

无人机遥感系统的集成与飞行试验研究

吕书强^①, 晏磊^①, 张兵^②, 杨绍文^③, 焦健^①, 赵红颖^①, 秦其明^①, 曾琪明^①

(^①北京大学遥感与地理信息系统研究所 北京市空间信息集成与 3S 工程应用重点实验室, 北京 100871

^②中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; ^③中国贵州航空工业总公司无人机研究开发中心, 贵阳 550009)

【摘要】为了拓展无人机在民用遥感领域的应用, 形成对卫星遥感和有人机航空遥感有益的补充, 本文首先介绍了集航迹规划、空中遥感控制、数据获取、数据压缩解压缩、数据传输、快视图实时显示等功能为一体的无人机遥感系统。然后对该系统的多次遥感飞行试验进行了介绍。最后根据所获取的遥感影像和飞行辅助数据对飞行试验进行了质量评价。

【关键词】无人机遥感系统; 飞行试验; 质量评价

【中图分类号】 P231

【文献标识码】 A

【文章编号】 1009-2307(2007)01-0084-03

1 引言

到 20 世纪 80 年代, 随着电子、通信和计算机技术的迅速发展, 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, 技术逐渐成熟, 在几次局部战争中发挥了重要的作用, 得到了较为广泛的应用。到 20 世纪 80 年代中后期, 各国制造的无人机有近百种, 其性能和成本根据无人机的主要用途而差异很大, 包括微型的低空低速遥控无人机和大型的长航时、高空、高速无人机等^[1]。

我国的无人机工业起步虽晚, 但近年来发展迅速, 已步入世界前列。目前, 西安、南京、北京等地推出了性能各异的无人机。如西安爱生技术集团公司研制的无人机, 可用于军用战场侦察和监视任务以及民用研究。南京模拟技术研究所研制的靶机可以执行地形跟随、贴地飞行、地形规避和超低空飞行。其他如南京航空航天大学、北京航空航天大学、中国测绘科学研究院、中国贵州航空工业总公司以及一些民营企业也逐渐介入了这一高科技领域, 研制了部分样机。

随着技术的成熟和民用领域的需求, 无人机已经逐渐渗透到民用领域的各个行业。民用无人机多数是多用途无人机, 按用途可分为民用通信中继无人机、气象探测无人机、灾害监测无人机、农药喷洒无人机、地质勘测无人机、地图测绘无人机、交通管制无人机和边境控制无人机等。美国能源部在大气辐射测量计划中应用 Altus 无人机对大气对流层中的云层进行辐射和散射测量, 以研究云层与来源于太阳和大地的辐射的相互作用, 为准确预测二氧化碳引起的温室效应服务。美国航空航天局也将多种无人机应用于森林火灾监测、精确农业、海洋遥感大地磁场测量和风暴(包括飓风和龙卷风)测量等研究项目。澳大利亚也利用全球鹰搭载成像 SAR 进行海洋监测研究^[2]。中国测绘科学研究院利用其自行研制的民用

遥感无人机 UAVRS-II 型进行了数次遥感飞行任务, 并应用于数字化城市建设和测绘的研究^[3]。尽管如此, 无人机在民用特别是遥感领域的应用仍然处于起步阶段, 目前并没有形成一个成熟的产业。

无人机遥感系统具有运行成本低、执行任务灵活性高等优点, 正逐渐成为航空遥感系统的有益补充, 是遥感数据获取的重要工具之一。本文讨论了利用我国自行研制的民用无人机、中小型遥感传感器和任务控制系统等集成的无人机遥感系统。介绍了利用该系统进行的飞行试验, 并且对无人机执行遥感任务的飞行质量和获取数据质量进行了分析。该试验积累了大量的经验, 为高空超高空无人机遥感系统的发展奠定了基础。

2 无人机遥感系统的集成

2.1 无人机遥感系统的总体组成

图 1 为无人机遥感系统的框图, 无人机遥感系统由空中部分、地面部分和数据后处理部分组成。其中空中部分包括遥感传感器子系统、遥感空中控制子系统、压缩子系统和无人机平台。地面部分包括航迹规划子系统、无人机地面控制子系统以及数据接收解压缩与实时显示子系统。数据后处理部分包括遥感数据处理子系统。

