

编程光学平台

赵跃进 连铜淑

(北京理工大学工程光学系, 北京 100081)

摘 要 本文在对三轴稳像棱镜组研究的基础上, 提出了用三轴稳像棱镜组进行稳像, 用另外的扫描部件作扫描的方案, 并推导出相应的稳像扫描公式. 当三轴稳像棱镜组和计算机结合起来以后, 就可以赋予该棱镜组以“编程光学平台”的新概念.

关键词 反射棱镜, 稳像, 三轴稳像棱镜组.

1 引 言

在以光学元件作为补偿器的扫描、稳像光学系统中, 扫描和稳像的结合方式有多种. 例如: 可以用光学元件扫描、兼作稳像, 还可以用一个光学元件作扫描, 而另一个光学元件作稳像. 这往往取决于系统对扫描稳像要求的不同而选择不同的方式. 这样一来, 不同的结合方式就需要不同的结构方式和不同的稳像补偿公式. 使得各种结构之间差别很大, 也不能得出一个统一的稳像方程式. 本文通过对单片机控制的三轴稳像棱镜组实验系统的研究, 提出了以三轴稳像棱镜组作为补偿器的编程光学平台的方案. 该方案是在结构上保持三轴稳像棱镜组的标准形式, 对不同的扫描稳像结合方式通过微机控制系统的编程变化来实现. 这就大大地提高了三轴稳像棱镜组的使用范围和灵活性. 因此, 赋予该棱镜组以“编程光学平台”的新概念.

2 理论分析与公式推导

不管是用在行进中的车体上, 还是用在飞机、导弹上的光学仪器, 除了要求得到稳定的图像以外, 还要求系统能进行扫描, 以发现目标, 达到观察和测量的目的. 一般来说, 扫描的角度比较大, 用前置系统中的扫描系统进行扫描. 而前置系统的成像特性直接影响了整个系统的成像特性. 同样, 当前置系统中的扫描系统进行扫描时, 这种动态的成像特性对后续三轴稳像棱镜组的稳像方程也就有一个动态的影响. 这就使得稳像公式变得较为复杂. 而这种复杂对三轴稳像棱镜组的结构并没有变化. 变化的只是稳像公式本身, 而这一点完全可以通过计算机控制系统的编程变化得到解决, 这样, 不管前置系统的扫描方式如何, 均可保持三轴稳像棱镜组的标准结构形式不变.

三轴稳像棱镜组是一个分离式的圆束偏器(圆对称光束偏折器), 它由两块像旋转器类棱

镜按照一定的相对位置构成. 作为一个整体, 棱镜组具有圆束偏器的性质, 可用于稳定视线; 而当其中的一个棱镜单独作用时, 棱镜组又具有像旋转器的特性, 可用于稳定像倾. 因此, 总起来说, 三轴稳像棱镜组是一个可作三自由度全视场稳像用的纯光学像补偿器.

在图 1 中, 设前置系统为一起扫描作用的部件, 并且前置扫描系统的成像矩阵为 R_f , 该成像矩阵可以抽象为以下形式.

$$R_f = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad (1)$$

(1)式的成像矩阵适合于任一前置扫描系统.

适合于任一前置扫描系统的三轴稳像棱镜组的稳像公式可推导如下.

取图 1 所示的 $x' y' z'$ 坐标系为动坐标系, 物镜前的光学系统静态物(A)像(A')关系为

$$(A') = R_2 R_1 R_f (A) \quad (2)$$

式中 R_1 和 R_2 分别为稳像棱镜 1 和 2 的作用矩阵. 解题的思路分为两个步骤:

1) 先想象整个光学系统作为一个整体绕空间任一轴 P_i 转一角度 ε , 这一角度是一个三自由度的量, 可以表示为一对陀螺感应出的卡尔丹角 $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3)$. 在这个过程中, 坐标系 $x' y' z'$ 是和整个光学系统一起运动的, 对于坐标系 $x' y' z'$ 来说, 整个光学系统是相对静止的, 而不动的物空间矢量 A 反倒相对地绕 P_i 轴转了一个 $(-\varepsilon)$ 角, 这时的动态物像关系为

$$(A') = R_2 R_1 R_f S_{\varepsilon_3, -\varepsilon_3} S_{\varepsilon_2, -\varepsilon_2} S_{\varepsilon_1, -\varepsilon_1} (A) \quad (3)$$

2) 从稳像的角度来要求, 当光学系统有一外界干扰转动以后, 让棱镜组作一定的转动, 来补偿像的运动. 从坐标系转换关系可知, 当棱镜组作为一个整体先绕 P_1 轴 (y' 轴) 转动一补偿角 θ_1 和再绕 P_2 轴 (z_1 轴) 转一补偿角 θ_2 后, 则物像之间的共轭关系为

$$(A') = S_{P_1, \theta_1} S_{P_2, \theta_2} R_2 R_1 S_{P_2, -\theta_2} S_{P_1, -\theta_1} R_f S_{\varepsilon_3, -\varepsilon_3} S_{\varepsilon_2, -\varepsilon_2} S_{\varepsilon_1, -\varepsilon_1} (A) \quad (4)$$

为了消除像倾斜, 棱镜 2 相对于棱镜 1 绕 P_3 轴 (x'_2 轴) 转一补偿角 θ_3 , 这时棱镜 1 仍在 $x_2 y_2 z_2$ 坐标系内不动. 则

$$(A') = S_{P_1, \theta_1} S_{P_2, \theta_2} S_{P_3, \theta_3} R_2 S_{P_3, -\theta_3} R_1 S_{P_2, -\theta_2} S_{P_1, -\theta_1} R_f S_{\varepsilon_3, -\varepsilon_3} S_{\varepsilon_2, -\varepsilon_2} S_{\varepsilon_1, -\varepsilon_1} (A) \quad (5)$$

根据稳像的要求, 分别由(2)和(5)式求得两个 (A') 应相等. 有

$$R_2 R_1 R_f (A) = S_{P_1, \theta_1} S_{P_2, \theta_2} S_{P_3, \theta_3} R_2 S_{P_3, -\theta_3} R_1 S_{P_2, -\theta_2} S_{P_1, -\theta_1} R_f S_{\varepsilon_3, -\varepsilon_3} S_{\varepsilon_2, -\varepsilon_2} S_{\varepsilon_1, -\varepsilon_1} (A) \quad (6)$$

因 (A) 是任意矢量, (6)式可变为

$$R_2 R_1 R_f = S_{P_1, \theta_1} S_{P_2, \theta_2} S_{P_3, \theta_3} R_2 S_{P_3, -\theta_3} R_1 S_{P_2, -\theta_2} S_{P_1, -\theta_1} R_f S_{\varepsilon_3, -\varepsilon_3} S_{\varepsilon_2, -\varepsilon_2} S_{\varepsilon_1, -\varepsilon_1} \quad (7)$$

考虑到外界干扰的任意性, 可把干扰转动项 $S_{\varepsilon_3, -\varepsilon_3} S_{\varepsilon_2, -\varepsilon_2} S_{\varepsilon_1, -\varepsilon_1}$ 定义为以下矩阵形式.

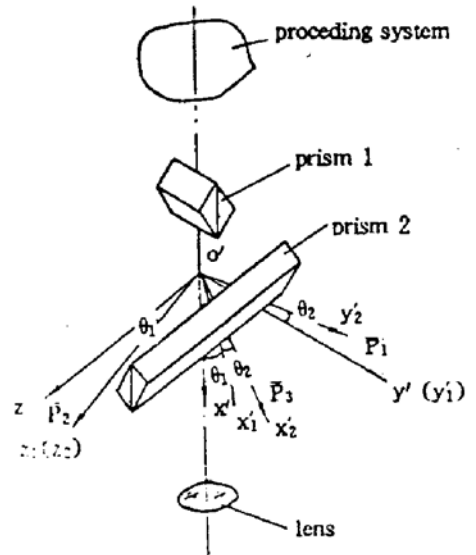


Fig. 1

$$S_{\xi_1, \epsilon_1} S_{\xi_2, \epsilon_2} S_{\xi_3, \epsilon_3} = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \quad (8)$$

