

文章编号:0494-0911(2012)02-0056-03

中图分类号:P231

文献标识码:B

自稳定双拼相机影像拼接技术

刘凤英,王 冬

(山东科技大学 测绘科学与工程学院,山东 青岛 266510)

The Self-stablized and Dual-combined Camera Image Mosaic Technology

LIU Fengying, WANG Dong

摘要:介绍自稳定航测双拼数码相机,并详细论述其影像拼接的关键技术,主要包括相机检校、影像水平纠正、子影像间相对定向和虚拟影像拼接,最后对虚拟影像拼接误差进行分析。采用自稳定双拼相机进行低空摄影测量,能达到 1:1 000 大比例尺航测成图的精度要求。目前,该项技术已经成功应用于地形图测绘、三维建模、区域规划等实际工程项目中。

关键词:自稳定双拼相机;相机检校;影像拼接;虚拟影像;低空摄影测量

一、引言

目前,国内外用于航测的低空无人飞行器大都采用单个数码相机作为其影像获取的主要传感器,但获取的数字影像存在像幅小、数量多、基线短、精度低等一系列问题。

多拼相机是将两台以上的单焦距相机,依据它们的成像大小、焦距、摄影距离、用途等条件按一定位置和姿态组合在一起,经专门的软件拼接成一个虚拟中心投影的幅面较大的数码影像,以提高摄影范围、减少影像数量、增大摄影基线,从而达到高效、低费用、高量测精度的目的。

自稳定双拼相机主要是针对当前低空无人飞艇和测绘遥感应用中存在的一些实际问题,综合性地对硬件和软件进行优化后而设计开发的一套航测相机,具有成像像幅大、摄影基线长、成像数量少、后续处理时间短、重量轻等优势。本文对外视场拼接的双拼相机生成大幅面虚拟影像进行了研究,实现了图像处理技术和摄影测量技术的有效结合。

二、自稳定双拼相机

自稳定双拼相机选用了两个佳能 EOS 5D (4368 像素×2912 像素)单反数码相机和两个焦距为 24 mm 的佳能镜头,且两相机采用内倾式拼接模型进行外视场拼接。综合考虑相机间距和倾角对像片重叠度、虚拟有效像幅和影像拼接误差的影响,设计两相机的间距(即相邻两像片投影中心之

间的距离)为 0.13 m;倾角(即镜头沿中心轴线方向倾斜的角度)为 $16^{\circ}30'$;两相机像片重叠度为 33%;虚拟有效像幅的大小为 4320 像素×5332 像素。

自稳定双拼相机使用了双轴稳定平台,遥感设备则安装在该稳定平台上(如图 1 所示)。这保证了摄影时数码相机姿态的稳定并能保持垂直摄影姿态,实现了对遥感设备的姿态控制,便于获取清晰、稳定的遥感影像,以满足后续摄影测量处理的要求。

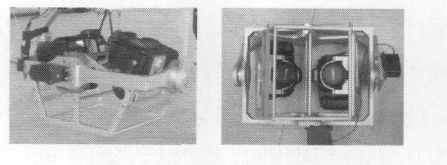


图 1 自稳定双拼相机

三、影像拼接关键技术

自稳定双拼相机影像拼接的基本原理是:首先对单相机和双拼相机进行检校,根据检校参数对单幅数码影像进行畸变差改正;然后将倾斜像片纠正成水平像片,对水平像片重叠区域内的影像进行特征匹配,并利用匹配得到的同名点对各子影像进行内部相对定向,求取各子影像间精确的相对外方位元素;此后利用这些外方位元素将两子影像投影到虚拟水平面上;最后将子影像拼接成一幅符合中心投影的虚拟影像。其成像模型如图 2 所示。

1. 相机检校

相机检校主要是利用二维或三维高精度的控制点和共线方程,通过最小二乘平差确定量测相机

收稿日期:2011-04-12

基金项目:山东科技大学“春蕾计划”(2010AZZ005);山东科技大学 2010 年“群星计划”(QX1020)

作者简介:刘凤英(1980—),女,山东菏泽人,硕士,实验师,主要从事低空摄影测量研究及应用工作。

和非量测相机的焦距、主点位移、物镜畸变等参数,以供后续的摄影测量处理使用。由于机械设计和制造存在误差,因此会导致两相机并不能严格按照设计参数完成拼接,所以必须对组合相机进行检校,以获取双相机之间的相对外方位元素,并在后期影像拼接处理中作为初始值参与运算。相机检校的精度直接关系到影像拼接的几何精度和影像后期的摄影测量处理^[1-2]。