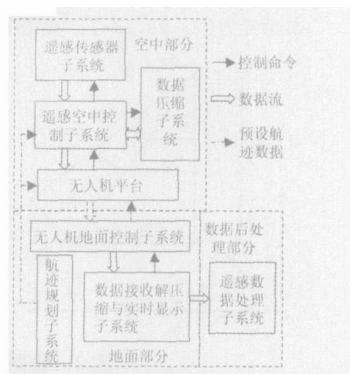


图 1 无人机遥感系统总体结构

其工作流程为: ①根据遥感任务的要求对待拍摄地区进行航迹规划, 并将规划的航线数据预先载入无人机地面控制子系统和遥感空中控制子系统; ②无人机地面控制子系统按照规划的航线控制无人机的飞行, 遥感空中控制子系统则按照预设的航线和拍摄方式控制遥感传感器进行拍摄; ③遥感传感器子系统将拍摄的数据进行存储, 并将原始数据抽样后生成的快视图经遥感空中控制子系统传输给无人机平台, 无人机平台则利用无线传输通道将快视图数据传输到地面的控制子系统; ④数据接收解压缩与实时显示子系统接收无人机地面控制子系统转发的数据进行处理, 生成可以直接显示的无人机飞行航迹和拍摄的遥感图像的快视图; ⑤地面工作人员可以在地面监测无人机的飞行航线, 观测遥感图像快视图, 必要的情况下, 可以根据接收的数据更改本次飞行的计划, 比如可以马上进行部分地区的补拍; ⑥拍摄结束后可以自动关闭遥感任务设备, 等待降落。

作者简介: 吕书强(1973-), 男, 北京大学博士研究生, 主要研究方向为无人机遥感系统的设计、飞行试验以及后续的数据处理。

E-mail sqk@sohu.com

收稿日期: 2006-02-13

基金项目: 北京大学 985 二期项目“高空超高空航空遥感平台系统”



2 2 无人机遥感系统的组成

1) 航迹规划子系统:

航飞前按照遥感应用要求、飞行作业区特点、飞行器和遥感器性能参数, 规划出飞行区域与航线、拍摄点, 预先加载到无人机地面控制子系统和遥感空中控制子系统, 用于控制无人机的飞行和遥感拍摄。

2) 遥感传感器子系统:

无人机遥感系统可以集成的遥感传感器包括数字相机、合成孔径雷达、红外扫描仪、前视红外、电视摄像机等^[6]。

本次试验的遥感传感器子系统包括两台数字相机和一台计算机, 完成遥感数据的获取和存储、快视图的生成和传输等功能。其中一台相机为 4096×4096 像素的全色 CCD 相机, 另一台为 4500×3000 像素的彩色相机。计算机则采用直流电源供电的工控机。

3) 遥感空中控制子系统

遥感空中控制子系统完成对遥感传感器子系统的控制, 如控制遥感传感器的通断电、拍摄方式、拍摄控制, 并且接收遥感传感器的快视图数据与拍摄时刻的姿态经纬度等数据进行打包, 然后传送到无人机平台。其中包括一台工控机、一个自行研制的任务控制盒和电源控制盒。

4) 压缩解压缩子系统

为了实现数据的实时上传, 在本系统中集成了压缩解压缩子系统, 主要由数据压缩板和相应的压缩软件组成。空中遥感控制子系统能够通过调用压缩模块提供的函数接口, 利用压缩处理板完成对数据的压缩。在地面解压缩模块能及时准确地将机上下传的快视图压缩数据解压。其下一步目标是对遥感原始数据进行压缩和快速上传。

5) 无人机平台及其地面控制子系统

无人机平台主要包括飞行器分系统、测控及信息传输分系统、信息获取与处理分系统以及保障分系统。其中信息获取与处理分系统可以集成不同的遥感传感器和其他信息获取装置。测控与信息传输分系统负责将获取的遥感数据和其他飞行器状态数据下传至地面控制站, 以及地面遥控信息的上传。

