

基于机载三维激光扫描的实时一体化摄影测量及数据处理

郑团结, 缪剑, 高德俊, 张云彬

(西安理工大学, 西安 710048; 总参测绘信息技术总站, 西安 710054; 总参测绘局, 北京 10088)

【摘要】课题结合机载三维激光扫描实时一体化技术研究, 从系统设计、航测规划、空中测量、地面监控、质量检查、DEM重采样等核心环节按“实时一体化”要求进行了详细设计和深入实践。从而为实时一体化测量提供了前中后期的配套模块, 为机载三维激光扫描具体应用提供了详细的应用方案, 为快速精确获取全方位、立体化地理数据提供了技术支持。实验表明, 该方案能最大限度满足军事地理数据的实时获取要求。

【关键词】激光雷达; MU/GPS; 航测规划; 内插重采样

【中图分类号】P208; TP751

【文献标识码】A

【文章编号】1009-2307(2007)01-0064-03

1 引言

随着激光测距技术、MU/GPS制导技术在设备制造、自动控制、军事工业等高端领域的具体应用, 利用传统航空、航天设备获取地面测量数据逐渐不能满足军事地理数据保障的实时、快速、精确、立体等发展要求。国际著名厂商美国徕卡、OPTECH、德国 IGI、奥地利 RIEGL 等公司先后推出了各自的机载三维激光扫描设备。

由于低端激光雷达和中、高端三维激光扫描设备的具体应用, 传统航测规划、质量检查、数据处理的方式、手段、设备、平台都面临兼容性等实际问题。如何在现有设备、环境的前提下最大程度满足实时空中测量的时间和精度要求, 从而为战场环境、动态检测、灾难控制等地形突变提供高时效、高精度、全方位的地理数据, 这一严峻课题责无旁贷摆在我们面前。

2 机载激光雷达

机载激光雷达是将光电技术、惯性测量与 GPS 复合姿态测量技术、激光扫描测距技术、高精度飞行器导航技术、图像处理技术高度集成的软硬件系统。硬件部分主要由三维激光扫描仪、系统控制器、MU/GPS 控制计算机组成; 软件部分主要包括航测规划、航测控制、数据处理等配套模块。

机载激光雷达测量精度取决于激光雷达的激光器的校对和标定、飞机的飞行高度和速度、GPS/MU 系统的精度、激光器的类型、斑点的大小等。

机载激光雷达硬件组成如下:

2.1 扫描仪组件

扫描仪组件主要包括激光发射器、激光接收器、机械组件、扫描镜、窗口、接口板等。

激光器的种类较多, 对于不同用途所选择的激光器各不相同。

测量普通地面地形地貌时, 多数使用脉冲近红外激光器(波长在 900~550 nm); 测量水下地形地貌时, 需要使用

大功率的绿光或蓝光激光器。

大面积的高精度测量(如森林、城市等), 可以使用德国 IGI 公司和奥地利 RIEGL 公司联合制造的 LiteMapper 5600。它的激光器精度高达 2mm, 并且具备获取无穷次回波和数字波矢化的特点, 因此能够获取有关植被、路面、建筑物边沿、斜坡等表面的详细细节。由于它使用的是安全等级为一级的激光器, 所以不管是超低空、低空还是中高空测量, 都不会对人体造成伤害。

中等精度的大面积测量, 可以使用徕卡公司的 ALS50 或 OPTECH 的 ALTM3100, 该激光器分辨率 2cm 左右, 近距离时会对于人、动物造成伤害, 因此, 当飞行高度低于 800m 时, 必须对激光器的输出激光信号强度进行衰减。即使如此, 一般也不能在低于 400m 高度使用。

低精度中小项目测量(如公路、铁路、电力)时, 一般采用功率较小的激光器, 这类激光器虽然测量精度较低, 但相比前面的设备价格相对便宜, 而且由于功率较小, 所以对人和动物的伤害较小。

2.2 系统控制器

系统控制器控制激光发生器进行测距。激光发生器产生电信号后, 开始驱动光学扫描头, 控制器读取已编码的扫描角、GPS 时标, 将角度、距离等数据统一格式并进行记录。

2.3 MU/GPS

MU/GPS 是主要用于航空、航天、航海领域的惯性测量与 GPS 复合姿态测量设备, 该设备能够输出激光雷达、相机等多种传感器的空间位置和姿态数据。

目前, 机载三维激光扫描设备中, 徕卡和 OPTECH 的 MU/GPS 采用的是加拿大 Applanix 公司的 POS/AV 510-DG、POS/AV 410-DG 和 POS/AV 310-DG, 它们全是基于美国 Litton(雷盾)公司的 LR86 型号而改制的(机械式水平对准陀螺仪, dry-tuned gyro)。