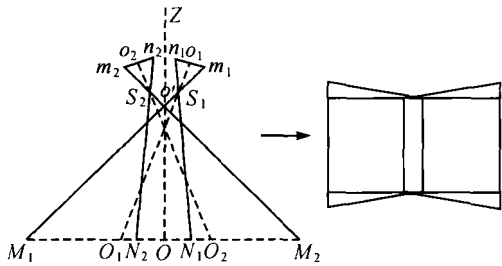


图2 双拼相机内倾式拼接成像模型

双拼相机的检校首先要对每台相机单独进行检校,然后测定各相机间的相对外方位元素。相机一旦固定,两相机的相对位置就确定下来,每个相机相对于虚平面坐标系的外方位元素也就确定下来。将固定好的相机对检校场进行拍照,利用空间后方交会的原理求取两相机拍摄时的外方位元素,然后求取两相机对虚平面的相对外方位元素^[3-5]。本文采用了基于多片空间后方交会的 CCD 相机检校方法,检校的精度达到 0.3 个像素以内^[1]。

2. 影像畸变差改正与水平纠正

在获取高精度畸变参数后,须将原始影像根据畸变公式逐像元地进行畸变差改正,以得到主点偏移和镜头畸变差均为零的理想影像,为后续摄影测量处理提供方便^[6]。

多面阵相机是基于多投影中心进行拍摄的,而要将多中心的影像拼接成一幅单中心的影像就必须进行线元素纠正,但这在理论上是是不可能的。因此,为了能够拼接构建一张单中心的虚拟影像,只能将地面假定为一平面进行水平纠正^[4]。式(1)就是原始影像和虚拟(水平)影像之间的坐标转换公式。

$$\left. \begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(x_0 - X_1) + b_1(y_0 - Y_1) - c_1f_0 - c_1Z_1}{a_3(x_0 - X_1) + b_3(y_0 - Y_1) - c_3f_0 - c_3Z_1} \\ y &= -f \frac{a_2(x_0 - X_1) + b_2(y_0 - Y_1) - c_2f_0 - c_2Z_1}{a_3(x_0 - X_1) + b_3(y_0 - Y_1) - c_3f_0 - c_3Z_1} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, (x, y) 为地面点在原始影像上的坐标; (x_0, y_0) 为相应点投影到虚拟影像上的坐标; $a_i, b_i, c_i (i = 1,$

$2, 3)$ 是根据组合相机检校获取的相对外方位元素中的角元素计算出来的方向余弦值; X_1, Y_1, Z_1 是组合相机检校结果中相对外方位元素中的 3 个线元素。通过计算虚拟影像上整像素点对应的原始影像上的坐标,进行重采样就可获得虚拟水平影像。

3. 影像匹配

如图 3 所示,两张像片投影后的重叠区位于 $P_0P_1P_2P_3$ 的矩形区域内。分别提取两张像片位于重叠区域的子影像,然后在提取的子影像范围内进行特征点的匹配。实际提取子影像时,由于初始姿态角不是非常准确,重叠区域的范围会比计算值有所放大。

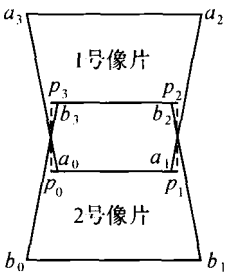


图3 计算重叠区域

影像特征可以分为点状特征、线状特征和面状特征。本文采用 Forstner 算子来提取特征点。该算子通过计算各像素的 Roberts 梯度和一个像素 (c, r) 为中心的一个窗口的灰度协方差矩阵,在影像中寻找尽可能小而接近圆的误差椭圆点作为特征点;通过计算各影像点的兴趣值并采用抑制局部极小点的方法来提取特征点;在重叠区域内,利用特征点进行二维影像搜索,寻找同名像点^[7]。

4. 子影像间相对定向

从两个摄站对同一地面摄取一个立体像对时,立体像对中任一点的两条同名光线都相交于该点,即存在同名光线对对相交的现象。如果保持两张像片之间的相对位置和姿态关系不变,将两张像片整体移动、旋转和改变基线的长度,同名光线对对相交的特性并不发生变化。相对定向就是以同名射线对对相交即完成摄影时 3 线共面的条件作为求解基础的^[8]。

子影像间的相对定向也是依靠各子影像重叠区域内的同名点来进行求解的。由于组合相机影像相互间重叠度相对较小,在很多情况下,重叠区域影像的信息贫乏,而且短基线的相对定向本身就是摄影测量解算的一个难题,为了提高影像相对定向的效果,最好能够保证重叠区最外围存在特征点^[3]。在进行最小二乘解算时,要不断地根据同名