无人机地面控制子系统监控无人机的飞行、接收并转发无人机下传的遥感快视图数据和其他辅助数据。

该系统所采用的无人机平台是由中国贵航集团自行研制的多用途民用无人机, 主要用途是作为遥感平台等民用领域, 其设计标准按照有人机的标准设计, 性能优越。

6) 数据接收解压缩与实时显示子系统

在无人机飞行中, 处理由无人机地面控制子系统转发的遥感快视图数据和其他辅助数据(如 GPS 定位数据、辅助导航定位数据、无人机飞行姿态、航拍时刻等), 对飞行和航拍过程进行实时监控和粗略评估, 给地面作业人员提供必要的修正参考数据。

3 无人机遥感系统飞行试验

3.1 试验目的及计划

本次飞行试验的主要目的是检验无人机遥感系统的可行性与可靠性, 检验无人机作为遥感平台的可行性, 检验航迹规划、相机控制与图像存储、压缩解压缩、快视图传输与实时显示的能力。为了确保无人机遥感系统的飞行成功, 遥感相机和其他载荷已在直升机和运-12 上进行过相应的飞行试验, 为无人机的飞行试验奠定了基础。2005 年 7 月 26 日到 8 月 25 日, 北大、中科院和贵航集团相关人员在试验现场对无人机遥感系统进行了多次调试, 完成了 3 次飞行试验。获取了贵州省安顺市部分市区和其他某区域的无人机遥感影像, 并对遥感影像进行了简单的分析和处理。

3.2 飞行试验

本次飞行试验共飞行作业 3 次, 其具体试验情况如表 1 所示。其中第一次试验主要为了验证无人机遥感系统的机上成像能力。第二次则按照遥感作业的要求进行了航迹规划, 按起始点的经纬度自动开始拍摄, 按结束点的经纬度自动关闭遥感设备。验证了航迹规划、遥感空中控制子系统以及数据获取、数据传输以及快视图显示等功能。第三次试验则重点验证了压缩解压缩功能, 同时改正了前两次试验中存在的一些问题, 取得了较好的结果。

表 1 无人机遥感系统飞行试验情况表

	第一次	第二次	第三次
时间	8月8日 10:00-12:00	8月18日 15:30-18:30	8月24日 9:30-11:45
飞行区域	某机场附近	安顺市部分区域	某机场附近
天气	阴	晴	阴
相对高度	200m	1000m	200m/400m
速度	40m/s	40m/s	40m/s
焦距	80mm	80mm	80mm
快门	1/1000s	1/1000s	1/500s
光圈	2.8	2.8	2.8
拍摄方式	延时自动拍摄	到预设点自动开拍	到预设点自动开拍
拍摄间隔	6s	5s	5s
航向重叠	无重叠	54.79%	无重叠
旁向重叠	无重叠	30%	无重叠
拍摄图像	33张	158张	48张

4 飞行试验质量分析

由于试验的重点有所区别, 在三次飞行试验中, 其中第二次的飞行试验是按照航空遥感的要求设计航线的, 下面对飞行试验质量的分析都是基于第二次飞行试验的数据。

4.1 航片重叠率

按照航空遥感的一般要求, 拍摄时的航向重叠率为 60%, 最小不得小于 53%; 旁向重叠率为 30%, 最小不得小于 15%。本次飞行试验考虑到天气等因素的考虑, 设计了航向重叠率为 53%, 旁向重叠率为 30%, 根据拍摄时刻的经纬度和拼接的部分遥感缩略图(图 2)可以看出, 整个拍摄区域没有出现漏拍的现象, 而且图像也满足航片重叠率的要求。



图 2 第一和第二条航带的遥感缩略图

4.2 航线弯曲度

图 3 为无人机实际飞行的航线和设计的航线的对比图。由图可知, 设计的航线为东西方向水平飞行, 因此根据实际飞行航线的纬度就可以计算出航线的弯曲度。可以看出, 在第二条和第四条航带的进入点与设计值有较大的距离(分别为 33.51 和 39.30m), 其余部分飞行的情况非常良好。表 2 为四条航线实际飞行的纬度和弯曲度。根据航摄的要求, 航线弯曲度不超过 3%。而本次飞行试验的航线最大的弯曲度为 1.4%, 满足飞行的要求。