美国和欧洲的许多激光雷达也使用德国 IGI 公司的 MU-Id 和美国 Litton 公司的 LN200, 该设备基于光纤陀螺原理和迈克尔逊干涉测量光程差原理工作, IGI 一度占据飞机导航领域较大份额, 该公司 MU/GPS 在精度、性能等方面已经有所超出 Applanix 产品。

MU 在国外大量使用在卫星、航空遥感及军事领域, 如 IGI 的 MU 就用在德国的豹式坦克上, 通过它的定位、定向, 使得行进中的坦克可以随时发射炮火。

加拿大的 Applanix 公司进口许可要经过美国国务院、国防部等单位的批准, 申请的难度和时间以及不确定性较大, 另外 Applanix 公司对中国出口的 MU 与在欧洲和北美使用的 POS/AV 510-DG 不一样, 称为 AMU, 其光纤长度比标准型短的多, 约 200m, 而 IGI 的 MU 光纤长度为



作者简介:郑团结(1975-), 男, 河南洛阳人, 在读博士研究生, 主要从事摄影测量与遥感及 3S 集成方向的研究工作。

E-mail: ztj1975@163.com

收稿日期:2006-03-13

500m, 另外 A MU 的测量频率小于 200HZ, 功能远远不如 510-DG。

另外不论是 IGI 的 MU-Id, 还是 Applanix 的 A MU, 为了防止被用于军事, 都添加了特殊的装置, 如果加速度增大, 数据采集会自动停止。

2.4 控制/显示设备

控制/显示设备包括激光发射指标器、音频告警器、电路熔断器、系统诊断数据输出、控制接口等。

3 航测规划系统

航测规划系统包括范围确定、航线设计、地面控制、数据转换、可视规划等程序模块。

在正式的空中测量之前, 需要快速确定航测范围并进行航线设计。确定扫描区域需要相应的航测地图, 航测地图获取过程包括地图栅格化、几何纠正、影像重采样、地图载入。

徕卡和 OPTECH 一般建议沿航测任务区域外围飞一个 8 字形标定路线。实际作业中, 考虑到飞机起降及测量的成本, 我们利用 GPS 地面测量车进行范围确定和地面控制, 就是用 GPS 测量车沿测量区域外沿行驶一周, 将接收的 GPS 数据用于航线设计。

下面是 GPS 地面测量车沿某扫描范围采集的部分经纬度数据:

- 1, 109.051265778406, 34.1857298102337
- 2, 109.031204119965, 34.1676726013772
- 3, 108.960367233881, 34.1570005298314
- 4, 108.907828510962, 34.1539099399024

.....

记录经纬度数据的同时需要把该经纬度数据与地面实际位置严格对应, 因为在后期数据处理中经纬度数据需要用于“相对定向”, 从而为生成正射影像提供依据。

经过对航线设计快速计算, 部分航线数据如下:

-
- 9, (108.874200883786E, 34.2214107544383N)
 - 10, (109.040017728664E, 34.2201166232102N)
 - 11, (109.037121388845E, 34.2236808976947N)
 - 12, (108.875733256502E, 34.2249396280251N)
-

4 航测控制系统

航测控制系统由航测控制软件、质量检查软件组成。

4.1 航测控制软件

航测控制软件通过图形界面, 根据飞控系统输出的信息, 实时在地图上精确标定飞机的当前位置、飞行路线和飞行轨迹; 速度表, 高度表, 地平仪实时显示出当前速度、高度和飞行姿态, 地图窗口具有移动和缩放功能, 可以方便观察飞机的飞行状况。

通过航测控制系统, 飞行同时可以查看和修改飞机的轨迹、任务和飞行参数, 可用键盘或鼠标直接输入任务航点, 寻找和修改以前保存的任务航点文件, 以及在地图上直接标定航点位置, 大大增强了对飞机的实时控制性能。

航测控制软件具有以下功能:

支持各种文件格式的电子地图; 可以始终保持飞机在地图窗口中心; 窗口下方显示信息: 目标航点号、

目标距离、任务计时器; 地图缩放键、窗口滑动, 可手动改变地图大小和显示区域; 航点输入分文件输入和键盘输入两种方式; 可以输入或改变高度、速度、航点坐标和控制模式; 航点列表。用于调出和保存各任务航点、航迹文件; 航行数据记录器: 用于保存飞行期间所有航行数据。