把

$$R_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad R_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$S_{P_1, \theta_1} = \begin{pmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_1 & 0 & \cos \theta_1 \end{pmatrix}, \quad S_{P_2, \theta_2} = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & -\sin \theta_2 & 0 \\ \sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$S_{P_3, \theta_3} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_3 & -\sin \theta_3 \\ 0 & \sin \theta_3 & \cos \theta_3 \end{pmatrix}.$$

$$S_{P_1, -\theta_1} = S_{P_1, \theta_1}^T, \quad S_{P_2, -\theta_2} = S_{P_2, \theta_2}^T, \quad S_{P_3, -\theta_3} = S_{P_3, \theta_3}^T$$

代入(7)式, 并解矩阵方程, 得

$$\begin{cases} \theta_1 = \frac{-C_3 - C_7}{|C_3 + C_7|} \arccos \left[\frac{1 + C_1 - C_5 - C_9}{2(1 - C_5)} \right]^{\frac{1}{2}}, \\ \theta_2 = \frac{C_2 + C_4}{|C_2 + C_4|} \arcsin \left[\frac{1 - C_1 + C_5 - C_9}{3 - C_1 - C_5 - C_9} \right]^{\frac{1}{2}}, \\ \theta_3 = \frac{C_8 - C_6}{|C_8 - C_6|} \arcsin \left[\frac{1}{2} (1 + C_1 + C_5 + C_9)^{\frac{1}{2}} \right]. \end{cases} \quad (9)$$

式中

$$C_1 = a_{11}(a_{11}b_{11} + a_{12}b_{12} + a_{13}b_{13}) + a_{12}(a_{11}b_{21} + a_{12}b_{22} + a_{13}b_{23}) + a_{13}(a_{11}b_{31} + a_{12}b_{32} + a_{13}b_{33}),$$

$$C_2 = a_{11}(a_{21}b_{11} + a_{22}b_{12} + a_{23}b_{13}) + a_{12}(a_{21}b_{21} + a_{22}b_{22} + a_{23}b_{23}) + a_{13}(a_{21}b_{31} + a_{22}b_{32} + a_{23}b_{33}),$$

$$C_3 = a_{11}(a_{31}b_{11} + a_{32}b_{12} + a_{33}b_{13}) + a_{12}(a_{31}b_{21} + a_{32}b_{22} + a_{33}b_{23}) + a_{13}(a_{31}b_{31} + a_{32}b_{32} + a_{33}b_{33}),$$

$$C_4 = a_{21}(a_{11}b_{11} + a_{12}b_{12} + a_{13}b_{13}) + a_{22}(a_{11}b_{21} + a_{12}b_{22} + a_{13}b_{23}) + a_{23}(a_{11}b_{31} + a_{12}b_{32} + a_{13}b_{33}),$$

$$C_5 = a_{21}(a_{21}b_{11} + a_{22}b_{12} + a_{23}b_{13}) + a_{22}(a_{21}b_{21} + a_{22}b_{22} + a_{23}b_{23}) + a_{23}(a_{21}b_{31} + a_{22}b_{32} + a_{23}b_{33}),$$

$$C_6 = a_{21}(a_{31}b_{11} + a_{32}b_{12} + a_{33}b_{13}) + a_{22}(a_{31}b_{21} + a_{32}b_{22} + a_{33}b_{23}) + a_{23}(a_{31}b_{31} + a_{32}b_{32} + a_{33}b_{33}),$$

