS 提供的空间信息快速判读无人机视频中丰富的影像信息。

1 无人机地理视频数据模型

地理视频数据模型的基础是建立视频数据和空间数据的对应关系^[12]。无人机在采集视频过程中通过飞控系统记录飞行姿态、飞行速度、GPS 地理位置及采集时间等信息,根据视频创建时间和帧率可以推算出每一帧视频影像的创建时间,基于时间索引实现视频帧和空间信息的同步。同步后的空间信息需要进一步整理,并以文本或二进制文件的形式存储,用于描述视频帧或视频片段。本文将视频描述信息分

两部分存储:一部分是视频元数据信息,如视频帧率、分辨率等,采用 XML 文件存储,用来描述整个视频;另一部分是视频帧空间信息,如图 1 所示,使用 CSV 文件描述,为了便于对地理视频进行空间定位及属性查询,需要对其扩充时间线性参照,从第一帧开始,每间隔 1s(或其他时间间隔)记录一次时间点,其他视频帧空间信息可通过线性插值计算。地理视频中包含丰富的影像信息,如公共设施、特殊建筑物等,为了将这些信息在 GIS 地图中呈现出来,需要对地理视频扩充语义标注。语义标注基于时间线性参照,即在指定时间节点增加对视频帧或视频片段的描述信息,用户可以根据语义描述检索地理视频。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	X	Y	ELE	TIME	HEADING	PITCH	ROLL	纬度	经度	描述
2	532635.3677	483984.682	1023	0	2.88394	0.064228	-0.01065	43° 49' 51.03"	87° 49' 51.03"	金桥路
3	532640.2767	4854003.31	1022.92	1	2.89352	0.018151	-0.02531	43° 50' 18.19"	87° 50' 18.19"	金桥路
4	532679.9409	4854040.798	1023.07	2	2.57134	0.002094	-0.02862	43° 50' 18.80"	87° 50' 18.80"	工程学院宿舍楼
5	532654.7771	4854059.541	1023.38	3	2.872	0.00576	-0.02147	43° 50' 20.01"	87° 50' 20.01"	工程学院宿舍楼
6	532659.8544	4854078.221	1023.34	4	2.85982	0.009774	-0.00785	43° 50' 20.62"	87° 50' 20.62"	工程学院宿舍楼
7	532665.1406	4854096.373	1023.33	5	2.87263	0.055152	-0.01187	43° 50' 21.22"	87° 50' 21.22"	工程学院宿舍楼
8	532670.6018	4854116.092	1023.09	6	2.86668	0.046251	-0.01466	43° 50' 21.84"	87° 50' 21.84"	工程学院宿舍楼
9	532676.0221	4854135.344	1022.69	7	2.85485	0.024784	-0.01902	43° 50' 22.47"	87° 50' 22.47"	工程学院宿舍楼
10	532681.5217	4854154.797	1022.46	8	2.84896	0.03351	-0.02321	43° 50' 23.10"	87° 50' 23.10"	工程学院宿舍楼

注:X、Y为地图投影坐标(m);ELE为高程值;TIME为时间线性参照点;HEADING、PITCH、ROLL表示无人机飞行的姿态角(°)。

图 1 使用 CSV 文件描述的地理视频空间信息
Fig. 1 UAV GeoVideo spatial information described in CSV file

基于以上讨论,参照特征模型描述方法^[13],定义无人机地理视频数据模型如图 2 所示,将其抽象为空间数据、视频数据和元数据。元数据信息不是描述视频帧或视频片段的必选项,可以根据需要选择是否建立。由于三维 GIS 的特殊性,视频帧以纹理映射的形式显示在三维场景中。当三维模型的位置、形状或纹理映射方法发生变化时,视频帧的显示位置也会发生变化。因此,无人机地理视频数据模型的主要描述对象是无人机,而不是视频本身,这是与前人研究最大不同之处。空间数据至少包括姿态、位置和时间信息。通过无人机的姿态和位置、三维场景要素、纹理映射方法实时解算视频帧的显示位置。根据时间信息实现空间数据和视频数据的关联。为保证空间数据内部存储一致性,约束同一地理视频数据的描述对象为视频帧(或视频片段)。视频帧或视频片段的语义信息可以根据需要进行扩充。基于该模型,可以对无人机地理视频数据进行查询、更新、三维渲染以及视频帧定位。