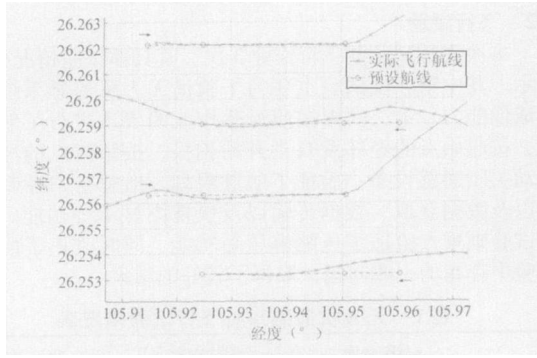


图 3 实际飞行航线与设计航线图

表 2 实际飞行航线弯曲度

	航线 1	航线 2	航线 3	航线 4
纬度预设值 (°)	26.26211739	26.25904	26.25629539	26.253218
实际纬度均值 (°)	26.2620938	26.2590403	26.2562388	26.2532576
预设值与均值之差 (m)	2.63	-0.03	6.30	-4.41
偏离航线最大值 (m)	3.45	33.51	17.92	39.30
航线长度 (m)	2875.43	2875.35	2875.28	2875.21
弯曲度	0.1%	1.2%	0.6%	1.4%

4.3 相片倾斜角与相片旋转角

表 3 列出了各条航带拍摄点无人机的横滚角和俯仰角，它们分别造成拍摄图像的左右倾角和前后倾角。由表中数据可知，横滚角的最大值为 1.85°，俯仰角的最大值为 2.89°，基本满足遥感摄影对相片倾斜角一般小于 2°，最大不得超过 3°的要求。

另外，遥感摄影要求旋偏角一般不超过 6°，最大不超过 8°。由表 4 可知，只有第四条航带有一个拍摄点的旋偏角超过 6°，另外还有一个点的旋偏角为 5.9121°。所有有效拍摄图像的旋偏角均小于 8°。而且角度最大的拍摄点都处于拍摄区的最东面。从图 2 中飞行的实际航线也可以看出，在四条航带的右端实际航线与预设航线的偏差较大。经分析发现，其原因是无人机在切换航带时设计的飞行航线太短，使无人机没有足够的时间来调整其姿态和位置，造成进入拍摄航带时的航迹角偏差比较大，导致了旋偏角较大。

本次飞行试验并没有安装稳定平台。在此条件下，飞机的姿态已基本满足遥感作业的要求。下次飞行时，可通过改进航线，使无人机在进入拍摄区前有充分的调整时间，以减小偏航角。如果需要提高姿态的精度，还可以加装稳定平台。

4.4 摄影航高

表 5 列出了各航带摄影航高的均值、最大值和最小值，从中可知，航带内的航高差为 4.3m，而整个拍摄区内航高的最大偏差仅为 6.7m，完全满足遥感飞行的要求。

表 4 拍摄点的相片旋角

航带号	1	2	3	4	
所有拍摄点的偏航角 (°)	3.63	-5.47	3.80	-6.35	
	3.10	-4.68	2.75	-5.91	
	2.84	-4.95	2.66	-5.12	
	2.66	-4.42	2.22	-4.68	
	2.92	-4.51	2.04	-4.33	
	2.22	-3.98	2.66	-4.07	
	3.27	-3.45	2.31	-3.01	
	2.66	-3.10	2.92	-2.84	
	2.66	-3.10	3.01	-2.92	
	3.10	-2.31	3.10	-3.10	
	2.57	-1.60	2.66	-3.10	
	2.48	-1.78	3.10		
	均值	2.84	-3.61	2.77	-4.13
	最大值	3.63	-5.47	3.80	-6.35

表 3 拍摄图像的横滚角和俯仰角

航带号	1	2	3	4
横滚角 均值 (°)	0.460	0.950	360.81	
横滚角 最大值 (°)	1.141	851.031	58	
俯仰角 均值 (°)	2.121	911.881	76	
俯仰角 最大值 (°)	2.702	892.342	42	

表 5 无人机遥感系统摄影航高 (m)

航带	1	2	3	4
均值	2585.9	2587.3	2587.2	2588.4
最大值	2588.6	2589.8	2589.2	2591
最小值	2584.3	2585.5	2585.5	2586.7
差值	4.3	4.3	3.7	4.3

