

环月遥感立体影像构建的几种模式比较

林宗坚¹ 殷礼明² 葛之江²

(1 中国测绘科学研究院 地理空间信息工程国家测绘局重点实验室,北京 100039)

(2 中国空间技术研究院,北京 100094)

摘要 通过对环月遥感立体影像构建可能被采纳的几种模式比较,从理论上分析卫星航高、立体构像基线、影像分辨率、平面测量精度、高程测量精度诸因素间的关系。提醒注意,当保持卫星高度,用指定面阵相机作正直摄影时,提高影像分辨率却不能提高高程量测精度的事实。提出了使用双相机倾斜摄影模式提高高程量测精度的建议。

关键词 月球探测 环月遥感 立体影像 精度分析

中图分类号:V443.5 **文献标识码**:A **文章编号**:1673-8748(2007)01-0069-05

Comparative Analyses of Stereo Imaging Modes in Remote Sensing Around the Moon

L IN Zongjian¹ YIN Liming² GE Zhijiang²

(1 Chinese Academy of Surveying & Mapping, Beijing 100039, China)

(2 China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: The modes for obtaining remote sensing stereo imagery around the moon are compared. The relationship among measuring precisions of horizontal position and height, satellite orbit height, length of base line and special resolution is analyzed. It should be noted that the height measuring precision can not be improved by higher resolution if the satellite orbit height and the parameters of CCD camera keep no change. For improving the height measuring precision, a mode of inclined imaging by using two CCD cameras is proposed.

Key words: lunar detection; remote sensing around the moon; stereo imaging; precision analyses

1 引言

探测月球是人类深空探测的第一步。环月遥感是我国探测月球的第一步。测绘月面地形是环月遥感的首期主要任务之一。月面地形是后续登月探测,建立月球观测站和勘查月球资源等活动不可缺少的基础信息。根据几十年月球探测和地球卫星遥感积累的经验,目前可用于环月遥感测绘月面地形的的方法有:(1)光学立体成像法;(2)激光扫描仪测高与光学影像平面测量相结合的方法;(3)干涉合成孔

径雷达(INSAR)三维测量法。本文仅限讨论第一种方法中利用环月卫星装备面阵 CCD 相机获取月面立体影像的几种构像模式的技术性能比较。

2 环月遥感的技术条件

为讨论问题方便,假定环月遥感有关技术条件如下。

环月卫星轨道:轨道高度 200km \pm 25km
轨道间隔 40km
轨道倾角 $90^\circ \pm 5^\circ$

收稿日期:2006-01-26;修回日期:2006-07-01

作者简介:林宗坚(1942-),男,教授,博士生导师,原中国测绘科学研究院院长,从事摄影与遥感和 GIS 研究工作。

可用传感器:为使问题鲜明,不失一般性,以 $1k \times 1k$ 和 $5k \times 5k$ 像元的两种 CCD 面阵相机为例。像元 $14\mu m \times 14\mu m$ 。

轨道定位:星历表 $\pm 10m$ (轨道测量精度)

姿态量测:星敏感相机 $\pm 9 (1)$

镜头主距 $f = H \frac{D_{\text{pixel}}}{D_{\text{land}}} = 200(km) \frac{14\mu m}{\text{分辨率}}$

据此可以计算出影像幅宽为 $50km$ 、 $100km$ 、 $200km$ 时,相应的光学系统参数见表 1。

表 1 $50km \sim 200km$ 幅宽对应的光学系统参数

Table 1 Optical parameters in $50 \sim 200km$ photography range

幅宽/km		50	100	200
1k \times 1k	分辨率/m	50	100	200
相机	主距/mm	56	28	14
5k \times 5k	分辨率/m	10	20	40
相机	主距/mm	280	140	70
对角方向像场角		$10^{\circ}05' \times 2$	$19^{\circ}28' \times 2$	$35^{\circ}16' \times 2$
基线方向像场角		$7^{\circ}07' \times 2$	$14^{\circ}03' \times 2$	$26^{\circ}34' \times 2$

