

遥感中的立体成像技术

胡家升

(大连理工大学电子与信息工程学院, 大连 116023)

凌 伟 黄廉卿 高清峰 赵宝庆 郭培基 白雨虹 刘伯翔 安瑞霞 胡存举
(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘 要 阐述了用于空间对地观测的立体成像的基本原理。讨论了三种立体成像方法。研制成功了用于机载的三个 CCD 线阵扫描的立体成像系统。完成了实验室立体成像实验。编制了形成立体图所必需的软件, 得到了预期的地面三维图像。

关键词 立体成像技术, 遥感, 图像处理.

1 引 言

在空间载体中装上各种有效的传感器来获取地球或其它星球面、周围大气及地表下有限深度的信息, 再采用数据处理技术, 从而得到人们所需要的信息, 这一整套技术称之为空间遥感。目前所使用的传感器已不下百种, 其波段由 X 射线、真空紫外、可见光、近红外、远红外一直到微波波段。

遥感中的立体成像技术的研究在国际上始于八十年代初期, 它同微波合成孔径雷达、成像多光谱技术一起成为目前空间遥感中最主要的信息获取手段。德国首先开展了 MEOS 试验^[1], 随后制定了 MOMS-01 和 MOMS-02 计划^[2], 研制多光谱扫描成像系统和多相机扫描立体成像系统。其中高分辨率直视扫描仪的分辨率为 4.5 m, 立体图像的高度分辨率达 12 m。日本在其发射的地球资源卫星 1 号上装载的光学传感器系统, 包括微波合成孔径雷达、多光谱扫描成像设备和立体成像设备, 立体成像设备的地面分辨率的设计指标为 18 m^[3]。法国在 SPOT-4 计划中, 要在卫星上装两套与航向垂直的方向形成立体图像的高几何分辨率的立体成像设备, 其地面分辨率可达 5 m^[4]。美国和苏联也把空间立体成像技术作为遥感传感器的发展重点, 已经发展了几种用于空间遥感的立体成像系统。

目前有三种方案可实现空间立体成像。第一种方案是在空间载体上安装三套 CCD 线扫描相机, 分别前视、直视和后视放置。利用空间载体在轨道上的运动, 自动实现在航向方向的扫描。信息被输入到计算机中, 进行重构和处理, 可以得到地面的立体图像。由于这种图像真实地反映了地球的面貌, 直观可靠, 容易辨认和识别, 特别适合于地球资源考察、军事侦察和测绘, 因此受到很大的重视。

第二种方案是在空间载体中放置左右倾斜的 CCD 线扫描相机。利用卫星两次沿不同轨道飞行来获得地物目标在左右倾角下的信息, 经过数字处理, 同样也可以得到立体图像。这对载体飞行轨道有严格要求, 实现起来比较困难。

第三种方法是在载体上安装一个 CCD 线扫描相机, 实现航向方向的扫描, 获得地面的二维信息, 同时在载体上安装一个激光测高仪, 在扫描过程中同时测出每个像元的高度, 经过数字处理, 也可以得到三维图像。然而由于扫描速率很高, 激光测高仪的测高速率难以匹配, 只能隔几个像元测一次, 中间像元的高度靠内插办法求出, 因此高度维的精度受到限制。本文主要讨论第一种方案。

2 空间立体成像的基本原理

立体图像通常是靠空间体视效应实现的。人的双眼就是一种典型的体视仪器, 其体视深度和分辨率取决于体视仪器的基线长度(对于人眼, 就是瞳孔距)。人眼的瞳孔距一般为 55~65 mm, 经过计算其体视深度为 1000 m 左右, 体视分辨率也不高。为了增加体视深度和分辨率, 就要加大基线长度。目前的飞机和星体的尺寸为几米到十几米, 在这样的尺寸范围内安放空间体视设备, 其基线长度一般不会超过 10 m,。这样的基线长度所能达到的体视深度, 远远满足不了星载立体成像的要求, 实际上得不到立体图像。

