

# 自动空中三角测量系统开发及精度分析

李雪萍<sup>1</sup>, 王玉柱<sup>2</sup>

(1. 河南省中纬测绘规划信息工程有限公司 河南 焦作 454002; 2. 河南省地球物理工程勘察院 河南 郑州 450053)

**摘要:** 在传统解析空中三角测量理论的基础上, 运用数字摄影测量、数字图像处理、误差处理等理论, 用 VC++ 开发自动空中三角测量程序的主要功能, 并用本程序对一个实验测区进行空中三角测量处理, 对实验结果做了分析, 最后实践证明, 利用 GPS/IMU 数据辅助空中三角测量, 能达到较高的自动化程度。

**关键词:** 自动空中三角测量; 模型定向; 光束法区域网平差

中图分类号: P231.4 文献标识码: B 文章编号: 1672-5867(2011)05-0272-03

## Development and Accuracy Analysis of Automatic Aerial Triangulation System

LI Xue-ping<sup>1</sup>, WANG Yu-zhu<sup>2</sup>

(1. Henan Zhongwei Surveying Consulting Information Engineering Co., Ltd., Jiaozuo 454002, China;  
2. Henna Academy of Geophysical and Engineering Exploration, Zhengzhou 450053, China)

**Abstract:** Based on the traditional theory of aerial triangulation, applying technologies such as digital photogrammetry, digital image processing, error processing, GPS/INS data processing and so on, this thesis developed the automatic aerial triangulation of the main features by VC++ language. Taking an experiment area, it implemented the aerial triangulation using this program. To the experimental results for analysis, after the automatic orientation of images and aerial triangulation using GPS/IMU data, it has been found that can reach a high degree of automation.

**Key words:** automatic aerial triangulation; model orientation; bundle block adjustment

### 0 引言

摄影测量经历了从模拟摄影测量、解析摄影测量到数字摄影测量的发展过程, 现正处在数字摄影测量的发展阶段。数字摄影测量正向全数字摄影测量和全自动数字摄影测量的方向迈进, 作为其核心的空中三角测量, 也正从传统的内、外业结合的空中三角测量向尽量避免外业的全自动空中三角测量方向努力。GPS/IMU 与传感器的集成, 使空中三角测量向自动化道路上迈出了坚实的一步。不久的将来, 数字摄影测量将越来越依赖于计算机的辅助, 摄影测量工作者的主要工作将转向内业, 并且自动化程度将越来越高。

### 1 系统设计及功能介绍

数字摄影测量系统设计如图 1 所示。

其中各模块的主要功能如下。

#### 1) 测区数据输入

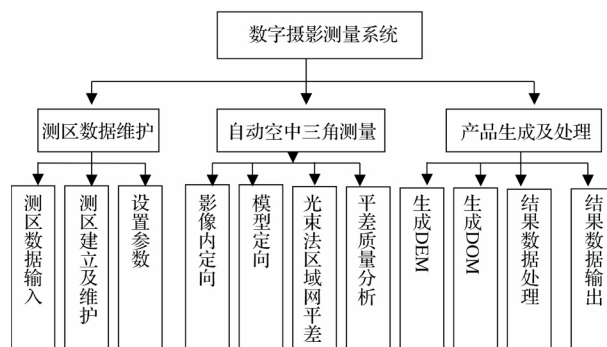


图 1 系统功能模块图

Fig. 1 The function modules of system

将系统外部数据转入系统内进行分析处理, 包括以下信息的输入。

①测区设置信息: 输入测区的基本信息, 包括测区名称, 测区工作目录, 影像列表信息, 飞行比例尺和航高等

收稿日期: 2010-10-25

作者简介: 李雪萍(1983-), 女, 河南开封人, 助理工程师, 学士, 主要从事测绘 3S 技术的管理与研究工作。

测区基本信息;

②相机元素输入:输入当前影像的摄影相机参数,包括相机焦距和像主点坐标及框标坐标;

③控制点信息的输入:输入校正所用的地面控制点坐标。

#### 2) 影像内定向

利用影像上框标的理论检校坐标与其在影像上的定位坐标计算扫描坐标系与像片坐标系间的变换参数,实现将扫描所得影像的坐标从扫描坐标系转换到像片坐标系,系统提供人工定位框标点和自动提取框标点。