3 几种模式的比较分析

在确定上述基本技术条件的情况下,可能采取的几种立体构像模式比较分析如下。

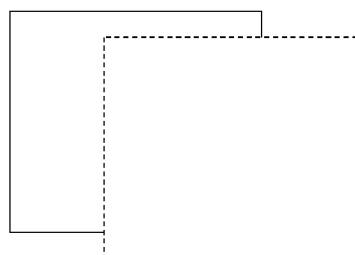


图 1 满足标准重叠率 60 %

Fig. 1 Overlapping in 60 %

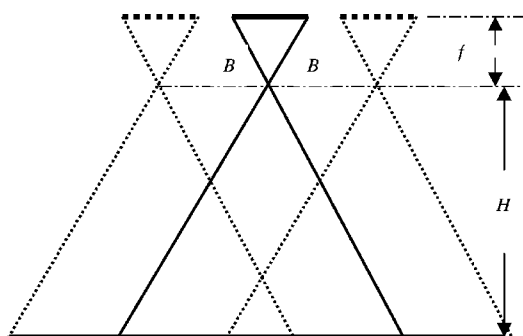


图 2 相邻两立体像对组成的三度重叠

Fig. 2 Three levels of overlapping between neighboring stereo images

(1) 传统航摄模式

按传统航摄模式^[1],保持 60 % 航向重叠如图 1, 20 % 三度重叠如图 2,则可计算出不同分辨率要求的航高与基线设计值。图 2 中 B 为基线, H 为航高, f 为主距。

表 2 表示了在 $200km$ 轨道高度,不同分辨率所对应的幅宽、基线及基高比的关系。如果采取邻航立体模式,则相当于表 2 中基线等于 $40km$ 的情况。

表 2 $200km$ 轨道高度时,两种相机不同分辨率所对应的幅宽、基线及基高比的关系

Table 2 Photograph range, base line length and base to height ratio in different resolution of the two cameras in $200km$ high

分辨率/m	幅宽/km	基线/km	基高比
50/10	50×50	20	1:10
100/20	100×100	40	1:5
200/40	200×200	80	1:2.5

按传统航测理论,可以分析基高比对高程精度的影响如下。

设 h 为量测点高出基准面的高程, P 为归化到基准面的视差值, dh 为高程测量误差, dP 为视差的量测误差,由图 3 可得到基高比对高程量测精度影响的公式:

$$dh = \frac{H}{B} dP = \sqrt{2} \frac{H}{B} dX \quad (1)$$

式(1)中, dX 为视差量测的误差(归化到地面尺寸), B/H 为基高比。

就目前立体影像自动匹配处理的经验,面阵 CCD 相机相当于传统航摄框幅模式,影像可匹配至 0.1 像元,则上述各种分辨率对应的平面与高程精度见表 3。

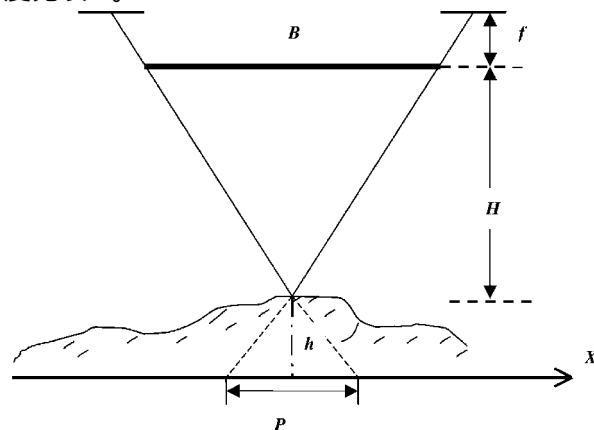


图 3 基高比对高差精度影响的几何关系

Fig. 3 Geometric relation of the height accuracy with the base-height ratio

表 3 面阵 CCD 相机按传统航摄模式的平面
与高程量测精度

Table 3 Planary and vertical accuracy of CCD array camera in
traditional photographic model

幅宽/km	50 ×50	100 ×100	200 ×200
基高比	1:10	1:5	1:2.5
1k ×1k 相机	d X / m	5	10
	d h / m	70.7	70.7
5k ×5k 相机	d X / m	1	2
	d h / m	14.1	14.1

有趣的是:在确定环月卫星轨道高度为 200km 及使用某种尺寸的 CCD 面阵相机时,在同一种模式下,无论以哪种分辨率构像,其高程量测精度保持不变,此两例中为 70.7m 或 14.1m。在此模式下,提高测量精度的唯一办法是使用高分辨率相机。

归纳可见,这种模式的优点是框幅式影像质量高,不存在线阵影像的行间波动,定向与匹配精度比较高;缺点是基高比小,限制了高程量测精度。

(2) 单面阵抽取三线阵模式(伪三线阵)