为了增加基线长度, 可以在飞机或星体上, 按前视、直视和后视的方式安装三个 CCD 扫描相机, 如图 1 所示。在载体飞行过程中, 实现了对地物目标的扫描成像, 在一定的时间间隔内前视和后视相机可以获得同一目标在不同视角下的信息, 如图 2 所示。在 T_0 时间, 前视相机 A 在 $+\alpha$ 的倾角下获得地面 S 处的信息。当载体飞行 $(T_1 - T_0)$ 时间后, 直视相机 B 在直视下获得地面 S 处的信息。经过 $(T_2 - T_0)$ 时间, 载体上的后视相机 C 在 $-\alpha$ 的后倾角下获得地面 S 处的信息。实际上在 $(T_2 - T_0)$ 的时间间隔内载体飞行的水平距离就是基线长度。该长度与飞行速度、相机的前后倾夹角和飞行高度有关。即

$$L = 2H \tan \alpha = V(T_2 - T_0)$$

式中 L 为基线长度, H 为飞行高度, V 为载体速度, α 为倾斜相机与直视相机轴线间的夹角。当 $H = 300 \text{ km}$, $\alpha = 22.5^\circ$ 时,

$$L = 2 \times 300 \times \tan 22.5^\circ = 248.5 \text{ km}。$$

可以把这样获得的基线长度称之为合成基线长度。

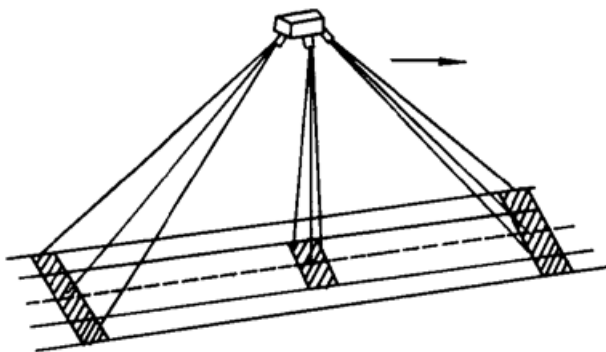


Fig. 1 Geometry of stereo-imaging
体视深度的表达式为^[5]

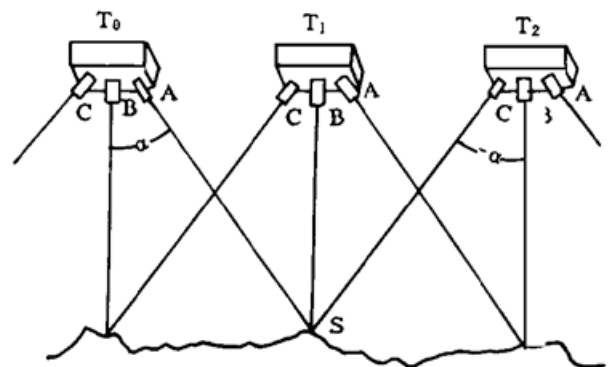


Fig. 2 Principle of stereo-imaging

$$D = L/\delta\beta$$

式中 $\delta\beta$ 为仪器的角分辨率, 如果采用的 CCD 像元尺寸为 0.013 mm, CCD 扫描相机的焦距为 200 mm, 那么

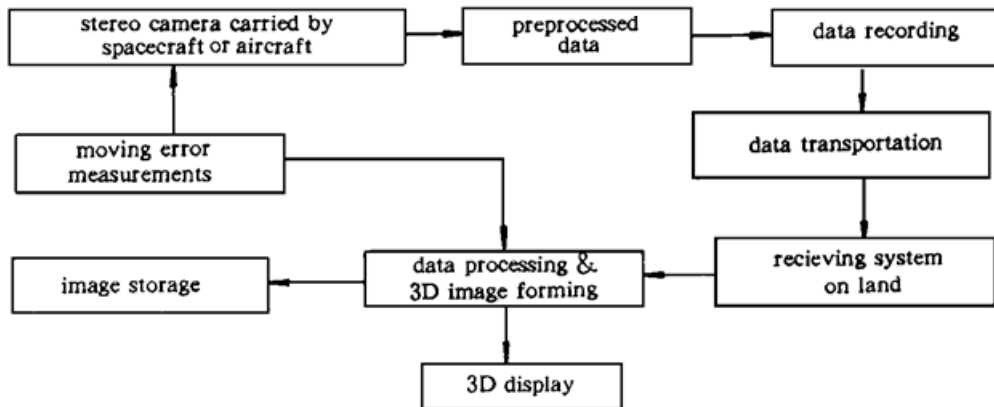
$$\delta\beta = 0.013/200 = 6.5 \times 10^{-5}$$

