

设计与开发大规模倾斜影像数据管理工具

黄敏儿¹, 胡翰¹, 杜志强¹, 朱庆^{1,2}

(1.武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079;

2.西南交通大学高速铁路运营安全空间信息技术国家地方联合工程实验室, 四川 成都 611756)

基金项目:

国家自然科学基金项目(41171311)资助; 国家高技术研究发展计划项目(2012AA121305)资助

作者简介:

黄敏儿(1989-), 女, 广东中山人, 硕士, 主要从事倾斜影像管理、信息提取与分析以及地震房屋损毁检测与评估工作。

E-mail:

549372387@qq.com

收稿日期: 2014-05-06

【摘要】多角度倾斜相机已经成为三维数字城市建设的主要数据获取手段。针对倾斜摄影测量特点, 面向海量影像集成处理需求, 综合考虑相机成像模型以及影像关联关系, 设计与实现了一种大规模倾斜影像数据管理工具, 提供了工程管理信息存储、倾斜影像分组浏览、地面覆盖范围计算、目标快速检索等功能。应用实验证明该管理工具能够满足倾斜摄影测量工程管理的实际需求, 有效提高了多模式海量影像数据的检索效率。

【关键词】倾斜影像; 影像管理; 影像数据库; 共线条件方程; 目标检索

Design and Development of Massive Oblique Imagery Management Tools

HUANG Miner¹, HU Han¹, DU Zhiqiang¹, ZHU Qing^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China; 2.Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: Oblique camera has been widely used in 3D reconstruction of city models as the main way to collect the data. For the "Maltese Cross" configuration, a typical oblique camera system holds five cameras bundled in a fixed platform and took images from five different angles. Except for larger coverage obtained by the five cameras, the primary merits of this system is the abundant facades information of the buildings. However, existing software system can not satisfy the requirement of automation and massive data management. In this paper, a massive oblique imagery management tools are proposed and developed, which aims at organizing and storing information, e.g. project management, browsing images, calculating ground coverage and fast retrieval of objects. Large oblique imagery datasets are employed for the experimental analysis. The results proved that the designed tools can satisfy the requirements of oblique imagery management, and substantially enhance efficiency of image retrieval by multi-mode. **Key words:** oblique image; image data management; image database; collinear equation; object retrieval

0 引言

倾斜摄影技术是国际测绘遥感领域近年发展起来的一项高新技术, 通过在同一飞行平台上搭载多个角度的相机, 可以同时从垂直、倾斜等多个不同的角度获取同一目标的影像, 突破了传统航空摄影主要从垂直视角拍摄的局限。倾斜影像(oblique image)是指由一定倾斜角度的航摄相机所获取的影像, 它

不仅能够真实地反映地物情况, 而且还通过采用先进的POS定位技术, 使得倾斜影像具有精确的地理信息, 极大地扩展了航空遥感影像的应用领域^[1-5]。

随着倾斜摄影测量技术的快速发展, 新型多线(面)阵、倾斜航空数码相机(如ADS40/80, AOS, SWDC-5, PictometryTM等)的应用普及, 与传统立体影像数据相比, 倾斜影像数据呈现出典型的海量特

征, 大规模倾斜影像数据自动化处理过程中数据管理面临新的挑战:

①海量影像数据管理, 与传统立体影像数据相比, 倾斜影像具有多相机模型、多视角、重叠度高等特点, 使同一区域网中的像片数增加了4倍, 使同一个立体像对覆盖区域的影像数目由2幅增加到10幅, 更重要的是使理论上需要两两匹配的立体像对数目增长为原来的45倍, 而且实际应用中考虑到相邻航带之

间的重叠影像，额外增加的需要匹配的像对数目远多于此。这使影像数据的存储、检索、计算等管理应用遇到前所未有的挑战。②多相机模型的倾斜摄影测量自动化处理系统，现有的商业摄影测量软件系统（如Inpho、LPS等），都只针对单相机模型设计，导致无法处理多相机模型、人工交互量巨大等问题，无法满足下视和侧视影像的多片匹配、自动联合空三、最佳纹理搜索等需求，对多相机模型的数据管理提出了新的需求。③影像数据的工程化管理，由于摄影测量处理过程步骤繁多复杂，通常需要多个操作员在多个主机中，于不同时间里分阶段完成任务，这使规范流程化的处理方式^[6]、记录摄影测量处理的阶段状态信息、合并工程信息等成为至关重要的问题。

