

文章编号:1001-5078(2015)01-0050-03

· 红外技术及应用 ·

可见与红外双波段光学系统的共变焦补偿方法

吕宏,高明,陈阳

(西安工业大学光电工程学院,陕西 西安 710021)

摘要:基于一种可见与红外双波段共光路成像探测光学系统,研究双波段变焦补偿方法。采用机械式正组被动补偿变焦形式,根据变焦理论对可见与红外双波段变焦比差异进行补偿。通过在变焦比较小的光路后拼接变焦比补偿光路,结合 ZEMAX 中的多重组态设置,调整并优化得到多个符合变焦比补偿的特征点,计算出随变倍组移动量变化的焦距变化曲线。研究表明,系统中可见与红外光路变焦比相差小,可实现可见与红外波段同时变焦。

关键词:双波段;共变焦;变焦比;补偿

中图分类号:TN216 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2015.01.011

Common-zoom compensation method of visible and IR dual-band optical system

LÜ Hong, GAO Ming, CHEN Yang

(School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Based on a visible and infrared dual-band co-channel imaging optical system, a dual-band zoom compensation method is studied. According to the zoom and the mechanical passive compensation theory, the difference of visible and IR dual-band zoom ratio is compensated. Combined with multiple configurations in ZEMAX, the multiple feature points are obtained by adjusting and optimization, and the change curve of focal length with the shift change of zoom group is calculated. The results show that the difference of dual-band zoom ratio is small in this system, and it can achieve visible and infrared dual-band zoom at the same time.

Key words: dual band; common-zoom; zoom ratio; compensation

1 引言

在工业检测和国防军事应用领域,为了在不同外界环境下快速、及时发现目标并实现对目标的实时跟踪和精确测量,既要求得到目标的可见光图像,还需要得到目标的红外图像。随着科技的进步,多波段光学系统和变焦光学系统相结合的光学系统因其观测范围广、测量精确而得到了广泛应用^[1-3]。2010年, Jay N. Vizgaitis^[4]设计了一款军用 11.7X 中波/长波红外连续变焦系统,系统采用折、反混合光路,并使用红外双色焦平面阵列对中波/长波红外同时成像。2011年, Jeong-Yeol Han 等人^[5]针对可见光/红外双

波段系统体积过大的问题,采用多次反射的形式分别对可见光/红外两个系统进行折叠,在一定程度上减小了系统体积。2009年,李永刚等人^[6]对红外连续变焦镜头的结构进行了设计。目前,国内外对于可见、红外双通道甚至多通道变焦光学系统的研究较多,但通常是对可见光与红外各波段光学系统分开单独设计,然后组合成为多波段变焦光学系统。

本文提出将可见与红外双波段光路整合在一起,系统中目标光波通过分光棱镜实现可见、红外光分光,反射红外光路的变倍比差补偿组采用直接变倍比补偿形式,在变倍比小的红外光路上进行补偿,通过

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(No. 2012JM8008)资助。

作者简介:吕宏(1975-),男,博士,主要研究方向为光学设计理论及技术,光电精密测试技术,光大气传输理论及技术。

E-mail:lh511@sina.com

收稿日期:2014-05-02

对可见与红外双波段变焦比差异进行补偿,使二者在任意变焦位置的焦距和变焦比都相同,当需用不同波段观察时,无需光路转换可以直接进行观察,提高可见、红外双波段光学系统的反应速度。

2 系统方案

可见光与红外双波段共口径共光路共变焦融合成像光学系统的共口径变焦部分主要包括前固定组、变倍组和补偿组,可同时通过可见和红外光波,并且实现两者共同变焦,光线从公共部分出来后进入棱镜,棱镜上镀有反红外透可见光薄膜将可见、红外两路光分开。可见、红外光路分别对从棱镜分出的可见、红外光进行像差矫正。光学系统结构如图1所示。

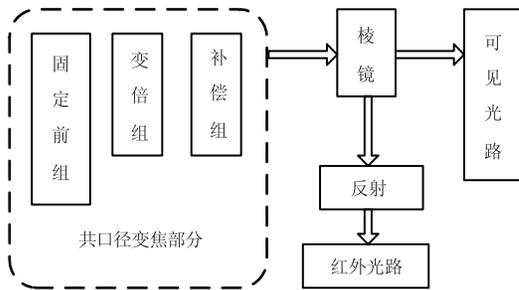


图1 光学系统构成示意图

由于可见、红外波段波长像差较大,即使透过结构完全相同的变焦系统,两者的变焦比也不会相同。因此需要在变焦比较小的光路后拼接一个变焦比补偿光路,以使两者达到相同的变焦比,满足共调焦的要求。变倍比差补偿一般可以通过两种形式,一种为二次成像补偿方式,另一种为直接补偿方式,直接补偿方式是在原来系统上直接再加一个变焦组来改变原来系统的变焦曲线,当补偿的变焦比不大时,直接补偿是近似的加和补偿。直接补偿式结构简单,变焦补偿范围满足系统要求,采用直接变倍比补偿形式,选取一个变焦比为4×的变焦系统,将其变焦组进行尺寸缩放,并对它的移动量适当调整后拼接到反射红外光路中。本系统采用的变焦比补偿方式如图2所示。