$$D = 248.5 \text{ km}/6.5 \times 10^{-5} = 3.8 \times 10^6 \text{ km}$$

遥感卫星的轨道高度通常为几百公里, 很显然, 这样大的体视深度对于星载立体成像是毫无问题的。如果线阵 CCD 的像元数增加, 扫描相机的物镜焦距加长, 那么地面分辨率和体视分辨率均可达到很高的水平。

靠这种时间累积的方法来获得大的体视深度并不是一件容易的事, 它受到一些条件的约束。最主要的是载体在飞行过程中, 速度要恒定, 飞行姿态也不能变化, 实际上这是不可能的。其解决的办法是实时测出或预先知道载体的飞行速度和姿态的变化, 并采取补偿措施, 这在实际上是可以办到的。当然还有一些其它问题, 如前后倾相机所拍摄的地面目标的配准和定位问题等。

空间的立体相机系统, 在载体飞行过程中在顺序的时间内获得了地面目标在不同视角下的信息, 但并没有形成真实的立体图像, 还需要把这些数据输入到计算机中, 完成数字图像处理 and 立体成图运算, 才能构成立体图像。整个成像过程是比较复杂的, 其方框图如下:



3 机载立体成像系统的设计考虑

为了使装在星体上的立体成像系统能获得地面的三维图像, 在做大量的前期实验工作。不然在星体上反复进行飞行试验, 耗资太大, 应该在地面或飞机上先进行飞行试验, 取得经验后, 才能设计适合于星载的立体成像系统。为此作者研制了一套适用于机载的前视、直视和后视共三套 CCD 线扫描成像系统。其中前视和后视相机的参数完全相同。直视相机的焦距通常为前、后视相机焦距的三倍。直视相机的主要作用是在图像处理和立体成图过程中便于找寻相关点, 使前、后视相机拍摄的图像容易配准。同时, 它本身也可形成高分辨率的地面扫描图像。前、后视相机对地面扫描成像时的夹角为 45° 左右。整体要求地面分辨率为 0.5 mrad。选用 2048 个像元的线阵 CCD, 像元尺寸为 $13 \mu\text{m}$, 总长为 26.62 mm。经过分析和计算, 斜视相机的焦距为 40 mm, 视场为 37° , 相对孔径为 1:5.6。直视相机的焦距为 120 mm, 视场为 13° , 相对孔径也为 1:5.6。这样一套立体成像系统, 装在飞机上其斜视相机的分辨率可优于 0.5 mrad, 直视相机可达 0.15 mrad。这只是计算结果, 实际上由于飞机在飞行时运动速度、轨道高度以及飞行姿态的变化, 分辨率会有所降低。如果误差过于严重, 可能难

以形成地面的立体图像。为了能够形成地面立体图像和提高分辨率, 必须分析上述的运动误差, 并加以补偿。

4 实验结果分析

利用所研制的机载立体成像系统, 首先在实验室进行模拟机载飞行试验。在机械加工车间的天车上装载前视和后视两台 CCD 线扫描相机, 天车高度约为 6 m, 地面放上有山脉、河流和公路分布的沙盘。它和真实的地形起伏一样, 只是比例缩小了, 整个沙盘尺寸为 2×3 m。利用天车的运动来实现对地面目标——沙盘的扫描。天车运动速度每秒约 1 m, 采样速率 50 Hz。这样航向分辨率为 15 mm。为了使垂直于航向的分辨率与航向分辨率相匹配, 每隔 2 个像元采样, 由前、后视 CCD 线扫描相机得到的采样数据隔行记录在高速微型磁带上。