针对倾斜摄影测量特点，面向海量影像集成处理需求，综合考虑相机成像模型以及影像关联关系，本文设计与实现了一种大规模倾斜影像数据管理的工具，提供影像地面范围计算、高效目标检索、工程化管理以及影像检索等功能。

1 大规模倾斜影像数据管理工具设计

1.1 功能设计

大规模倾斜影像数据管理工具主要包括工程管理、影像处理、影像管理、目标检索四大功能模块，如图1所示。

1) 工程管理。将一个操作员的阶段性任务，作为一个工程进

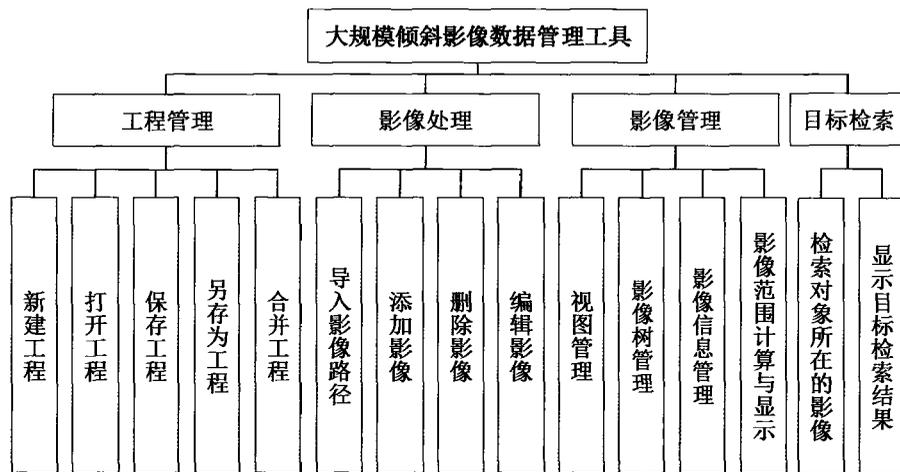


图1 功能结构设计
Fig.1 Design of the Tool functions

行管理，使后续操作者及时了解摄影测量处理的阶段、数据、处理结果、操作员、时间等状态信息，做到有据可依，避免重复劳动，提升任务的独立性、可移植性，提高生产效率。工程管理主要包括新建、打开、保存、另存为、合并等功能点。一个工程对应一个.xml格式的文件，同时指向一个数据库文件(.accdb)。

2) 影像处理。由于航飞的影像有垂直影像和倾斜影像，需要按照五个相机对影像进行分类，并在倾斜摄影测量处理过程中，增删改查影像数据。影像处理主要包括影像的导入路径、添加、删除、编辑等功能点。

3) 影像管理。作为一个影像数据管理工具，必须具备数据的文本与图形的管理方式，既可按航带、按航片名称等文本信息管理影像，也可以通过影像数据本身及其矢量图形等方式管理影像^[7,8]。①视图管理：通过构建不同分辨率的金字塔影像，使用一系列不同详尽程度

的影像来反映地理信息，使用户快速地漫游、缩放、平移、查找感兴趣目标^[7]。②影像信息管理：记录影像名称、路径、显示、图像金字塔、内方位元素计算、外方位元素计算、DTM、正射影像等处理结果与状态信息，使用户实时掌握摄影测量处理流程的阶段状态信息，并控制影像数据的显示，辅助其他功能的实现。③影像树管理：按相机对影像进行分类，使用户对影像数据集的组成一目了然。④影像地面范围计算与显示：主要包括多张影像范围的地图空间显示与单张影像范围的影像空间显示。用户可以通过影像范围，查找、统计、管理、编辑不同航带、不同相机、不同曝光中心等不同分组需求的影像，查看影像的重叠度、空间拓扑关系等，为后续的摄影测量处理流程提供基础数据，满足生产中的实际需要。

4) 目标检索。同一目标存在于多幅影像中，如何快速检索包含此目标的所有影像，成为迫切需要解决的问题。目标检索包含检索对象

所在的影像和显示目标检索结果两个功能点。用户可利用“多边形”工具，在影像上勾画目标对象对应的多边形，然后计算与当前影像重叠并存在多边形框选目标对象的影像，显示查找到的影像名称和路径。再者，可在视图中显示检索结果的影像，并自动利用多边形框选目标对象。

1.2 数据库设计

Access既是一个功能强大的关系型数据库管理系统，也是一个强大的系统开发工具，并且具有界面友好、易学易用、开发简单、接口灵活等特点。更为重要的是，Access的操作简单快捷，无需依赖更多的安装环境，而且具有移动性强的优势，一个.accdb文件就能保存所有的数据，对于中小型的应用系统来说，选择Access可以充分发挥其快速、高效的优势^[9]。大规模倾斜影像数据管理工具选用Access 2010作为数据库平台。