5 结束语

为了拓展无人机在民用遥感领域的发展，为研制高空超高空无人机遥感系统做好充分的准备，北大遥感所、中科院遥感所与贵航集团无人机中心联合完成了无人机遥感系统的调试和飞行试验。验证了航迹规划、任务控制、数据获取、数据压缩解压缩、数据传输、快视图实时显示等功能，获取了部分地区的遥感影像。试验结果表明无人机遥感系统不仅是可行的，而且是可靠的。它作为一种新型的遥感数据获取手段，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。

参考文献

[1] 秦博, 王蕾. 无人机发展综述 [J]. 飞航导弹, 2002 (8): 4-10.

[2] Stacy N J S, Craig D W, Staromlynka J, Smith R B. The Global Hawk UAV Australian deployment imaging radar sensor modifications and employment for maritime surveillance [A]. In Proc. IGARSS 2002 [C], 2: 699-701.

[3] 崔红霞, 林宗坚, 孙杰. 无人机遥感监测系统研究 [J]. 测绘科学, 2005 (5): 11-14.

[4] 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.

[5] Lei YAN, Shuqiang LU, Xuehu ZHANG, et al. Research on Key Technologies of UAV Remote Sensing Operation Systems [A]. In Proc. ACRS2003 ISRS Conferences [C], 3-7 November 2003 Busan Korea.

[6] Pinkney F, et al. UAV communications payload development [A]. In MILCOM 97 Proc Volume 1 [C], 2-5 Nov. 1997: 403-407.

欢迎订阅 《测绘科学》
 恳请赐稿 《测绘科学》

can affect the distance accuracy, and validates the conclusion by analysis the "scale bar" measurement result from two different 3D instruments: Total Station and Laser Tracker. Finally, the principle of EDM additive constant calculation by "two points" based on distance measurement is given. There is no deep integrated discussion on this question in reference, and we hope that this paper can provide an actual operation reference for the surveyor in precise engineering survey.

Key words 3D coordinates; distance calculator; total station; laser tracker; additive constant

YU Cheng-hao, KEMing, ZHAO Zhen-tang (Shanghai Institute of Applied Physics, the Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

An improved TIN algorithm based on auto-coupling triangle

Abstract Aiming at the shortcoming of algorithm of Auto-Coupling Triangulation, this paper makes some improvement on it. The improved algorithm brings out a thought of "first division then model" . It first divides the large region of terrain into some smaller subblocks and then calculates in some specified ones. Finally, it uses the improved algorithm to build the terrain model and gets a good improvement in efficiency.

Key words DEM; delaunay triangulation; topology
TAN Ren-dun^①, YAO Lan^①, LIU Min^② (① Wuhan Design Survey Research Institute, Wuhan 430022, China ② Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China)

Research on the ComGIS-based typical geography objects spectrum characteristic database system

Abstract The typical geography objects spectrum characteristic database is the basic data of remote sensing quantitative analysis and computer intelligent selection of geography objects type. It is an important frame of reference to identify geography objects. It can be at so used in remote sensing technology application project as the direct analysis data. In this paper, the main contents of this database design are introduced such as the integral system frame, organization structure, function modules, property characteristics, main interface and key technology analysis.

Key words objects spectrum characteristic; database system; component GIS

SUN Hong-mei^①, WANG Ping^②, JIA Rui-sheng^① (① College of Information Science & Engineering, Shandong University of Science & Technology, Tsingtao 266510, China ② College of Geographical Science & Engineering, Shandong University of Science & Technology, Tsingtao 266510, China)

Design and implementation of census spatio-temporal database based on data models of base state with amendments

Abstract In this paper the significance of census spatio-temporal database was analyzed, and the spatio-temporal data models were introduced, especially the data models of base state with amendments. Based on the shortage discussion of these data models, a new spatio-temporal data model of base state with amendments was presented and put forward. On consideration of the characteristic of census spatio-temporal data, a scheme to set up the census spatio-temporal database was proposed and an instance was given.

