

新型遥感光学立体成像系统的光学系统设计

郭培基¹, 高清峰¹, 胡家升²

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021;

2. 大连理工大学电子信息工程学院, 辽宁 大连 116000)

摘要:用前视、直视和后视三个相机及相应的传感器阵列 CCD 以获取地面的不同视角下的信息, 通过计算机处理得到地面的立体图像的技术是 80 年代发展起来的新型遥感光学立体成像技术, 本文简述了遥感光学立体成像原理, 详述了整个系统的主要参数斜视相机倾角、扫描频率、地面分辨率、直及斜视相机焦距和视场角的确定, 对光学系统的设计进行了详尽的分析。设计出了性能很好、在系统中得到应用的光学系统。

关键词:遥感光学立体成像技术; 主要参数; 光学系统

中图分类号: O439 文献标识码: A

1 引言

新型遥感光学立体成像技术是 80 年代发展起来的新技术, 我们设计的新型遥感光学立体成像系统由前视、直视和后视三排线阵 CCD 相机组成, 三线阵 CCD 传感器与载体飞行方向垂直。通过载体的飞行运动扫描地面, 获取地形表面的信息。通过计算机处理, 可生成地表的三维立体图像。我们首先要按照指标要求确定整个系统的主要参数。然后研制符合要求的光学系统, 解决系统的一大关键技术问题, 本文主要论述系统主要参数的确定及光学系统的设计。

2 立体成像原理

如图 1, 前视、直视和后视三个相机及相应的传感器阵列 CCD 在飞行体飞行过程中, 依次对地面进行扫描, 故可在三个不同时刻得到同一地面点的三个不同视角下的图像。由于地形的高度变化, 扫描地面同一点的两相机的距离时大时小, 如果飞行体是匀速直线飞行且没有俯仰和侧滚的变化, 则可根据同名像点对应的周期, 求出对应两相机的距离, 从而按照简单的三角测量方法求出地

面点的坐标。但实际上, 飞行体的速度和姿态是常变的, 这就要求有飞行体的运动和姿态测量系统, 如要求精度不高, 就可利用测出的飞行体运动和姿态参数, 用解简单方程组的方法求出, 如要求精度高, 就得采用传统摄影测量的光束法平差理论。

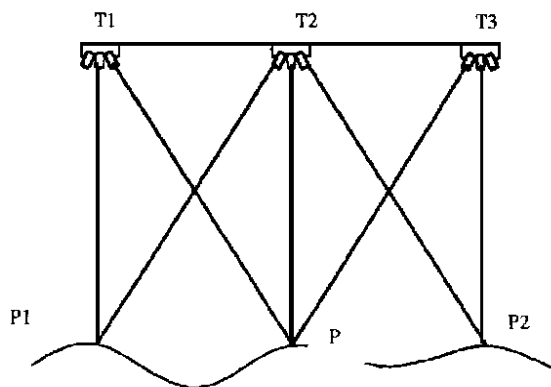


Fig. 1 The principle of stereo imaging technology

3 系统的主要参数及其确定

3.1 主要技术指标

线阵 CCD 的像元数为 2048, 灰度等级 8bit, 前、后视相机的主光轴夹角 45 左右, 畸变小于 0.5%, 分辨率 0.5mrad。

3.2 飞机运动主要参数

本系统研制成功后将在美国产的赛斯纳奖状 S/2 小型喷气遥感飞机上进行飞行试验。该飞机的主要飞行参数为:

飞行高度 $H = 3\ 000 - 10\ 000\text{m}$

飞行速度 $v = 300 - 750\text{km/h}$
 $= 83.3 - 208.3\text{m/s}$

3.3 基本几何关系

若 l —— CCD 长度

f —— 相机焦距

ω —— 相机视场角

w —— 测地宽

H —— 飞行高度

则有 $f = \frac{l/2}{\tan(\omega/2)}$

$$w = (l/f) \times H = 2H \tan(\omega/2)$$

设 $n = \text{CCD 像元数}$ $\Delta l = \text{像元间隔}$

即 $\Delta l = l/n$

则地面分辨率 $\rho = \omega/n = 2H \tan(\omega/2)/n$

斜视相机的测地宽 (w_1) 和地面分辨率 (ρ_1) 为
 $w_1 = l/f_1 \times H / \cos\gamma$ $\rho_1 = w_1/n$ (f_1 为斜视相机焦距)

如 $w = w_1$ 即斜视相机和直视相机的分辨率相同时, 斜视相机和直视相机的焦距关系

$f_1 = f / \cos\gamma$ (γ 为斜视相机倾角)