正确设计数据库所包含的表结构是应用程序开发过程中至关重要的一步。由于同一航飞区域的数据，

包含了不同架次、不同条带、不同相机获取的倾斜影像，因此，按照不同相机进行影像分类；同时，同一影像对应多个影像点，影像点与空间点一一对应；更重要的是，对摄影测量过程中建立金字塔、计算内外方位元素、影像配准、密集匹配、生成正射影像、生成点云等影像处理信息进行存储，实时记录操作员在流程化处理中对影像信息的更改，并存储产品信息，将影像、产品、处理信息作为工程信息进行管理。通过对大规模倾斜影像数据管理工具进行全面的需分析，数据库表设计需同时兼顾倾斜影像自身的特点与倾斜摄影测量流程化管理的方式，按照数据规范确定和设计系统所需要的表、表的结构和表间关系，并实施参照完整性，对表的字段、主键及其表关系设计如图2所示，主要包括工程信息、相机信息、投影信息（空间坐标、投影坐标等）、影像信息、影像点信息、空间点信息、产品信息等数据表单。

2 关键技术

2.1 影像所涵盖的地面范围计算

通过影像的地面范围，用户可以查询不同航带、不同相机、不同曝光中心等不同分组需求的影像，对影像管理工作至关重要。倾斜影像相对于地面的倾角大，若运用传统航空摄影测量技术，直接将倾斜影像投影到地面，会造成很大的影像扭曲变形。倾斜影像本身缩放与影像之间转换，存在很多技术上的限制^[9]。本文利用共线条件方程^[10]进行解算，求解影像空间与物方空间的相互关联性，计算影像角点坐标，获取影像范围，在平台上进行显示。

SWDC-5倾斜摄影系统只提供了E相机的外方位元素，A~D相机的外方位元素需通过平台参数（与E相机的相对角度关系和相对位置关系）进行计算。其中，A~D相机与E相机根据3个旋转参数和3个平移参数确定其姿态位置关系。

E相机的外方位元素包含一个角元素确定的旋转矩阵 R 和一个线元素

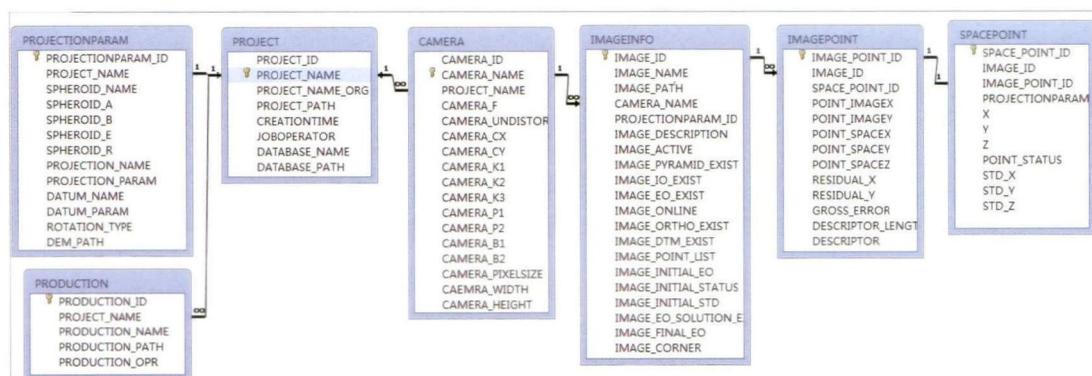


图2 数据库表结构及其关系

Fig.2 The Structure and Relationship of all Forms in Database

P_S 。由E机外方位元素可得E相机像点坐标和物方空间三维点 P 的共线条件方程式如式(1):

$$\begin{aligned} P_E &= (X_E, Y_E, Z_E)^T = R^T (P - P_S) \\ x - x_p + \Delta x &= -f \frac{X_E}{Z_E} \\ y - y_p + \Delta y &= -f \frac{Y_E}{Z_E} \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ \Delta x &= x(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + [p_1(r^2 + 2x^2) + 2p_2 xy] + b_1 x + b_2 y \\ \Delta y &= y(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + [p_2(r^2 + 2y^2) + 2p_1 xy] \end{aligned} \quad (1)$$