#### 3) 模型定向

提供航空立体像对的相对定向和绝对定向解算,计算出立体像对中像片的外方位元素,对于卫星影像立体像对可跳过该步处理,它实现以下功能:

①相对定向:系统在影像上自动提取特征点,然后对这些点自动匹配同名点,在匹配过程中用选权迭代法实现粗差的自动剔除,然后根据获取的同名点对计算像对间的定向系数。

②绝对定向:绝对定向是恢复像对相对定向时建立的立体模型相对于地面的绝对位置,系统提供地面控制点的半自动提取以及定向参数的解算。

#### 4) 光束法区域网平差

根据少量已知地面控制点坐标以及连接点,恢复摄影时的投影光束,按光束法平差模型对测区进行整体解算,求得测区内加密点的地面坐标最或然值和影像内、外方位元素最或然值,并对解算结果进行质量分析。主要实现的功能如下:

①准备平差起始数据:将测区内的自由航带网,通过空间3维相似变换转换到统一的地面摄影坐标系中,这样,测区内所有影像就构成一个松散区域。同时,可以获得影像外方位元素概略值以及加密点地面坐标的概略值,为后续平差解算准备起始数据。

②平差解算:根据光束法区域网平差的数学模型——共线方程式,组织误差方程,形成法方程式,并用循环分块约化的方法解算法方程式,求得未知数以及观测值改正值。若考虑验后方差分量,可通过验后方差重新调整各类观测值的权,并重新进行平差解算,使观测值的改正值更符合实际情况。平差解算完毕后可以获得未知数(包括影像外方位元素、加密点坐标,或者附加参数、GPS偏心分量、GPS漂移分量等)的最或然值以及观测值的改正值。

③平差质量分析:由未知数的协因数阵 $Q_{xx}$ ,可以分析各未知数的解算精度。利用 $Q_{xx}$ 可以求得可靠性矩阵 $Q_{vv}P$ ,有了可靠性矩阵 $Q_{vv}P$ ,即已知各观测值的多余观测分量,可以分析各观测值的可靠性,可定位可能含有粗差的观测值。

#### 5) 生成数字地面模型

利用解算的外方位元素结果,使用几何成像模型,解算出影像重叠区的数字地面模型数据。

#### 6) 生成正射影像地图

根据正射影像参数(包括生成的正射影像文件名,正射影像的地面坐标范围,生成正射影像的地面分辨率,正射影像比例尺,输出设备的分辨率,生成过程中的影像采样方法等),按照几何成像模型进行微分纠正,生成正射影像图。

## 2 实验结果

### 2.1 航空像对的自动定向

航空影像立体像对的相对定向恢复了像对中两幅影像的位置关系,是建立航空影像立体像对的第一步,本系统采用Forstner算子提取特征点,然后采用基于金字塔影像的多级窗口匹配法获取同名像点的方法实现了像对的自动相对定向。

我们采用某地区不同地形状况的像对模型进行试验,其中模型1成像地区为丘陵,模型2成像地区包括大片的水体,在进行处理时采用同样大小的匹配窗口,除了相对定向必需的内定向参数外,不提供其他的先验信息,得到的结果见表1。

表1 像对自动相对定向结果比较

Tab.1 The comparison between the automatic relative orientation results

	得到的同名点个数	上下视差最大值/m
模型1	92	0.000 087
模型2	75	-0.003 037

相对定向处理主要消除左右影像间的上下误差,因此同名点间的上下视差从一定程度上可以评价相对定向的结果好坏,从表1中的结果来看,对成像地区地物特征丰富的影像,自动相对定向可以取得较好的结果;而对于影像上存在大片的水域或是地物特征贫乏的情况,自动相对定向的结果并不可靠,需要人工选取一定的初始点定位,模型自动相对定向的自动获取的同名点对如图2所示(图中蓝色点为特征点及其同名点):

### 2.2 光束法区域网平差

在提取了连接点后,就可以执行区域网平差模块,来获得测区内影像的内、外方位元素,以及加密点的地面坐标,同时也可对观测值进行改正并定位含有粗差的观测值。光束法区域网平差的自动化程度高,只要用户设置了区域网平差的设置项,区域网平差就可以自动完成。在实际作业中,测区的情况是复杂多变的,因此,需要合理设置测区信息。下面是对一个 $3 \times 3$ 的小测区所作的区