单面阵抽取三线阵模式(伪三线阵)是在 1k × 1k 或 5k ×5k 像元的 CCD 面阵相机的画幅上,等间隔选取中央和边缘三条线阵作成像单元(如图 4 所示)。

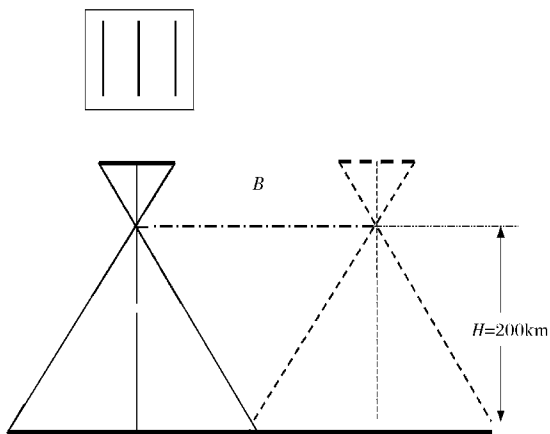


图 4 单面阵抽取三线阵模式

Fig. 4 Three lines sensor taking from CCD array

由于线阵扫描成像存在扫描线间不同的外方位元素影响,在没有采取特殊处理措施的情况下,其影像匹配精度一般只达 1 个像元,因此依据公式(1)可以算出各种分辨率对应的和值(见表 4)。可以得出:在确定 200km 航高和使用 1k ×1k 和 5k ×5k 像元 CCD 面阵相机时,在同一种相机模式下,无论以哪种分辨率构像,其高程量测精度保持不变,为 283 m 或 56.6m。很显然,高程量测精度较面阵模式的结果要差很多。

表 4 采用伪三线阵模式时,各相机的平面
与高程量测精度

Table 4 3D accuracy of false three lines sensor

幅宽/km	50 ×50	100 ×100	200 ×200
基线/km	50	100	200
基高比	1:4	1:2	1:1
1k ×1k 相机	分辨率/m	50	100
	d X / m	50	100
	d h / m	283	283
5k ×5k 相机	分辨率/m	10	20
	d X / m	10	20
	d h / m	56.6	56.6

规律依然是:对于同一个相机,高程量测精度不随分辨率变化,但高分辨率有利于提高平面精度。

归纳可见,这种模式比第一种模式改善了基高比条件,但是却因线阵影像受平台稳定性影响,致使相邻行影像存在位移噪声(疑义度),因而降低了立体影像匹配精度,亦即降低了高程量测精度。

假设环月遥感平台稳定度达到与 SPOT 卫星相同的水平,根据 SPOT-5 卫星的经验:基高比 1:1,基线方向分辨率为 10 m,高程精度为 14 m,与上面的分析相当。

(3) 单面阵仿 LMCCD 模式

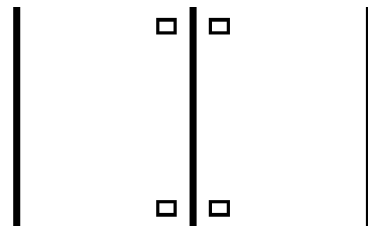


图 5 三线阵 LMCCD 模式

Fig. 5 Three lines sensor with LMCCD

王任享院士曾提出 LMCCD 模式^[2],改善了三线阵立体构像的性能(见图 5)。其基本原理是,在中间线阵的端点两侧各增设一对小面阵,此小面阵的尺寸是以覆盖星上惯性测量单元采样间隔内该中间线阵所扫描的地面影像的两端像元,因而可以利用小面阵获取的影像来改正由于姿态抖动引起的线