点视差的大小剔除粗差点。根据虚拟片匹配得到的特征点,必须反投到原始像片上。

5. 影像拼接与误差分析

组合相机的子影像经过投影变换后统一到了虚拟片的坐标系统中,此时子影像间的镶嵌存在查找镶嵌线的问题。但双拼相机的子影像是在同一个时间曝光,子影像间色彩的差异非常小。本文利用影像重叠区的中心线作为接边线,采用基于重叠区影像的拼接缝消除方法来解决这个问题。它是一种加权平均法,根据多图像平均原理,使两子区域的影像叠加,以达到平滑的效果。然后计算虚拟有效像幅的面积,裁切掉 GSD 变化倍率超限的部分,得到满足摄影测量要求的虚拟有效像幅。影像拼接示意图如图 4 所示。

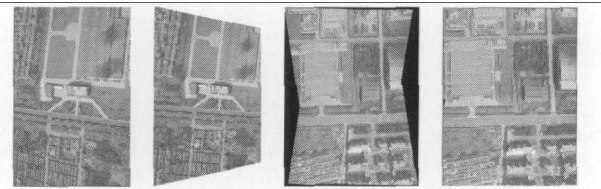


图 4 影像拼接示意图

$$\left. \begin{aligned} dx &= \frac{f_0}{H(H-\Delta h)}dX_0 = \frac{f_0}{H(1-\Delta h/H)}dX_0 \\ dy &= \frac{f_0}{H(H-\Delta h)}dY_0 = \frac{f_0}{H(1-\Delta h/H)}dY_0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式(2)中,dX₀、dY₀ 分别为航向和旁向镜头间距的一半。从式(2)中可以看出,影响拼接误差的因素包括:相机间距 dX₀、dY₀;虚拟相机的焦距 f₀;航高 H;地面起伏高差 Δh。其中相机间距与拼接误差成正比。

根据图像拼接的经验,为了保证图像拼接的质量,图像拼接的误差不能超过 0.3 个像素^[3]。以设计的双拼相机为例,相机焦距为 24 mm,相机间距为 13.6 cm,当飞行高度为 300 m,地面高差 Δh/H=0.2 时,拼接误差为 0.17 个像素;当飞行高度为 200 m,地面高差 Δh/H=0.3 时,拼接误差达到 0.44 个像素。相机固定好之后,拼接误差只与地表起伏和航高有关。

四、试验与精度分析

为验证双拼相机影像拼接模型是否能满足工程应用精度要求,2009 年 11 月份笔者采用该双拼相机对山东科技大学青岛校区和高密地区进行了低空摄影测量试验。具体实验情况如表 1、表 2 所示。

试验数据结果表明,采用自稳定双拼相机进行低空摄影测量时,影像拼接后的大幅面虚拟影像能够满足 1:1000 大比例尺航测成图精度要求,作业效率和高程精度得到了明显提高。

表 1 相机和航摄参数

镜头焦距	(佳能)24 mm	像元大小	8 μm × 8 μm
虚拟像幅幅面大小	4320 像素 × 5332 像素	视场角	88° × 73°
飞行高度	300 m	地面分辨率	11 cm
旁向重叠度	50%	航向重叠度	80%
航带间距	266 m	曝光间隔	86 m

表 2 高密空三加密精度分析

高密试验区	ΔX	ΔY	ΔZ
像控点残差中误差(22 个点)	±0.156	±0.208	±0.179
检查点残差中误差(12 个点)	±0.114	±0.107	±0.121

五、结束语

应用自稳定双拼相机进行低空摄影测量,通过影像拼接技术获取大幅面的虚拟影像,有效增大了成像像幅和摄影基线的长度,提高了作业效率和几何精度,达到了 1:1000 大比例尺航测成图的精度要求。目前,该项技术已经应用于大比例尺地形图测绘、城市规划、三维建模、地籍调查等领域,达到了规范精度要求。

参考文献:

[1] 王冬. 基于多片空间后方交会的 CCD 相机检校[D]. 青岛:山东科技大学, 2003.

[2] 周国香. UAV 载多面阵数码相机拼接技术的研究[D]. 青岛:山东科技大学, 2009.

[3] 刘召芹. UAV 载特轻小型组合宽角数字相机系统研究[D]. 青岛:山东科技大学, 2008.

[4] 王留召. 小型数字航空摄影测量系统[D]. 昆明:昆明理工大学, 2006.

[5] 林宗坚. 数码相机的畸变差检测研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2005, 30(2): 121-125.

[6] 李健, 刘先林, 万幼川. SWDC-4 数码航空相机虚拟影像生成[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2008, 33(5): 450-453.

[7] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1997.

[8] 林君健, 苍桂华. 摄影测量学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.