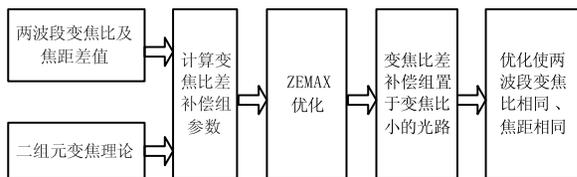


图2 变倍比差补偿方式

3 基本原理

根据变焦理论^[7],变焦系统的变焦比 Γ 、焦距 f' 和相应的像面位移量 Δ 满足下列公式:

$$\Gamma = \frac{\beta_{2L}\beta_{3L}}{\beta_2\beta_3} \quad (1)$$

$$f' = f'_L\Gamma = f'_L \frac{\beta_{2L}\beta_{3L}}{\beta_2\beta_3} \quad (2)$$

$$\Delta = \beta_3^2(1 - \beta_2^2)dq_1 + (1 - \beta_2^2)dq_2 \quad (3)$$

式中, β_{2L} 为系统长焦处变倍组的放大率; β_{3L} 为系统长焦处补偿组的放大率; β_2 为当前变焦位置变倍组的放大率; β_3 为当前变焦位置补偿组的放大率; f' 为当前变焦位置系统焦距, f'_L 为长焦处的系统焦距。

相应的中红外波段的变焦比 Γ 、焦距 f' 以及像面位移量 Δ 满足如下关系式:

$$\Gamma = \frac{\beta_{2L}\beta_{3L}\beta_{4L}}{\beta_2\beta_3\beta_4} \quad (4)$$

$$f' = f'_L\Gamma = f'_L \frac{\beta_{2L}\beta_{3L}\beta_{4L}}{\beta_2\beta_3\beta_4} \quad (5)$$

$$\Delta = \beta_4^2\beta_3^2(1 - \beta_2^2)dq_1 + \beta_4^2(1 - \beta_2^2)dq_2 + (1 - \beta_4^2)q_3 \quad (6)$$

式中, β_{4L} 为系统长焦处变焦比差补偿组的放大率; β_4 当前变焦位置处变焦比差补偿组的放大率; q_3 为变焦比差补偿组的位移量。

由于透镜的放大率取决于焦距值,可见光和中红外变倍组焦距 f'_2 与补偿组焦距 f'_3 的不同决定了两者变倍组和补偿组的放大率的不同。结合式(1)与式(2)可知,放大率的不同将导致二者同一变焦位置变焦比及焦距产生差异。由式(3)可以得出,当可见光满足像面稳定时,中红外波段无法满足 $\Delta = 0$,因此中红外波段存在像面移动。为了达到可见光、中红外在任意变焦位置焦距和变焦比相同,同时补偿中红外波段的像面移动,根据式(1)、式(4)和式(6)可以推导出以下两式:

$$\Gamma_V = \frac{\beta_{2LV}\beta_{3LV}}{\beta_{2V}\beta_{3V}} = \Gamma_I = \frac{\beta_{2LI}\beta_{3LI}\beta_{4LI}}{\beta_{2I}\beta_{3I}\beta_{4I}} \quad (7)$$

$$\Delta_I = \beta_{4I}^2\beta_{3I}^2(1 - \beta_{2I}^2)dq_{1I} + \beta_{4I}^2(1 - \beta_{2I}^2)dq_{2I} + (1 - \beta_{4I}^2)q_{3I} \quad (8)$$

其中,带有V(Visible)下标的参量表示可见光参量,带有I(Infrared)下标的参量表示红外光参量。式(7)表明可见光两组元变焦方式的变焦比与中红外三组元变焦方式的变焦比相同,式(8)表明中红外波段满足像面稳定条件。

4 变倍比差补偿

综上所述,结合ZEMAX中的多重组态设置,调整、优化得到多个符合变焦比补偿的特征点。通过

对得到的特征点进行曲线拟合,可分别得到可见光、中红外两个波段焦距随变倍组移动量 q 的变化曲线,可见光、中红外可分别由如下两式表示:

$$F_1 = 0.0002q^3 - 0.024q^2 + 1.6548q - 29.1048 \quad (9)$$

$$F_2 = 0.0002q^3 - 0.024q^2 + 1.6552q - 29.1360 \quad (10)$$

其中, F_1 与 F_2 分别表示可见光及红外光焦距; q 表示变倍组移动量。为了便于检验,将两条曲线在同一坐标下显示进行比较,如图3所示。从图3中可以看出,可见光与中红外两波段焦距随变倍组移动量的变化完全一致,说明可见、中红外焦距在变焦过程中焦距相同。