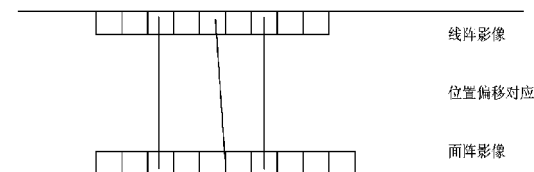


图 6 利用小面阵获取的影像修正线阵
CCD 像元偏移影响的原理示意图

Fig. 6 Line sensor image calibration with the
small aerial sensors

阵 CCD 像元偏移的影响,提高线阵扫描图像的配准精度。具体修正原理如图 6 所示。

受此思想的启发,在伪三线阵模式的基础上,可提出单面阵仿 LMCCD 模式(如图 7 所示)。

通过线阵影像与两端小面阵影像的匹配,求解姿态测定间隔中的每行影像的倾斜度,从而提高线阵影像构建空中三角网的方位元素精度,并通过特殊处理,降低影像行间噪声。

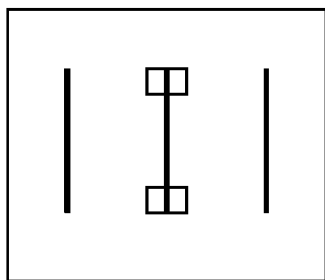


图 7 单面阵仿三线阵 LMCCD 模式

Fig. 7 Single CCD array sensor with LMCCD

估计这种方法可使平面精度 dX 接近到 0.1 像元,因而使表 4 所列的高程精度 dh 达 28 m 和 5.6 m。

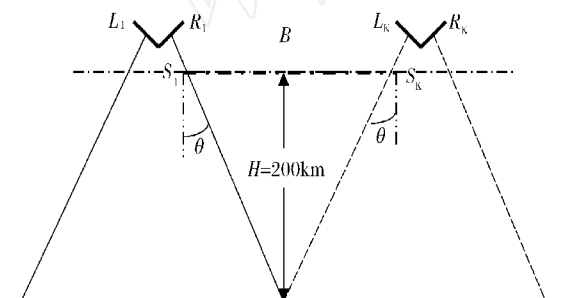


图 8 双相机倾斜摄影

Fig. 8 Two leaning cameras photography

(4) 双相机倾斜摄影模式(见图 8)

以上几种方法的一个致命弱点是基高比不良,导致高程量测精度偏低。为解决此问题,可采用双相机倾斜摄影模式。如图 8 所示,两台面阵 CCD 相机,各自向前(右)和向后(左)倾斜一个固定角度,使得第一个摄影站 S_1 的前倾像片 R_1 与第 K 摄影站 S_K 的后倾像片 L_K 构成立体像对。由上图可见,这时的基线 B 与航高 H 之比为

$$\frac{B}{H} = 2 \tan \theta$$

不失一般性,可取 $\theta = 26^\circ 34'$, 则 $\tan \theta = 0.5$

$$\frac{B}{H} = 1 \text{ 即 } B = H = 200 \text{ km}$$

考虑到不同分辨率相机采用不同的主距和幅宽,当基高比数 1:1 时,对于 200m 的分辨率,幅宽

等于基线,即 $k = 2$ (第 i 摄站的右片与第 $i - 1 + k$ 摄站的左片构成立体像对)。对 100m 分辨率,幅宽等于 100km,则 $k = 3$; 对于 50m 分辨率,幅宽等于 50km,则 $k = 5$ 。

采用倾斜摄影形式时,框幅影像在地(月)面的图形为梯形,如图 9 所示,取前后视影像中央的重叠区构成立体像对,图中各主要尺寸如表 5 所示。

表 5 不同分辨率时梯形影像边长有关尺寸

Table 5 Image format in different resolution

像幅宽/km	基线向像场角	a/km	b/km	c/km	d/km
50 × 50	$7^\circ 07' \times 2$	49.9	60	60	3
100 × 100	$14^\circ 03' \times 2$	98.6	126	114	15.8
200 × 200	$26^\circ 34' \times 2$	179	297	200	65

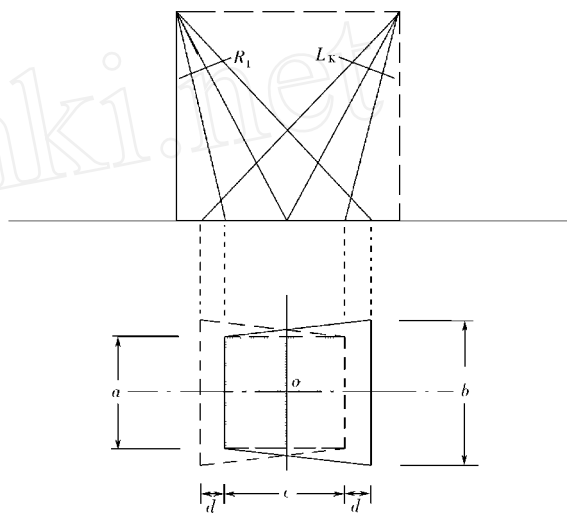


图 9 倾斜立体构像重叠图

Fig. 9 The Overlapping of stereo image in photography

表 6 采用双相机倾斜摄影模式时,各种分辨率对应的基线、基高比、 dX 、 dh 的精度

Table 6 Base line length, ratio of base to height, and accuracy of two leaning photography