式中, P 为物方三维点, X_E, Y_E, Z_E 为在E相机坐标系下的物方三维点坐标, x, y 表示倾斜影像上的像点坐标, $\Delta x, \Delta y$ 表示相机所率定出的 X 方向与 Y 方向的透镜畸变差分量, k_1, k_2, k_3 为透镜畸变差参数, f 为成像时的主距, x_p, y_p 为相机的像主点坐标。

以A相机为例, 由平台参数可以计算一个相对旋转矩阵 R_{AE} 和相对平移矩阵 P_S^{AE} , 则A和E相机摄像机中心坐标的相互转换关系如式(2):

$$\begin{aligned} P_A &= R_{AE}^T (P_E - P_S^{AE}) \\ P_E &= R P_A + P_S^{AE} \end{aligned} \quad (2)$$

可得由A相机的外方位元素推导的共线条件方程, 求解物方三维点 P_A 如式(3):

$$P_A = (X_A, Y_A, Z_A)^T = R_{AE}^T (P - (P_S + R P_S^{AE})) \quad (3)$$

因此, A机的外方位元素角元素由矩阵 $R_A = P R_{AE}$ 确定, 线元素为 $P_{SA} = P_S + R P_S^{AE}$ 。

同理, A~D相机的影像外方位元素和特征点的物方空间点坐标求解如上, 即此获得影像角点坐标, 并在大规模倾斜影像数据管理工具中显示影像所涵盖的地面范围。

2.2 基于空间几何关系的目标检索

在平台上, 用户利用“多边形”工具框选目标对象, 获取目标对象所在的所有影像位置及其路径, 实现基于空间几何关系的目标检索, 提高图形化查询的效率。

基于空间几何关系的目标检索算法流程如下: 通过“多边形”工具获取多边形目标在源影像上的行列号坐标, 利用相机矩阵、旋转矩阵、平移参数等计算得到单应矩阵, 借助图像平面与地面目标平面的这种单应关系, 求解在地表平面上的多边形目标物方坐标, 然后同理利用单应关系, 将多边形的物方坐标投影到目标影像上, 最后获得多边形目标在目标影像上的位置^[11, 12]。

以求解源影像的多边形目标坐标 X_S 与物方空间三维点 m 的过程为例, 首先将源影像的外方位元素转化为CV模式, 求得比例系数 s 、相机矩阵 K 、旋转矩阵 R 以及平移矩阵 t ; 然后求解源影像摄像机投影矩阵 P , 它描述了影像平面和3D物方空间之间的映射关系, $P1 \sim P4$ 为列向量, 如式(4):

$$P = [P1 \ P2 \ P3 \ P4] = sK[R, t] \quad (4)$$

由于已知一个像点和外方位元素, 只能确定该像片的空间方位及摄影中心至像点的射线空间方向, 因此, 利用内插DEM数据确定物方三维点所在地表平面的高度, 推算在某高度 z 处的平面与源影像平面的单

应关系, 设单应性矩阵为 H , 推算如式(5):

$$H = [P1 \ P2 \ z \times P3 + P4] \quad (5)$$

最后根据单应关系, 由源影像的多边形目标坐标点 m 求解物方空间三维点 X 。

$$X = H^{-1} m \quad (6)$$

由于从3D物方空间投影到影像平面具有唯一性, 因此, 直接借助目标影像摄像机投影矩阵 P' 建立的单应关系 H' , 求解多边形目标在目标影像上的像点坐标 m' 。

$$m' = H' X \quad (7)$$

3 大规模倾斜影像数据管理工具实现与应用

本文以Access 2010作为数据库平台, 在Visual Studio2008集成开发环境中采用C++编程语言开发实现了大规模倾斜影像数据管理工具, 并以SWDC-5倾斜摄影系统获取的影像作为实验数据。

为测试大规模倾斜影像数据管理工具的实用性与效率, 本文根据实际需求, 选择三个航飞架次18条航带的6580张影像作为实验数据, 总计926GB。并对两组具有代表性的数据进行测试: ①同一相机不同架次不同航带的所有影像数据; ②同一架次不同航带不同相机的所有影像数据。测试工程管理中信息管理的完整性与可移植性, 影像分组管理的实用性, 地面范围计算的准确性, 影像显示的流畅性, 目标检索的时效性与正确性, 测试结果符合要求, 如图3、图4所示。