2 三维无人机视频 GIS 设计

2.1 视频数据采集与处理

采用 QC-1 轻型电动无人机系统进行视频拍摄,该无人机机体小,机型成熟,一般情况下无需机

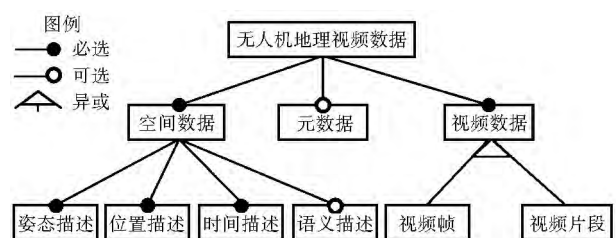


图 2 无人机地理视频数据模型
Fig. 2 UAV GeoVideo data model

场和跑道等特定环境,具有大范围、高效率的图像获取能力。QC-1 轻型无人机系统包括机体、航摄仪、飞行控制系统、数传电台、地面工作站和遥控器组成。航摄仪采用 GoPro_Hero4 全方位相机,传感器尺寸 6.16×4.62 mm,焦距 3 mm,录制视频分辨率为 2 704×1 520,相机与飞机水平方向成 30°。飞控系统主要由主控芯片、惯性测量单元(IMU)、GPS 模块、空压计、空速计等模块组成,用于测量飞机的姿态、位置、风速、风向等信息。飞机起飞后主要由飞控系统控制其按照预先设定的飞行路线自动完成航拍任务,飞行期间可以通过地面工作站添加航点、监控飞行状态等。使用无人机采集的原始视频数据需要进行必要的剪辑、裁剪及格式转换。对视频帧的增删需要将时间信息考虑在内,匹配并校正 GPS 和视频数据时间,采用线性插值的方法完成视频帧的地理位置计算,建立视频轨迹空间信息。

2.2 三维场景创建

目前主流的 GIS 软件(如 ArcGIS、Skyline 等)提供了三维 GIS 开发包,但基于组件的二次开发运行效率较低,不适合于动态渲染地理视频数据。因此,本文使用开源图形引擎 OpenSceneGraph(OSG)实现三维场景渲染,其优势在于:1)OSG 是采用标准 C++和 OpenGL 编写而成的开源场景图形程序开发接口,采用场景图管理数据,数据的层次结构清晰,具有较高的渲染效率;2)OSG 支持 FFmpeg 插件,可以将视频数据以纹理映射的形式显示到三维场景中;3)OSG 的动画路径(AnimationPath)机制适用于无人机飞行模拟^[14],采用时间线性参照设置场景对象的运动轨迹,即在指定时间点插入位置和姿态数据,任意两个时间点之间的位置和姿态角可以分别通过线性插值、球体线性插值计算。

本文采用地形影像数据和三维模型作为三维 GIS 的主要场景模型。使用大地形建模工具 VirtualPlanetBuilder(VPB)创建地形影像数据^[15],其中地形数据(ASTER GDEM V2 数字高程数据,空间分辨率 30 m)是从地理空间数据云服务(<http://www.gscloud.cn/>)免费获取,采用高分辨率航空影像作为地形数据纹理贴图。使用 Esri CityEngine 对主要建筑物进行三维建模,并转换为 OSG 支持的数据格式,在 Visual Studio 2013 环境下进行三维 GIS 开发。

2.3 无人机地理视频数据模型表达

无人机地理视频数据在三维场景中的表达包括无人机飞行模拟和视频数据渲染两部分。首先根据真实的地理位置和姿态信息模拟无人机采集视频飞行过程,并实时解算视频帧显示位置,然后将视频帧渲染到三维场景。视频帧在三维场景中的显示通过投影纹理映射(Projective Texture Mapping)^[16]实现。OpenGL 图形库支持不同空间维度(二维和三维)的投影纹理映射^[6]。通过二维纹理映射可以将视频帧映射到二维几何体表面,其特点是可以减少视频变形且计算量小,但容易受到场景中模型的遮挡。而采用三维纹理映射可以将视频帧投射(Casting)到不规则模型表面,避免遮挡,但计算量较大,当模型局部差异明显时会产生较大变形。本文结合两种纹理映射方法设计不同的显示模式:针对二维纹理映射,绘制无人机拍摄视频实际立体范围,视频帧显示在与无人机拍摄方位指定距离内的某个位置;针对三维纹理映射,为了减少视频变形,将无人机飞行模拟过程中绘制的视频拍摄立体视域进行调