幅宽/km	50 × 50	100 × 100	200 × 200
基线/km	200	200	200
基高比	1:1	1:1	1:1
1k × 1k 相机	分辨率/m	50	100
	dX /m	5	10
	dh /m	7	14
5k × 5k 相机	分辨率/m	10	20
	dX /m	1	2
	dh /m	1.4	2.8

由于构像变形,影像各处的分辨率是不一样的,

但差别不会太大。以像主点处的分辨率为准,可计算出这种模式的平面与高程量测误差如表 6 所示。

由表 6 结果可见,由于采取了倾斜摄影模式构建立体像对,高程量测精度得到大幅度提高。当然,这种模式下的摄影测量几何处理难度加大,需要根据新的模式开发算法和软件。但是,从成果质量优先的角度考虑,这种付出应该是值得的^[3]。

4 结论

综合以上几种模式的比较分析结果,可得如下结论:

(1) 由于采用面阵方式的框幅式影像能处理到 0.1 像素级,而线阵影像却只能处理到 1 个像素级,所以在满足分辨率和幅宽要求的前提下,采用 CCD 面阵的方案优势更明显;

(2) 在使用有限尺寸面阵 CCD 相机的情况下,采用双相机倾斜摄影构建立体像对的方法,可以得到比较高的高程量测精度;

(3) 采用双相机模式,分辨率宜采用 100m,这样

亦形成旁向 50 % 重叠,同时可构成旁向立体,当采取 4 方向影像匹配时,还可提高匹配精度,并且避免高山与深谷地形造成的死角,得到更高精度的 DEM (数字月面模型) 和 DOM (正射影像)。

参考文献 (References)

- [1] 王之卓. 摄影测量原理[M]. 北京:测绘出版社,1979
WANG Zhizhuo. The principle of topography[M]. Beijing: Press of Surveying and Mapping, 1979
- [2] 王任享,王建荣,王新义等. LMCCD 相机卫星摄影测量的特征[J]. 测绘科学, 2004, 29(4): 10 - 12
WANG Renxiang, WANG Jianrong, WANG Xinyi, et al. The satellite photogrammetric performance of LMCCD camera[J]. Science of Surveying and Mapping, 2004, 29(4): 10 - 12
- [3] 林宗坚,宣文玲,孙杰等. 由小面阵 CCD 组合构成宽角航空相机[J]. 测绘科学, 2005, 30(1): 94 - 98
LIN Zongjian, XUAN Wenling, SUN Jie, et al. Wide-angle aerial camera made up of combining small-sized areal array CCD sensors[J]. Science of Surveying and Mapping, 2005, 30(1): 94 - 98

动态新闻

俄总理访华磋商联合登月计划

2006 年 11 月 9 日,俄罗斯总理弗拉德科夫访问中国,与温家宝总理进行中俄总理第 11 次定期会晤。据悉,中俄两国已经在对月球研究问题上取得共识,俄总理此次来华目的就是签署有关协议。

俄罗斯同中国在太空领域内进行着广泛合作。2006 年 9 月中俄两国签署了 2007 - 2009 年 38 个太空项目合作计划协议,此次访华是就携手登月计划进行磋商。

钱学森手稿尘封 50 年后公开出版

2006 年 11 月 17 日,为纪念中国航天事业创建 50 周年,庆贺钱学森 95 岁寿辰,由中国宇航出版社出版的钱学森手稿《导弹概论》首发式在京举行。这是在尘封 50 年后,钱学森撰写的《导弹概论》内容首次公开。该书由三部分组成,第一部分影印了当年钱学森的珍贵手稿,第二部分是著名空气动力学专家庄逢甘院士对原文进行的校订稿,第三部分附录中集纳了部分当年听课学员的回忆录。

《导弹概论》是钱学森在中国航天初创时期,为推动中国导弹事业,培养航天人才,亲笔撰写的第一本中国航天教材。他还亲自为第一批进入国防部五院的百余名大学生授课。

(靳力 望 摘编)