$$C_7 = a_{31}(a_{11}b_{11} + a_{12}b_{12} + a_{13}b_{13}) + a_{32}(a_{11}b_{21} + a_{12}b_{22} + a_{13}b_{23}) + a_{33}(a_{11}b_{31} + a_{12}b_{32} + a_{13}b_{33}),$$

$$C_8 = a_{31}(a_{21}b_{11} + a_{22}b_{12} + a_{23}b_{13}) + a_{32}(a_{21}b_{21} + a_{22}b_{22} + a_{23}b_{23}) + a_{33}(a_{21}b_{31} + a_{22}b_{32} + a_{23}b_{33}),$$

$$C_9 = a_{31}(a_{31}b_{11} + a_{32}b_{12} + a_{33}b_{13}) + a_{32}(a_{31}b_{21} + a_{32}b_{22} + a_{33}b_{23}) + a_{33}(a_{31}b_{31} + a_{32}b_{32} + a_{33}b_{33}).$$

3 结 论

(9)式所表示的稳像公式是比较复杂的, 很明显, 用一般的机电方法是不可能实现的. 由作者在单片微机控制的三轴稳像棱镜组的实验装置中经验可知, 用计算机控制三轴稳像棱镜组从原理上来说是可行的, 且计算速度能够满足稳像的要求, 但由于受目前条件的限制, 本文所采用的传感器和执行元件的响应频率和精度不能完全满足实际的行进中的车体上或飞机、导弹上的稳像系统对精度和实时性的要求. 如选用适合的传感器和执行元件是可以解决

这些工程上的问题. 因此, 用计算机查表来计算, 并编制相应的计算程序进行计算, 通过计算机的 I/O 接口, 控制执行元件驱动棱镜进行补偿转动, 是可以实现编程光学平台的功能的. 这样一来, 三轴稳像棱镜组就可以用在各种实际的扫描稳像系统中. 同时, 计算机的引入也极大地加强了三轴稳像棱镜组的灵活性, 而此种灵活性赋予了三轴稳像棱镜组以“编程光学平台”的新概念. 这表明不管在实际的系统中稳像与扫描的结合方式如何, 此类棱镜组部件均可保持不变的标准结构, 而只凭借改变软件程序的办法来考虑观测线的不同的扫描形式所给予通用稳像原理公式(9)的影响. 上述特点使三轴稳像棱镜组有可能在各种不同的稳像扫描系统上获得广泛的应用.

参 考 文 献

- [1] 连铜淑, 反射棱镜共轭理论. 北京, 北京理工大学出版社, 1988
- [2] 连铜淑, 三轴稳像棱镜组. 云光技术, 1989, (3~4): 1
- [3] 赵跃进, 连铜淑, 会聚光路中的三轴稳像棱镜组. 光学学报, 1992, 12(8): 749
- [4] 赵跃进, 连铜淑, 单片机控制的图像稳定系统. 兵工学报, 1993, 2: 88
- [5] Lian Tongshu, Theory of conjugation for reflecting prisms; adjustment and image stabilization of optical instruments. Beijing: International Academic Publishers-A Pergamon-CNPIEC Joint Venture, 1991
- [6] Yishay Netzer, Line-of-sight steering and stabilization. *Opt. Engng.*, 1982, 21(1): 96
- [7] George R. Lewis, Image stabilization techniques for long range reconnaissance camera. *Proc. SPIE*, 1980, 242: 153

Programming Optical Platform

Zhao Yuejin Lian Tongshu

(Department of Optical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

(Received 22 February 1993; revised 7 June 1993)

Abstract On the basis of analyzing the three-axis image-stabilizing reflecting prism assembly, this paper presents a method for image-stabilizing with the prism assembly and scanning with the other optical elements. and its respective formula is deduced. Combined with computer, the prism assembly can be named as programming optical platform.

Key words reflecting prisms, image stabilization, three-axis image-stabilizing reflecting prism assembly.