整,计算该立体视域与地面相交几何范围,将视频帧投射到此范围内。

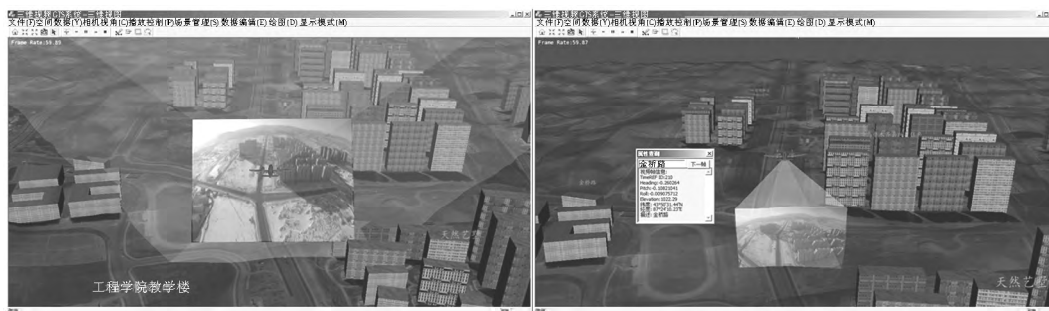
针对本文提出的无人机地理视频数据模型描述方法,利用 OSG 的动画路径(AnimationPath)机制预先读取空间数据的位置和姿态信息,调用 insert()函数将其插入到指定时间节点,程序运行时即按照预定轨迹路线实现飞行模拟。实现上述过程的部分代码为:创建姿态角到旋转矩阵的变换矩阵, mH. makeRotate(Heading, Z_AXIS)和 mP. makeRotate(Pitch, X_AXIS * mH);设置姿态角, Quat rot(Heading, Z_AXIS, Pitch, X_AXIS * mH, Roll, Y_AXIS * mH * mP);将位置和姿态插入到指定时间节点, path->insert(time, AnimationPath::ControlPoint(Vec3(x,y,ele),rot))。动画路径(AnimationPath)的优势在于可对任意两个时间点的飞机姿态和位置进行插值计算,保证运动的连续性和准确性,但同时也会占用更多的内存空间和 CPU 资源,降低渲染效率。OSG 提供了 ImageStream 类管理视频流,能够自动加载 FFmpeg 插件完成视频解码,并通过 Texture 类实现单帧视频影像的纹理映射。由于无人机的飞行模拟是基于真实的时间参照点,因此当视频按照正常速度播放时,只需要校准视频的首帧空间数据信息,其他视频帧信息会自动匹配,当加速、减速或进行视频帧定位,OSG 提供处理函数 ImageStream::seek()和 AnimationPath::settimeoffset()控制视频帧和空间信息同步。

2.4 系统测试

以乌鲁木齐市白鸟湖新区为试验区,主要针对无人机飞行模拟效果、视频帧定位、不同纹理映射方法的渲染效率、视频帧在三维场景中的可判读性进行测试。该测试共设计两条航线,采集视频总时长 1 205 s,共 28 998 帧图像;系统测试环境: Intel(R) Core(TM) i7-3770 CPU, NVIDIA GeForce GTX 460 独立显卡,16 GB 内存。系统运行界面如图 3 所示,飞行模拟过程中可以在三维场景中实时绘制视频帧空间、属性信息,并且可以切换视角(默认视角、飞行器视角、地面站视角)。无人机飞行模拟过程中机体的盘旋上升及转向飞行具有较好的真实性,并且无人机连续飞行,未出现跳动,这是由于采用动画路径(AnimationPath)机制,可以对任意两个时间参照点间的姿态和位置数据进行插值计算,以保持运动的连续性。因此,无人机的飞行模拟能够反映真实航拍过程。通过鼠标点选(图 3a)和属性查询(图 3b)进行视频帧定位,从图中可以

看出视频帧显示的建筑物位置与对应的三维模型位置接近。由于两种定位方法的原理都是查找符合条件的时间参照点,根据时间参照点同步视频帧和地理位置,因此其定位精度相同。两种显示模式下渲染效率较高且比较稳定($>59\text{fps}$),但采用二维