Key words base state with amendments; spatio-temporal data model; census; spatio-temporal database

MA Wei-jun^①, LIU De-qin^①, LIU Yu^②, LIU Dong-qin^② (① Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China ② College of Geo-Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China)

Research and experiment of large-scale relief maps with imaging from a remote-control helicopter system

Abstract In this paper a procedure known as digital close-range aerial photogrammetric surveying method, which explores a remote-control aerial imaging system with a helicopter and wireless digital camera as imaging platform, is proposed to produce large-scale relief maps. Through the experimental works in a small area of 1.3km² by using this system and the proposed procedure, it can conclude that the proposed system and procedure can be used for producing large-scale relief maps in terms of accuracy and orthorectified image generation, and meanwhile the costs can be reduced.

Key words close-range photogrammetry; aerial photogrammetry; digital close-range aerial photogrammetry survey

WANG Jian-xiong, ZHANG Fu-xia, KONG Ling-qiong (College of Water Resources, Hydraulic and Architecture, YAU, Kunming 650201, China)

The integration and flight experiment of UAV remote sensing system

Abstract Unmanned aerial vehicles (UAVs) have been applied to military fields in last decades. In order to introduce UAV to the civil applications, the UAV remote sensing system (UAVRSS), which includes flight planning, task controlling, data acquiring, data transmission, data compression and decompression as well as image display sub-systems, is briefly introduced in this paper. And then, several flight experiments are carried out to acquire image data under different conditions. Finally, the data from the UAV and remote sensing camera are analyzed to evaluate the quality of the flight experiments. The results show that UAVRSS is a new, efficient and flexible means to collect remote sensing data.

Key words unmanned aerial vehicle remote sensing system (UAVRSS); flight experiment; quality evaluation

LV Shu-qiang^①, YAN Lei^①, ZHANG Bing^②, YANG Shaowen^③, JIAO Jian^①, ZHAO Hong-ying^①, QIN Qi-ming^①, ZENG Qi-ming^① (① Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing 100871; Beijing Key Lab. of Spatial Information Integration & Its Applications, Beijing 100871; ② Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; ③ China National Guizhou Aviation Industry (Group) Co. Ltd., Guiyang 550009)

Sensitivity analysis of mono-window and single-channel algorithms to the possible errors in parameter estimation

Abstract The advent of the mono-window algorithm (MWA) and single-channel method (SCM) has opened up a new way for retrieving land surface temperature (LST) from Landsat TM thermal band. However, due to the great difficulty of obtaining the in situ ground measurements comparable to the pixel size of Landsat TM 6 data at the satellite pass, validation of these two algorithms with the in situ measurements is still not feasible at the present time. In this paper, a sensitivity analysis has been conducted to examine the effects of possible errors in the three parameter (i.e., ground emissivity "ε", near-surface air temperature "T₀" and the atmospheric water vapor content "w") estimations on LST retrievals, thus to provide an alternative way to assess the performance of the two algorithms. The research results show that (1) both MWA and SCM are not very sensitive to the possible errors of ε; (2) MWA is more sensitive to the possible errors of w (when T₀ is low) or T₀ (when w is high), if compared with the relatively insignificant impact of the possible errors of ε on the retrieved LSTs; (3) as for SCM, the effect of the possible errors of w on the LST retrievals is much greater than that of ε.

Key words Landsat TM; mono-window algorithm; single-channel method; parameter estimation error; sensitivity analysis

DING Feng^{①②}, XU Han-qiu^① (① College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China ② College of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Study of 3D interactive application of Geo-spatial modeling based of tri-prism

Abstract The study of 3D interactive application plays a key role in the research of 3DGM. It can display the spatial attributes of the geo-modeling comprehensively. This article studies the modeling construction based on tri-prism and discusses the algorithms of the virtual digging, virtual geologic incising, virtual digging and virtual rambling. With the visualization of the geological bodies based on OpenGL, it solves some engineering problem.

Key words 3DGM; tri-prism; 3D interactive operation

WEN Xue-dong^①, ZHU Qiang^①, LU Xiu-shan^②, ZHANG Yu^③, LI Qing-yuan^④ (① Ningbo Planning and Geography Information Center, Ningbo 315041, China ② Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China ③ Wuhan University, Wuhan 430079, China ④ Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

Implementation of Taihu lake watershed data sharing system based on smart client

Abstract It is necessary to share the multi-source, heterogeneous massive data with different structure based on spatial data and attribute data at present. This article, making use of Smart Client