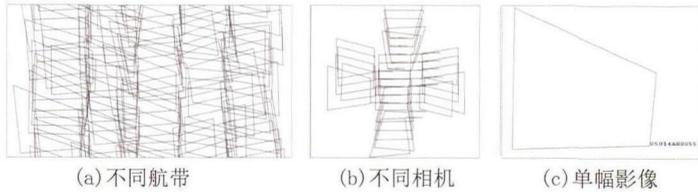


图3 影像覆盖的地面范围
Fig.3 Ground Coverage of Images

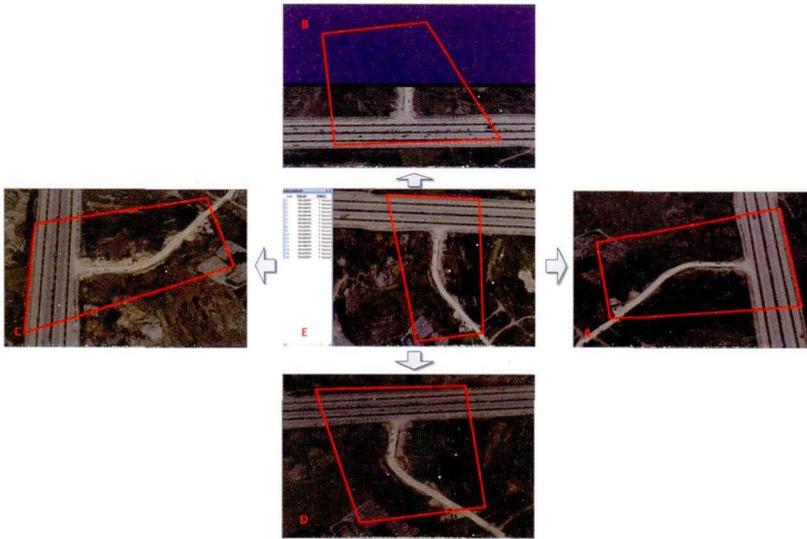


图4 在A-E相机影像上的快速目标检索
Fig.4 Fast Object Retrieval on one bundle of Images

4 结束语

本文针对倾斜影像数据的多相机模型、多视角、重叠度高、信息丰富等特点,分析了倾斜摄影测量过程中的影像管理与应用需求,设计与实现了大规模倾斜影像数据管理工具,建立了高效的、大数据量的、符合摄影测量流程化处理的工程管理机制,同时,提供了倾斜影像的快速浏览、影像地面范围计算与显示以及按航带、按名称、按目标等多模式的目标检索等功能,满足了倾斜摄影测量过程中的影像管理与应用需求,大大提高了影像管理的效率。

参考文献

- [1] GERKE M, KERLE N. Automatic Structural Seismic Damage Assessment with Airborne Oblique Pictometry (C) Imagery [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2011, 77(9SI):885-898.
- [2] 王伟, 黄雯雯, 镇皎. Pictometry倾斜摄影技术及其在3维城市建模中的应用 [J]. 测绘与空间地理信息, 2011, 34(03):181-183.
- [3] 廖法铭, 饶见有, 任念志, 等. 运用三维地理资讯系统整合空载倾斜摄影影像 [C] // 2011年台湾地理资讯学会年会暨学术研讨会. 台大医院国际会议中心, 2011.
- [4] 朱庆, 徐冠宇, 杜志强, 等. 倾斜摄影测量技术综述 [EB/OL]. [201205-355]. [2012-05-22/2013-10-05]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/>
- [5] 侯宇红. 基于全景真三维斜射影像的数字城管应用研究 [J]. 地理信息世界, 2014, 21(1):106-110.
- [6] 党安荣, 贾海峰, 陈晓峰, 等. Erdas imagine遥感图像处理教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [7] 万明英. 影像管理技术在影像导航中的应用 [J]. 影像技术, 2011, 23(4):50-54.
- [8] 李翔. 高分辨率航空影像综合管理信息系统的设计与实现 [J]. 测绘通报, 2009(8):47-49.
- [9] MA J, WANG Y, HAN D. A Unified Framework of Distributed Spatial Database Orienting the Mass Remote Sensing Image Data [C]. 2013 International Conference on Software Engineering and Computer Science, Hong Kong, Atlantis Press, 2013.
- [10] 王佩军, 徐亚明. 摄影测量学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2005.
- [11] HARTLEY R, ZISSERMAN A. Multiple View Geometry in Computer Vision [M]. Cambridge University Press, 2000.
- [12] GERKE M. Dense Matching in High Resolution Oblique Airborne Images [C]. International Proceedings of CMRT 2009, Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information, Paris, France, U. Stilla, F. Rottensteiner and N. Paparoditis, 2009.