纹理映射结果更加直观,在该模式下,视频帧变形较小,可参考实际拍摄范围判读其中的空间属性信息,在三维纹理映射模式下,视频帧存在一定变形,但可以避免遮挡,该模式适用于局部差异较小但整体起伏较大的地形场景中。



(a) 采用二维纹理映射视频帧

(b) 采用三维纹理映射视频帧

图 3 三维无人机视频 GIS 系统
Fig. 3 3D UAV Video GIS system

2.5 系统应用讨论

将无人机视频与三维 GIS 集成,可以提高分析人员对视频影像判读效率,实现地面信息的高效获取。以灾害监测为例,通过无人机航拍快速获取的灾区视频资料,采用常规的视频分析方式直观性较差、效率较低。而在三维场景中,无人机视频数据的显示位置与其真实地理位置非常接近(图 3),通过对视频帧空间定位,分析人员可以快速查找感兴趣区,并参照真实的地形影像、三维模型或其他地图数据,快速判读视频帧。可根据判读结果在三维环境下更新视频帧属性及语义信息(如灾情描述),以方便视频信息查询与显示,同时可以根据需要导出视频帧及空间信息。

3 结论

本文在视频 GIS 的相关研究基础上,提出无人机地理视频数据模型的设计方法,并在此基础上设计实现了三维无人机视频 GIS。试验表明:本文提出的无人机地理视频数据与三维 GIS 的集成方法是可行的,且容易实现;无人机飞行模拟能够反映真实航拍过程;针对二维纹理映射和三维纹理映射设计的两种视频显示模式,二者优势互补,可以根据需要进行切换;视频帧与对应的地理实体位置接近,能够反映真实地理空间信息,提高信息判读效率。但由于无人机系统的复杂性,该系统不支持无人机实时视频流的三维表达。在以后的工作中还需要进一步完善无人机地理视频数据模型描述与表达方法,以实现无人机实时视频数据与三维 GIS 集成。

参考文献:

[1] 孔云峰. 地理视频数据模型设计及网络视频 GIS 实现[J]. 武汉

大学学报(信息科学版),2010,35(2):133—137.

- [2] 宋宏权,陈郁,孔云峰. 应用 Adobe FMS 与 AIR 的视频 GIS 设计与实现[J]. 地理空间信息,2010,8(2):93—95.
- [3] BERRY J K. Capture "Where" and "When" on video-based GIS [J]. GeoWorld,2000,13(9):26—27.
- [4] NAVARRETE T,BLAT J. VideoGIS: Segmenting and indexing video based on geographic information[A]. 5th AGILE Conference on Geographic Information Science[C]. 2002.
- [5] WU C,ZHU Q,ZHANG Y T,et al. An adaptive organization method of GeoVideo data for spatio-temporal association analysis[A]. International Workshop on Spatiotemporal Computing[C]. 2015.
- [6] ALEKSANDAR M,DEJAN R,ALEKSANDAR D,et al. Integration of GIS and video surveillance[J]. International Journal of Geographical Information Science,2016,30(10):2089—2017.
- [7] 王建华,祝国瑞,毋河海. GIS 中可视化媒体的描述与表达[J]. 测绘通报,1999(2):12—15.
- [8] 丰江帆,张宏,沙月进. 基于 GPS 与 GIS 的视频直播系统[J]. 计算机工程,2007,33(14):230—232.
- [9] 李德仁,胡庆武. 基于可量测实景影像的空间信息服务[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2007,32(5):377—380.
- [10] 韩志刚,孔云峰,秦奋,等. 地理立体视频数据分析与模型设计[J]. 地理与地理信息科学,2013,1(1):1—7.
- [11] 丰江帆,宋虎. 利用随机图语法的地理视频运动要素解析[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2014,39(2):206—209.
- [12] 谢潇,朱庆,张叶廷,等. 多层次地理视频语义模型[J]. 测绘学报,2015,44(5):555—562.
- [13] 易立,赵海燕,张伟,等. 特征模型融合研究[J]. 计算机学报,2013,36(1):1—9.
- [14] RUI W,XUE Q. Open Scene Graph 3.0 Beginner's Guide [M]. Birmingham:Packt Publishing,2010.
- [15] 张尚弘,乐世华,姜晓明. 基于 VPB 和 osgGIS 的流域三位虚拟环境建模方法[J]. 水力发电学报,2012,31(3):94—98.
- [16] MARK S,CARL K,ROLF W,et al. Fast shadows and lighting effects using texture mapping[J]. Acm Siggraph Computer Graphics,1992,26(2):249—252.
- [17] 姜城,孙敏,董娜,等. 面向远程监控的无人机视频地理信息增强方法[J]. 测绘通报,2014(11):28—32.