基线长度 $B = 2H \tan\gamma$

基高比 $B/H = 2 \tan\gamma$

扫描间隔(前, 后视相机分别扫过地面同一目标所需时间)

$$T = B/v = 2 \tan\gamma (v/H)^{-1}$$

3.4 主要参数及其确定

3.4.1 斜视相机倾角 γ 的确定

如图 2 所示

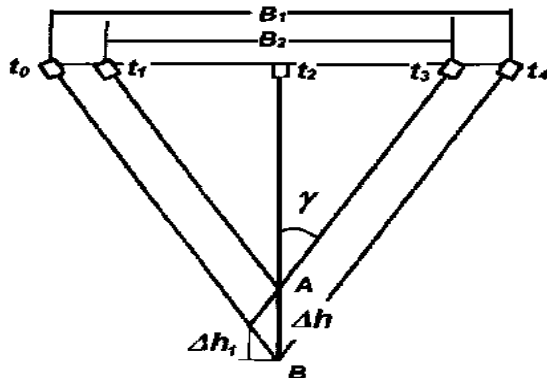


Fig. 2 The relation between Δh_1 and γ

t_0, t_1 为前视相机分别对点 B、点 A 成像时刻,
 t_3, t_4 为后视相机分别对点 A、点 B 成像时刻,
 t_2 为直视相机对点 A、点 B 成像时刻。

$$\Delta h = (B_1 - B_2) / (2 \tan\gamma) = 2 \Delta h_1$$

如 t_0 和 t_1 相差一个扫描周期, Δh_1 就是能分辨的高程差(高程分辨率), 当 $2 \tan\gamma = 1$ 即 $\gamma = 26.57^\circ$ 时 $\Delta h = B_1 - B_2$, $\Delta h_1 = (B_1 - B_2) / 2$ 此时高程分辨率等于地面分辨率, 参考国外的资料我们取 $\gamma = 22^\circ$ 。

3.4.2 视场角

飞行高度为 H 时, 所要求的地面分辨率为

$$\Delta = H \times 0.5 \times 10^{-3}$$

系统所能达到的分辨率

$$\Delta X = \rho = 2H \times \tan(\omega/2) / n$$

视场角的选取必使得 $\Delta X = \Delta$, 并有一定的余量, 另外要与要求的视场相差不大

取 $\omega = 40^\circ$ 时

$$\Delta X = H \times 0.355 \times 10^{-3}$$

取 $\omega = 45^\circ$ 时

$$\Delta X = H \times 0.405 \times 10^{-3}$$

我们取 $\omega = 40^\circ$

3.4.3 焦距 f

$$f = \frac{l/2}{\tan(\omega/2)}$$

$$= \frac{\Delta l \times n}{2 \tan(\omega/2)} = \frac{0.013 \times 2048}{2 \tan(40^\circ/2)} = 36.574\text{mm}$$

(我们所选 CCD 为美国 EG&G 公司的 LC1902KAN-011 型线阵 CCD, 其像元数为 2048, 像元大小为 $13 \times 13 \mu\text{m}$)

$$f_1 = f / \cos\gamma = 39.45\text{mm}$$

从而斜视相机视场角

$$\omega = 2 \arctan(l/2f_1) = 37.3^\circ$$

直视相机主要起定标的作用, 通常要求直视相机的地面分辨率为斜视相机的 3 倍, 由此得直视相机的焦距

$$f_0 = 3f = 3 \times 36.574\text{mm} = 109.72\text{mm}$$

其视场角

$$\omega = 2 \arctan(\Delta l \times n / (2f_0)) = 13.84^\circ$$

3.4.4 测地宽与地面分辨率

相机焦距, 倾角和 CCD 器件确定后, 测地宽与地面分辨率只与飞行高度有关。

$$w_1 = w = l/f \times H = 2184 - 7280\text{m}$$

$$\rho_1 = \rho = w/n = 1.07 - 3.56\text{m}$$

($H = 3 - 10\text{km}$)

3.4.5 扫描行频

上面求得的是与航向垂直方向的分辨率, 航向的分辨率要与垂直于航向的分辨率相匹配, 这要靠扫描间距获得。

由此我们可求得扫描频率

$$f_s = v/\rho$$

当 $v = 83.3 \text{ m/s} \sim 208.3 \text{ m/s}$

$H = 3\,000 \sim 10\,000 \text{ m}$ 时

$$f_s = 23 \sim 195 \text{ Hz}$$

由以上计算扫描周期 $T_s = 5.1 \sim 43 \text{ ms}$

由于直视相机的地面分辨率为斜视相机的 3 倍, 因此其扫描频率相应为斜视相机的 3 倍

扫描频率 $f_{s0} = 69 \sim 585 \text{ Hz}$

扫描周期 $T_{s0} = 1.7 \sim 14.5 \text{ ms}$

综上, 主要参数值如下:

飞机飞行高度: 3- 10km

飞机飞行速度: 300- 750km/h (83.3- 208.3m/s)