把实验得到的数据, 用磁带机记录, 然后把数据输入到 486 微机中, 经过相关匹配处理而获得了清晰的立体图像。

图 3 为前视相机所获得的图像。图 4 为后视相机所获得的图像。图 5 是由图 3 和图 4 经过相关匹配处理后得到的立体图像。其逼真程度相当令人满意。图 6 为等高线图。图 7 为网络图。



Fig. 3 Scanning image of front-sight camera



Fig. 4 Scanning image of back-sight camera

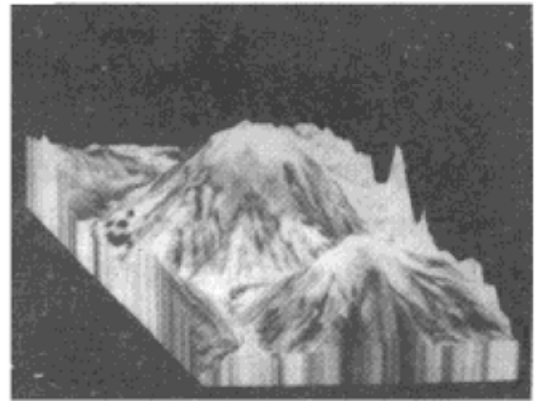


Fig. 5 Stereo-image obtained by digital processing



Fig. 6 Equihigh line diagram

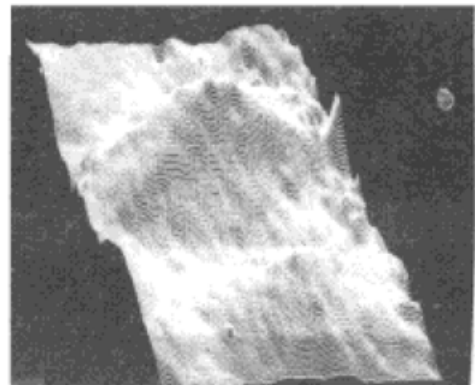


Fig. 7 Network diagram

由于立体图是由数字图像处理方法重构出来的, 因此完全是数字化图像, 其等高线和网络图也完全是数字化的, 精度很高, 完全排除了人工判读的主观因素。

参 考 文 献

- [1] Heinrich Ebner, Studies on object reconstruction from space using three-line scanner imagery. *J. Photogeometry & Remote Sensing*, 1989, **44**(2) : 225~ 233
- [2] F. Ackermann, J. Bodechtel, MOMS-02/spacelab D2 : A high resolution multispectral stereo scanner for the second German spacelab mission. *Proc. SPIE*, 1991, **1490** : 94~ 101
- [3] Hideo Hino, Optical sensor system for Japanese earth resource satellite I. *Proc. SPIE*, 1991, **1490** : 166~ 176
- [4] C. Fratter, SPOT 4HRVIR instrument and future high-resolution stereo instruments. *Proc. of SPIE*, 1991, **1490** : 59~ 73
- [5] 喻焘, 应用光学, 北京, 科学出版社, 1966 : 400~ 410

Stereo-Imaging Technology in Remote Sensing

Hu Jiasheng

(College of Electronic and Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023)

Ling Wei Huang Lianqing Gao Qingfeng Zhao Baoqing

Guo Peiji Bai Yuhong Liu Baixiang An Ruixia Hu Cunju

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

(Received 13 August 1995; revised 13 May 1996)

Abstract The basic principle of stereo-imaging for surveying of earth terrain from space is described in this paper. Three stereo-imaging methods are discussed. A set of stereo-imaging system consisting of three CCD linear-array scanning cameras is designed and manufactured. The stereo-imaging experiment in lab are completed. Necessary softwares for stereo-imaging are compiled. Expectant 3D images of terrain are obtained in the experiments.

Key words stereo-imaging technology, remote sensing, image processing.