(下转第 72 页)

- practical guide[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(7): 867—871.
- [13] 万鲁河, 王绍巍, 陈晓红. 基于 GeoDA 的哈大齐工业走廊 GDP 空间关联性[J]. *地理研究*, 2011, 30(6): 977—984.
- [14] 陈威, 潘润秋, 王心怡. 中国省域对外开放度时空格局演化与驱动机制[J]. *地理与地理信息科学*, 2016, 32(3): 53—60.
- [15] 任平, 洪步庭, 周介铭. 基于空间自相关模型的农村居民点时空演变格局与特征研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(12): 1993—2002.
- [16] 刘志方, 张毅, 曹娟, 等. 安徽省城市化发展质量时空演变及差异分析[J]. *安徽师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 38(4): 365—371.
- [17] 赵秀清, 白永平. 内蒙古城镇化综合水平空间格局演变及驱动因子分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(4): 14—23.
- [18] 任平, 吴涛, 周介铭. 基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析——以成都市龙泉驿区为例[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(3): 325—334.
- [19] 盖美, 郝慧娟, 柯丽娜, 等. 辽宁沿海经济带水资源边际效益测度及影响因素分析[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(1): 78—91.
- [20] 安徽省统计局. *安徽统计年鉴(2012—2015)*[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012—2015.

Spatial Pattern of the Driving Effects of Water Use in Anhui Based on LMDI-ESDA Model

ZHANG Le-qin, FANG Yu-yuan

(Resource Environment College, Chizhou College, Chizhou 247000, China)

Abstract: In order to explore the driving factors of water use in Anhui, this paper adopted the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) factor decomposition model to measure the driving effects of water use changes during the period from 2011 to 2014 in Anhui. By means of spatial autocorrelation analysis method, the spatial correlation pattern of the driving effects of water use was also analyzed using two spatial analysis softwares: GeoDA095i and ArcGIS. Results show that: 1) economic growth has significant positive increment effects on the water use in Anhui while the water use intensity exhibits the negative increment effects; 2) economic growth, structural variation and water use intensity exhibits no significant concentration characteristics; 3) Hefei and Anqing are significant high-value concentrations of economic growth; Maanshan and Huainan are significant low-value heterogeneity centers of economic growth; Hefei and Anqing are significant low-value concentrations of structural variation; Maanshan and Huainan are significant high-value heterogeneity centers of structural variation; Liuan is significant low-value concentrations of water use intensity; Maanshan and Huainan are significant high-value heterogeneity centers of water use intensity. The present research results can provide scientific bases for making the sustainable water use policies with regional differences for Anhui Province, China.

Key words: water utilization change; driving effect; spatial pattern; spatial autocorrelation; Anhui Province

(上接第 43 页)

Integration Method of UAV GeoVideo Data Model in 3D Scene

CHEN Guang^{1,2}, ZHENG Hong-wei¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: GeoVideo is a novel data model to represent the geographic world by combining the video data and the geospatial data. However, the existing GeoVideo data models have limitations to represent the geospatial information, and the integration of UAV Video with 3D GIS, which is better to represent geographic world, is rarely reported in previous studies. Therefore in this paper, a method describing the UAV GeoVideo data model is proposed. The main elements include the spatial data for describing the position and attitude of the UAV, the video data corresponding to the spatial data, and the metadata for describing the basic information of GeoVideo data. In addition, the extended time linear reference for the spatial data is utilized to match the specified video frame or video clip. The operations of GeoVideo such as querying, updating, 3D rendering and video frame positioning can be easily achieved based on the integration of video data and spatial data. The UAV video GIS system is developed. The flight simulation of UAV is based on the Animation Path mechanism, and the Projective Texture Mapping method is used for rendering GeoVideo. The evaluation of the system verifies the feasibility of the UAV GeoVideo data model and its expression in 3D GIS, and the technique is easily carried out. The application analysis of this system shows that the integration of UAV video with 3D GIS can improve the efficiency of video image interpretation and obtain more spatial information, which has important application in the field of urban safety, disaster monitoring etc.

Key words: GeoVideo; 3D scene; data model; geographical expression; UAV Video