4.2 航测质量检查

航测质量检查主要包括航测区域可视化、有效测量面积统计、漏测分析。该模块既可以单独使用, 也可以挂接于 AutoCAD、Microstation 等通用软件。航测区域可视化依据扫描设备的空间坐标、扫描姿态、扫描设备参数按照严密的数学公式编程实现, 基本符合实际情况; 有效测量面积统计依据测量区域计算数据进行, 由于部分区域被二次或三次测量, 实际测量的有效面积小于单位时间测量面积与测量时间的乘积。有效面积统计按数理统计的并集原理进行计算 (见图 2)。

漏测分析主要用于决定是否补测以及如何补测。

5 数据处理系统

机载三维激光扫描仪可以快速获取高精度 DTM, 实验中我们使用 GPS 地面测量车通过 GPS 差分快速获取高精度地面控制点, 然后利用地面控制点对 DTM 进行整体纠正从而使 DTM 相对精度和绝对精度均能满足使用要求, 最后利用纠正后的 DTM 将航空影像纠正为正射影像。由于获得的 DTM 和正射影像数据都是 WGS84 坐标系下的高斯投影数据, 所以需要经过内插重采样才能获得满足需要的 DEM、DSM 和 DOM。

5.1 DTM 数据处理

机载三维激光扫描仪获得的 DTM 是包含地物、树冠高程的表面模型, 该表面模型数据为一组近似矩形规则格网的离散坐标, 一般采用 WGS84 坐标系下的高斯投影。该数据直接可以作为产品使用, 但实际应用中我们常常采用北京 54 坐标系或西安 80 坐标系, 这就需要快速精确的数据转换, 另外建立 DEM 常常需要进行光滑采样, 获取 DSM 往往需要进行特征重采样, 不同数据的处理方法各不相同。

5.1.1 坐标系及投影转换

我国常用坐标系主要有北京 54 坐标系、西安 80 坐标系、WGS84 坐标系。这三种坐标系统采用的椭球和高程基准各不相同, 所以重采样的重要一步, 就是在坐标系之间建立严密的数学关系。

DTM 数据记录的是相应坐标系下的空间坐标, 一般该坐标值都是采用高斯投影的地面坐标, 不同坐标系之间的数据转换实质是将原空间坐标转换到目标空间坐标的过程, 在重采样方案里, 这个过程被称为“直接法”。

坐标系之间的数据转换依赖相应的主要数学关系。一是地面坐标 (x, y) 与大地坐标 (经度、纬度) 之间的数学关系, 利用的是高斯投影正反算公式; 二是大地坐标 (经度、纬度) 与地心空间坐标系 (X, Y, Z) 之间的数学关系, 使用的极坐标与空间直角坐标之间的换算公式; 三是两种地心空间坐标系之间的平移、旋转和缩放, 利用的是矩阵变换公式。具体公式不再详细叙述。

5.1.2 DTM 光滑采样

为了满足数字高程模型的光滑需要, 我们采用了双三次曲面法进行 DTM 内插重采样 (见图 3)。

双三次曲面法虽然属于局部函数内插, 即在每一个方格网内拟合一个三次曲面, 但由于考虑了一阶偏导数与二阶混合导数, 因而能保证相邻曲面之间的连续与光滑。

双三次曲面法用一个三次重采样函数近似表示曲面函数, 其三次曲面方程式可以利用阵列代数式表达为

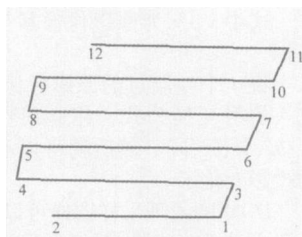


图 1 航线图形可视化

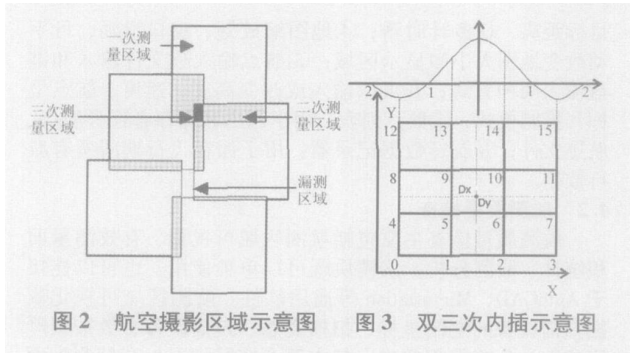


图 2 航空摄影区域示意图 图 3 双三次内插示意图

$Z = [1 \ dx \ dx^2 \ dx^3] \cdot S \cdot [1 \ dy \ dy^2 \ dy^3]^T$
其中 $S = A \cdot Z \cdot A^T$, Z 为 4×4 的高程阵列。

