

高速转镜干涉成像光谱仪

张文喜^{1,2} 相里斌¹ 袁 艳¹ 陶 然^{1,2} 杜述松^{1,2} 陈 曦^{1,2} 苏丽娟^{1,2}

(1 中科院西安光学精密机械研究所成像光谱室,西安 710068)

(2 中国科学院研究生院,北京 100039)

摘 要 介绍一种高速转镜干涉光谱仪原理,提出一种基于该原理的干涉成像光谱仪,该成像光谱仪有较大视场角,提高了扫描效率,特点是用带有倾角平面反射镜转动代替传统 Michelson 干涉成像光谱仪动镜的直线运动,解决了 Michelson 干涉成像光谱仪扫描效率低和不稳定的难题。

关键词 干涉光谱仪;高灵敏度;转镜;Michelson 干涉成像光谱仪

中图分类号 TH744.1 **文献标识码** A

0 引言

成像光谱仪作为空间遥感领域中最强有力的工具之一,越来越受到各国政府的重视。由于时间调制干涉成像光谱技术固有的高通量、多通道、易于定标等优点,至今许多方案仍无法与之比拟。因此,能够克服精密直线动镜驱动难题的新型时间调制干涉成像光谱仪技术方案的研究一直是成像光谱技术研究的一个主要方面。著名学者 Griffiths 在 1999 年提出了一种高速转镜式时间调制干涉成像光谱仪^[1],该方案采用了相对稳定的转镜系统,设计十分巧妙,经过高速转镜四次反射波面并未倾斜,保持了很好的相干性。Griffiths 也因该方案而荣获 2003 年度美国分析化学与应用光谱学 Bomem Michelson 杰出贡献奖。该文在分析 Griffiths 光谱仪原理基础上,给出一种新型高速转镜式干涉成像光谱仪的设计方案。

1 Griffiths 光谱仪原理

Griffiths 光谱仪的原理图如图 1^[2]。图中有一

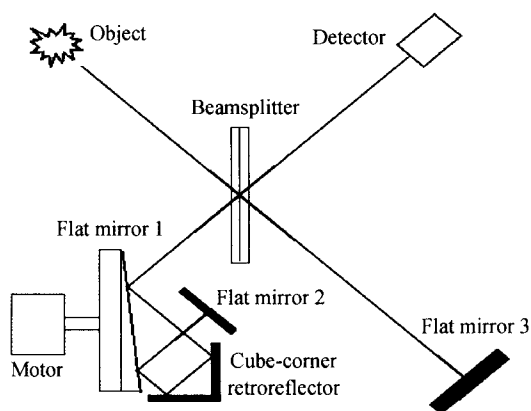


图 1 Griffiths 光谱仪的原理
Fig. 1 Griffiths interferometer

倾角很小的平面反射镜 1 固定在马达的转轴上,随马达转动。目标物发出的光线经分束器分成两路,一路经平面反射镜 1 反射到角反射体,经角反射体反射回的光线再经平面反射镜 1 反射,垂直入射到平面反射镜 2,再经平面反射镜 2 反射,使光线原路返回;另一路光线垂直入射到平面反射镜 3,经平面反射镜 3 反射光线原路返回,两路光线最终在探测器处干涉。两路光线的光程差随着平面反射镜 1 旋转而变化,当马达带着平面反射镜 1 旋转一周时,探测器就可得到目标的干涉图。

Griffiths 光谱仪的原理与动镜 Michelson 干涉仪的类似,只是把 Michelson 干涉仪动镜的直线运动用转动代替。该原理设计的巧妙之处在于光线经过多次反射仍能原路返回。但从上面的分析可以知,只有点目标的光线经准直镜后垂直反射镜 2 的入射能够原路返回,即该光谱仪马达转动一周仅能得到目标物上一个点的干涉图。因此要想用该光谱仪成像必须进行挥扫,扫描效率较低。下面将给出一种高速转镜干涉成像光谱仪(Ultra-rapid-scanning Imaging Interferometer)的设计方案。