线阵像元数: 2048

像元尺寸: 0.013mm

直视相机焦距: 109.72mm

视场角: 3.84°

扫描频率: 69- 585Hz

地面分辨率: $0.118 \times 10^{-3} \times H$

斜视相机焦距: 39.45mm

视场角: 37.3°

扫描频率: 69- 585Hz

地面分辨率: $0.355 \times 10^{-3} \times H$

相机倾角: 22°

4 光学系统参数确定及设计

4.1 光学系统参数的确定

在前一部分里, 我们已经确定了斜视和直视相机的焦距和视场, 这里要确定的是相机的相对孔径。选取的相机的相对孔径, 不仅要保证相机分辨率, 另外要保证 CCD 有足够曝光量且不能饱和。根据分析计算, 考虑到地表照度、飞机飞行速度、飞机飞行高度的不同情况, 并使相对孔径数值标准化, 我们使相对孔径为 1/5.6、1/8、1/11 三级可调。

4.2 结构型式选择

摄影物镜一般都有较大的孔径和视场, 因此所产生的像差, 无论是孔径像差还是视场像差都较大。为校正像差, 摄影物镜不得不采用较复杂的

结构。在摄影物镜里, 随孔径和视场增大, 高级像差在像差中占的比重逐渐增加, 高级像差的大小主要依赖于结构型式和它的光学特性参数。因此选一合适的结构很重要。摄影物镜常用结构型式有匹兹万物镜、柯克物镜、天塞物镜和海利亚物镜、松纳物镜以及双高斯物镜。其中双高斯物镜是一种中等视场, 大孔径的摄影物镜, 它是一种准对称结构, 半部系统由一个弯月型胶合厚透镜和薄透镜组成, 图 3 所示:

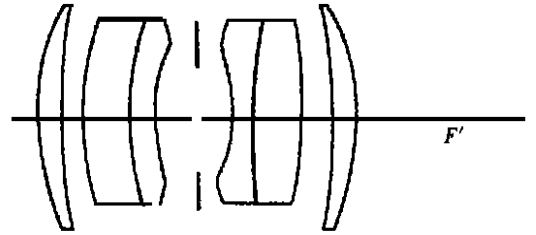


Fig. 3 Double Gauss lens

由于双高斯物镜是近似对称的系统, 垂轴像差慧差、畸变、倍率色差很易校正。设计这类系统时只需重点考虑球差、色差、场曲、像散的校正。我们要设计的物镜视场中等、焦距不算长, 但对畸变要求严格, 双高斯物镜结构是可以满足我们要求的。

4.3 物镜材料选择

在确定系统的结构参数之前, 我们首先要选择物镜的材料, 一般来说希望正透镜的折射率高一些, 色散要尽可能低。在光焦度一定时, 折射率增高, 透镜的曲率半径就增大, 高级像差就减小, 从校正色差的要求出发, 正透镜的色散低一些有利, 所以在摄影物镜中, 正透镜一般采用折射率高色散较低的材料, 我们这里采用的是 ZBaF_5 ($n_d = 1.6709, v = 47.3$), 这种玻璃的折射率比较高, 但色散比一般玻璃要低。负透镜玻璃的折射率一般选择比正透镜稍低一些, 色散则要求尽可能高一些, 这主要从校正场曲和色差的要求出发。根据消场曲条件: $\Phi/n = 0$, 负透镜的折射率低一些, 显然系统中的负光焦度就可小一些, 这对减小高级像差有利, 但折射率降低又会使高级像差增大, 为此必须综合考虑, 这里负透镜选 ZF_1 ($n_d = 1.6475, v = 33.9$)。

在结构型式, 玻璃材料确定后, 根据双高斯物镜的设计过程, 我们设计出了两组符合要求的物镜, 其畸变都小于千分之一二。

5 结 束 语

设计的两组物镜经加工、装校后,性能很好,在系统中得到应用。

参考文献:

- [1] Ackermann, J Bodechtel, F Lanzl, Pseige, H Winkenbach, J Zilger. M OMS- 02/spacelabD- 2: A high resolution multispectral stereo scanner for the second German Spacelab mission [C]. Proc SPIE, 1991, 1490: 94 ~101.
- [2] 张以谟主编. 应用光学(上,下册)[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
- [3] 电影摄影物镜光学设计编写组. 电影摄影物镜光学设计[M]. 北京:中国工业出版社,1971.
- [4] 光学仪器设计手册编写组. 光学仪器设计手册[M]. 北京:国防工业出版社,1971.

Optical system design of new remote sensing stereo imaging

GUO Pei-ji¹, GAO Qing-feng¹, HU Jia-sheng²

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China*

2. *Institute of Electro-information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116000, China*)

Abstract: New remote sensing stereo imaging technology is a new technology developed in 1980's. After a brief description of the principle about three line opto-electronic scanning digital photogrammetric system, the principal parameters of the system, including the optical system's parameter have been studied in detail and the optical system satisfying the technique requirements is designed.

Key words: stereo imaging technology; principal parameters; optical system

作者简介: 郭培基(1968-)男,湖北武穴市人。1994年获硕士学位,现为长春光机所博士生,主要从事光学工程、光学超精加工及检测方面研究工作。