各点权值函数公式为:

$$W_x = [1 \ dx \ dx^2 \ dx^3] A$$

$$W_y^T = [d \ dy \ dy^2 \ dy^3] A$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -3 & -2 & 3 & -1 \\ 2 & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad Z = \begin{bmatrix} z_0 & z_1 & z_2 & z_3 \\ z_4 & z_5 & z_6 & z_7 \\ z_8 & z_9 & z_{10} & z_{11} \\ z_{12} & z_{13} & z_{14} & z_{15} \end{bmatrix}$$

推算可得插值:

$$Z = W_x^T \cdot Z \cdot W_y = [1 \ dx \ dx^2 \ dx^3] \cdot A \cdot Z \cdot A^T \cdot [1 \ dy \ dy^2 \ dy^3]$$

双三次曲面法有 4×4 点参与计算, 实际应用中, 根据工程的具体需要, 权值的选择不尽相同。

5.1.3 DTM 特征采样

实际的城市表面模型往往需要特别体现高大建筑与独立地物的高程信息, 为了有效保留地表特征, 系统在保留极值、拐点等必要特征的基础之上按高差、斜率差异设计了“基于特征的混合采样算法”。

具体方法步骤如下:

首先用间接法对原数据逐片分区采样。考虑到原始数据人工采点的邻近原则, 靠近边界区域采用邻近取值法, 为了保持地面模型整体的相符性, 远离边界区域 (或中心区域) 采用三次曲面内差方法。

然后对原模型进行特征提取。主要提取顶端特征和边沿特征, 即数学意义上的“极值点”和“拐点”。为了全部保留高大建筑与独立地物等极值高程和楼房棱线、高架边线等拐点高程, 需要对原数据逐点分析, 这里设计了“中点比较法”进行特征提取。

中点比较法主要思想为: 计算前后两点高程平均值、左右两点高程平均值, 用两个平均值分别与中心点高程比较。如果高差大于阈值, 则该中心点为特征点, 否则, 该中心点非特征点。

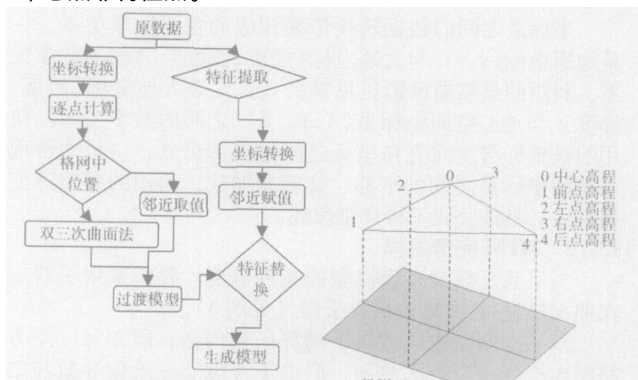


图 4 基于特征混合采样流程图

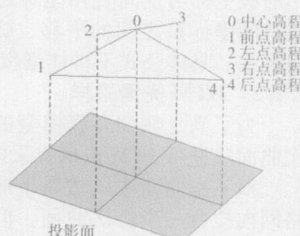


图 5 中点比较法

最后将特征数据进行坐标转换, 以邻近原则进行采样,

用特征数据对光滑采样相应区域进行替换, 从而生成需要的模型。

本文设计的基于特征的混合采样方法既能保证山地模型的光滑特征, 又能保留城市模型的顶端特征和边沿特征。平面转换精度在毫米以下, 极值特征、边沿特征保留率 100%, 采样结果准确率 98% 以上, 采样精确率大大高于单纯的二次或三次采样。

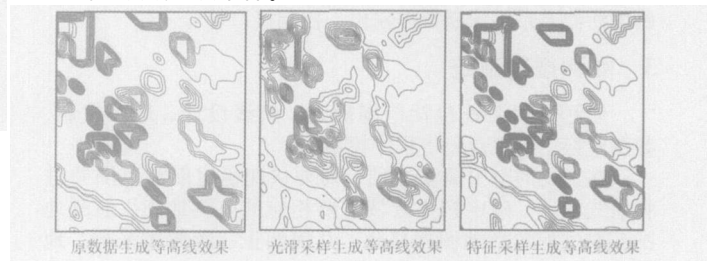


图 6 特征采样效果比较

5.2 DOM 数据处理

DOM 的投影变换也是一个重采样过程, 关键是保持栅格影像的位置准确度和纹理清晰度。保持位置准确的关键是建立原影像与目标影像每一像素的对应关系, 具体过程与前面 DTM 投影转换计算方法一样, 在没有转换参数的情况下需要利用已知控制点进行仿射变换。