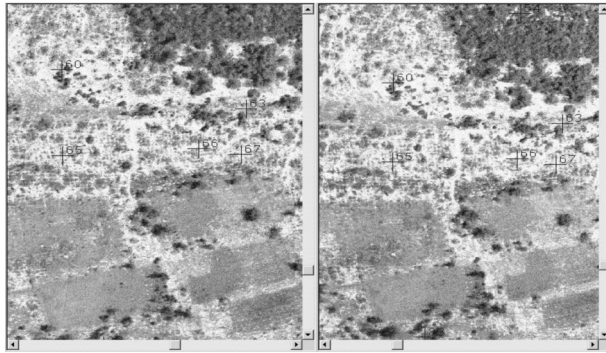


图 2 立体像对自动定向所得同名点

Fig. 2 The acquired matching points by automatic orientation of image pair

域网平差结果 略作说明。

2.2.1 实验测区

测区概略图如图 3 所示。测区包含 3 条航带, 每条航带 3 张影像, 共 9 张影像, 影像为幅幅式影像。测区控制点布局符合摄影测量规范, 测区 4 角点布设平高控制点, 测区内均匀布设高程控制点。

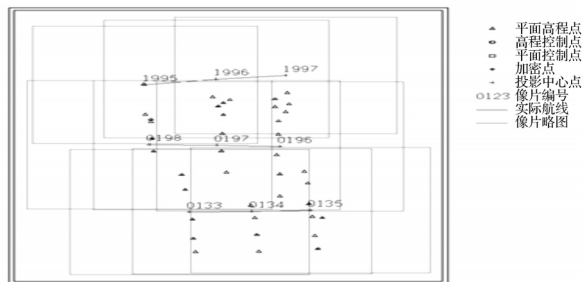


图 3 测区影像、控制点布局图

Fig. 3 The distribution map of images and control points in surveying area

2.2.2 实验方案

1) 常规的光束法区域网平差

由于地面控制点数量充足, 我们将地面控制点坐标作为真值, 进行常规光束法区域网平差。

2) 附加参数的光束法区域网平差

在常规的光束法区域网平差的基础上, 我们选取 12 参数的 Ebner 模型, 进行带附加参数的自检校的平差。

3) GPS/IMU 辅助光束法区域网平差

在带附加参数的基础上, 我们将 GPS/IMU 量测的摄站坐标和姿态作为虚拟观测值, 一起参与平差解算。由

于有 GPS/IMU 数据辅助空中三角测量, 我们减少地面控制点的数量, 采取 4 角布设平高控制点的稀疏布点。

2.2.3 实验结果

对实验测区, 分别按 3 种实验方案进行区域网平差对地面进行空三加密, 得到的加密精度统计结果见表 2。

表 2 实验测区光束法平差结果 (误差单位: 米)

Tab. 2 The bundle block adjustment results of experimental area (error unit: m)

光束法平差	方案 1	方案 2	方案 3
$M_X$	0.005 632	0.006 385	0.006 386
中误差 $M_Y$	0.018 867	0.019 936	0.019 936
$M_Z$	0.022 508 0	0.025 471	0.025 471
最大误差 $X$	0.136 058 0	0.125 631	0.125 672
$Y$	1.057 900 0	1.024 053	1.024 054
$Z$	0.771 157 0	0.775 661	0.775 655

3 结束语

1) 从所得的平差结果可以看出, 3 种平差解算的精度基本一致,  $X$  的中误差在 6 mm 左右,  $Y$  的中误差在 20 mm 左右,  $Z$  的中误差在 25 mm 左右, 基本符合实际情况。

2) 方案 2 和方案 1 的解算结果基本相同, 原因是因为在自动提取连接点后, 我们对连接点做过编辑, 基本排除了连接点的误差。此时, 附加参数对系统误差的补偿不是非常明显, 但我们还是可以看见  $X, Y, Z$  方向上的最大误差有所减小。

3) 方案 3 的结果能达到与方案 1 和方案 2 相当的精度, 这充分说明在地面控制点稀疏的情况下, GPS/IMU 辅助空三加密能得到和常规空中三角测量相同的精度。

参考文献:

[1] 朱肇光, 孙护, 崔炳光. 摄影测量学 [M]. 北京: 测绘出版社, 1994.  
 [2] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学 [M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1997.  
 [3] 王之卓. 摄影测量原理 [M]. 北京: 测绘出版社, 1979.

[编辑: 宋丽茹]