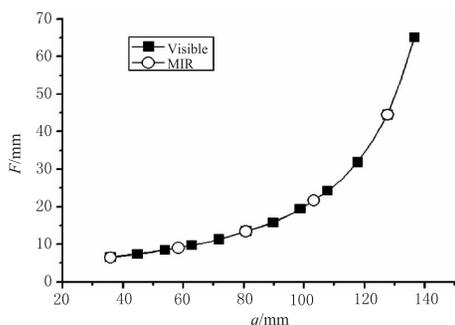


图3 可见光、中红外两波段焦距随变倍组移动量的变化曲线

为了进一步检验变倍比差补偿结果,得到可见光、中红外两个波段焦距在不同变倍组移动量的差值曲线,如图4所示。从图中4可以看出,当变倍组移动量为40 mm时两波段焦距的最大差值小于0.02 mm,同时,根据焦深公式可以得到可见光、中红外波段的焦深分别为0.027 mm和0.137 mm,焦距的最大差值小于两者的焦深,说明可见光、中红外两个波段下系统都能对目标清晰成像,满足焦距补偿的设计要求。

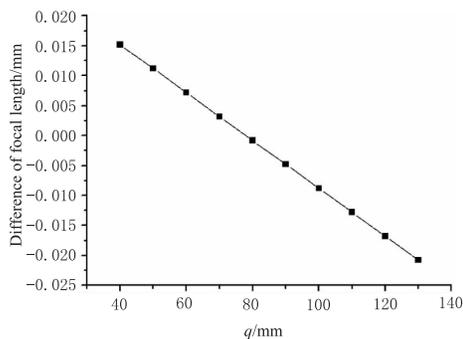


图4 不同变倍组移动量时焦距的差值

5 结论

本文基于可见、红外双波段探测成像共光路光学

系统,分析了双波段同步变焦技术的实现原理及方法,通过对系统进行分光,对于可见和红外光波通过同一个变焦系统变倍比不同产生的变倍比差,采取在变倍比小的红外光路上加变倍比差补偿组,扩大它的变倍比,达到不同波段焦距相同的目的。采用直接变倍比补偿形式,选取一个变焦比为4倍的系统,将它的变焦组进行尺寸缩放并接到系统中,通过数据拟合得到可见光、中红外两波段焦距随变倍组移动量的变化情况,可知补偿变焦曲线光滑,变焦比差补偿后不会出现折点,变焦过程顺畅。结果表明,研究可见与红外双波段光学系统的共变焦技术可提高双波段光学系统的反应速度,在不同波段同步观测目标,并满足了系统在探测过程中的实时性要求。

参考文献:

- [1] ZHANG Xingde, LI Ronggang, LIU Lin, et al. Research and development of dual-band infrared camera system[J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(8): 801-804. (in Chinese)
张兴德, 李荣刚, 刘琳, 等. 红外双波段成像系统的研究与发展[J]. *激光与红外*, 2010, 40(8): 801-804.
- [2] CAI Wei, ZHANG Xin, FENG Xiuheng, et al. Compensating modes for zoom system[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2011, 19(9): 2063-2070. (in Chinese)
蔡伟, 张新, 冯秀恒, 等. 变焦距系统的变倍补偿方式[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(9): 2063-2070.
- [3] LIU Kai, CHEN Rongli, CHANG Lingying, et al. Common-aperture dual-channel infrared scanning imaging optical system[J]. *Journal of Applied Optics*, 2012, 33(2): 395-401. (in Chinese)
刘凯, 陈荣利, 常凌颖, 等. 共口径双通道红外扫描成像光学系统[J]. *应用光学*, 2012, 33(2): 395-401.
- [4] Vizgaitis, Jay N. Dual band infrared continuous zoom lenses; US, 20120162750[P]. 2012-06-28.
- [5] Jeong-Yeol Han, Sergey Marchuk, Hooshik Kim, Chang-Woo Kim and Kwang-Woo Park. Imaging. EO/IR optical system for long range oblique photography[J]. *Proc. SPIE 8020, Airborne Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (ISR) Systems and Applications VIII*, 2011: 802009.
- [6] LI Yonggang, ZHANG Bao, DING Jinwei. Mechanism design of continuous infrared zoom lens [J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2009, 32(1): 60-63. (in Chinese)
李永刚, 张葆, 丁金伟. 红外连续变焦镜头的结构设计[J]. *长春理工大学学报:自然科学版*, 2009, 32(1): 60-63.
- [7] LIU Feng, XU Xiping, DUAN Jie, et al. Design of 20 × uncooled thermal infrared continuous-zoom lenses [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(5): 866-870. (in Chinese)
刘峰, 徐熙平, 段洁, 等. 20 × 非制冷型红外变焦光学系统设计[J]. *光子学报*, 2010, 39(5): 866-870.