建立仿射变换关系需要四个控制点坐标, 使用的公式如下:

$$X = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy$$

$$Y = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 xy$$

式中 x, y 为原影像像素坐标, X, Y 为目标影像像素坐标。

将 4 个控制点的原影像像素坐标和目标影像像素坐标代入仿射变换公式, 建立线性方程, 从而求出 $a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3$, 然后就可以利用仿射变换公式进行 DOM 的投影变化了。

DOM 的纹理采样同样可以使用前文设计的“基于特征的混合采样算法”。具体过程这里不再详细陈述。

6 结束语

基于机载三维激光扫描实时一体化技术的研究是测绘发展的新技术应用研究, 具有广阔的应用前景和巨大的市场空间, 本文通过该系统整体设计及相关模块的应用研究, 为实时一体化测量提供了前中后期的配套模块, 为机载三维激光扫描具体应用提供了详细的应用方案, 为快速精确获取全方位、立体化地理数据提供了技术支持。

参考文献

- [1] 张祖勋. 数字影像定位与核线排列 [J]. 武汉测绘学院学报, 1983, (1).
- [2] 朱长青. 计算方法及其在测绘中的应用 [M]. 北京: 测绘出版社, 1997.
- [3] 邓建中, 葛仁杰, 程正兴. 计算方法 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1987.
- [4] 朱华统, 黄继文. 椭圆大地计算 [M]. 北京: 八一出版社, 2001.
- [5] 江延川. 解析摄影测量学 [M]. 郑州: 解放军信息工程大学测绘学院, 1991.
- [6] 张永生. 遥感图像信息系统 [M]. 北京: 北京科学出版社, 2000.
- [7] 李德仁. 数字摄影测量 [M]. 北京: 测绘出版社, 1991.

observation equation will be morbid if over parameterized. Traditional least squares can't get reliable result. Ridge estimation still has not a good method to determine ridge parameter at present. While, principal component estimation can get precise estimation value of parameter. Finally, this method is used at a test area. The result shows that principal component regression can obtain good result in the different number of parameter; and the result is showed that centering and standardization is very important to improve the precision.

Key words: principal component analysis; ridge estimation; Global position system elevation; polynomial surface fitting

FENG Guang-cai, CHEN Zheng-yan (Department of Geomatic Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

The research and application of integrating the 2D GIS and 3D virtual-GIS in digital city information

Abstract: It was a great leap for human beings using the two-dimensional surface map to expressing the multi-dimensional world in the process of cognizing and changing the nature in the history; and it is also a great leap that we can improve the method of making use of virtual-reality technology expressing and analyzing the real world as we develop the science and technology to a certain level nowadays. Nowadays, 2D GIS and 3D Virtual-GIS each has good qualities and shortcomings. If we combine them together we can make better use of their advantages and avoid their disadvantages. In such a case we can roam about where we want to go and won't lose the way. Based on foregoing principles we carried it out in the BDA 3D-City GIS and now it has been proved to be a good way to use dynamic integrating method in the digital city information application system.

Key words: digital city; spatial information; 2D-GIS; 3D-VGIS; integration of the 2D GIS & 3D VGIS

LIU Dong-qin, XU Wen-zhong, LIN Zong-jian (Chinese Academy of Surveying and Mapping 100039; Beijing KANQ Digital Surveying & Mapping Co. Ltd 100044; Shandong University and Technology, Qingdao 266510)

The discussions on GPS and InSAR data integrating and applying in monitoring subsidence and deformation of mines exploitation

Abstract: The integration of GPS and InSAR data has an important academic meaning. The disadvantages of traditional methods of monitoring deformation and subsidence of mines are described in this paper. The necessity and feasibility of the integration of GPS and InSAR data are also analyzed, and the key problems and technical advantages about the integration are discussed. Some ideas about phase unwrapping algorithm, water vapor and atmospheric delay model, and temporal and spatial models of integration are presented. The characteristics and methods of integration are expounded. Finally, a detailed research scheme is listed.

Key words: GPS; InSAR; data integrating; mining subsidence; phase unwrapping; PWV and TEC model

DU Zhi-xing, YANG Fan-lin, LIU Guo-lin, WEN Xing-shui (College of Earth Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China; Feicheng Mining Industry Group, Feicheng 271601)

The discussion of the supply pre-warning and control of the city land

Abstract: The purpose of the study is to discuss how to use the modern information technology and relative mathematics model to monitor the city land supply and plan management, so as to equilibrium the supply of the land market and optimize the structure of the land being used. Methods of documentation and modeling are employed. The theory and technical method for the city land supplies pre-warning and control is proposed.

Key words: city land; supply; model; predict; control

CHE Xue-wen, YE Jing (Resource Academy, China University of Geoscience, Wuhan 430074, China)

Application of the GIS-based two-step floating catchment area method in measurement of spatial accessibility to hospitals in Beijing

Abstract: It is the traditional methods to use administrative boundaries such as cities as the basic spatial units for calculating sickbed to population ratios and measuring spatial accessibility to hospitals based on these ratios. Such approaches have been criticized for their inability to account for either the spatial variations of population demand and hospital supply within those boundaries or for popu-

lation-hospital interactions across them. The floating catchment area (FCA) method addresses the internal distribution problem by driving population data from a smaller unit, the census tract. The potential cross border patient-hospital interaction is taken into consideration. The case study of spatial accessibility to hospitals is done in Beijing, which reveals some very importance results.

Key words: two-step floating catchment area method; spatial accessibility; Beijing; GIS

LIU Zhao, GUO Su-qiang, JIN Hui-hua, XIE Zhe, WU Xian, ZHU Xiao-dong (Institute of Geo-spatial information, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

The real time integrated photographic survey and data processing based on the airborne LIDAR

Abstract: Combining the research of real time integrated photographic survey based on Airborne LIDAR, this paper analyzes and practices some key processes from several aspects such as system design, aerial photographic planning, air-mapping, ground monitoring, quality measurement and DEM re-sampling. As a result, it provides a complete set of equipment for real-time integrated photographic survey, and a detailed applied plan for the airborne LIDAR. Furthermore, it offers technical support for quick and precise obtain of omnibearing and three-dimensional geographic data. The experiment result shows that the plan fully meets the military real-time geographic data demands.

Key words: LIDAR; MU/GPS; air-mapping planning; interpolation re-sampling

ZHENG Tuan-jie, MAO Jian, GAO De-jun, ZHANG Yun-bin (Xi'an Science Engineering University Xi'an 710048;

The Surveying and Mapping Station of General Staff, Xi'an 710054, China; The Surveying and Mapping Bureau of General Staff, Beijing 10088, China)

The research of the method for comparing the photographs of different aero films

Abstract: The quality of aero-photographs affects the follow-up surveying and mapping production directly. Therefore, evaluating the quality of aero-photographs is very important. In the course of implementing the photogrammetry project, the aero-photographs is evaluated by operators mostly with their experience, this method is much affected by the subjective factor. A new evaluation method put forward in this paper is based on digital test tentatively, which had been applied successfully in the selection of aero-films in Qinghai-Tibet region, 2005. The process of the method is: testing some parameters of several digital images quantificationally or qualitatively firstly, then colligating those parameters by "Rose Map" which obtained from meteorology, and comparing the result finally. The application shows that the method can reflect differences in various aspects effectively and visually, and it is simple, practical, and achievable.

Key words: digital test; aero-photograph film; image quality; rose map

LAO Ming, CHENG Xin-wen, LI Ying-cheng, LI Xue-you, DING Xiao-bo (School of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; China Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

Research on a rough set method for weight confirming in GIS data analysis

Abstract: Firstly, the paper introduces the basic conception of rough set, and combines the importance of attribute data and common weight analysis methods in GIS together. Then, it presents a new method for weight confirming in GIS data analysis based on the theory of Rough Set. Comparing to traditional methods of confirming weight in multi-factors, the new method presented in the paper is based on the data self-adapting, and does not need intervene humanly. Therefore, the method is intelligent and efficient.

Key words: rough set; GIS data analysis; importance of attribute data; weight

LI Wen-jing, WU He-hai (School of Resource and Environment Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

Key Laboratory of Geographic Information System, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

The accuracy analysis of point-point distance calculated by 3D coordinates

Abstract: This paper deduces the accuracy estimation formula of point-point distance calculated by 3D coordinates firstly. Then it puts forward that the relative location between instrument and targets