2 高速转镜干涉成像光谱仪的原理

图 2 是高速转镜干涉成像光谱仪光学原理图。图中物 AB 位于准直镜的焦平面上,AB 上点 A 发出的光线经准直镜后变成一束平行光,经分束器分成反射光线和透射光线两束。反射光束经平面反射镜反射到角反射体 1,角反射体再把光线反射回平面反射镜,该光线再经平面镜反射、分束器透射到达收集镜;透射光束经角反射体 2 反射回分束器,再由分束器反射到收集镜,两束光线经收集镜汇聚于其焦平面上 A' 点。随着马达转动反射光线到达 A' 点的光程改变,而透射光线的光程不变,因此两束光线产生光程差,即 A 点发出的光会在 A' 干涉。在收集镜的焦平面上放一个面阵 CCD,就可以得到干涉图。

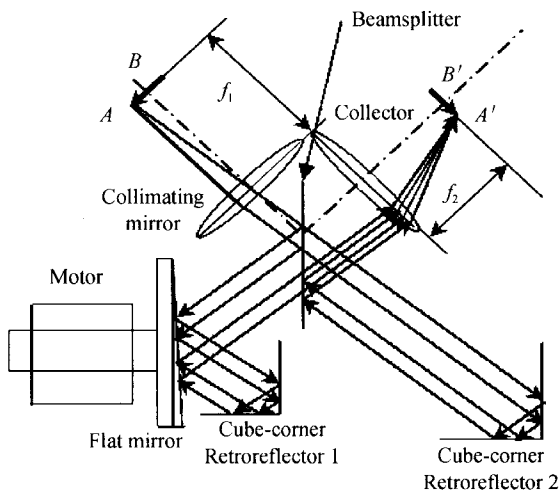


图2 高速转镜式干涉成像光谱仪光学原理

Fig. 2 Ultra-rapid-scanning imaging interferometer

该方案和 Griffiths 干涉光谱仪相比较,去掉了 Griffiths 干涉光谱仪中的平面反射镜 2,并且用角反射镜 2 代替了 Griffiths 干涉光谱仪中的反射镜 3. 从上面的分析可以看出 Griffiths 干涉光谱仪一次仅能获得一个点的干涉图,而该方案的视场角较大,能够同时获得一个面的干涉图,从而大大提高了光谱仪的扫描效率,适用于机载和星载成像光谱仪. 该方案和 Griffiths 干涉光谱仪相比,光线不是原路返回,但波面并未倾斜.

3 高速转镜干涉成像光谱仪的光程差分析

关于高速转镜干涉成像光谱仪的光程差的计算较复杂^[3~6],将有一篇文章专门论述,这里仅给出一些分析结果.

图3是当马达带着平面镜转一周时,某一条入射光线产生的光程差和马达转动角度的关系图,图中纵坐标是光程差(单位 mm),横坐标是马达转过的角度(单位 $^{\circ}$).可以看出光程差与马达转过角度的关系类似于正弦曲线,所以在把干涉图转换成光

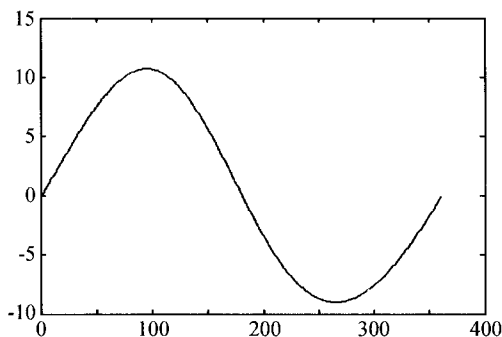


图3 光程差和马达旋转角度的关系

Fig. 3 Relation of angle of motor rotation and optical path difference

谱图时,要注意采用合适的算法.

图4是同一入射光线在平面反射镜的倾角分别为 5° 、 4° 、 3° 、 2° 和 1° 时,马达转动一周产生的光程差. 图中振幅最大的曲线对应平面反射镜的倾角为 5° ,随着振幅的减小,曲线对应的平面反射镜的倾角依次为 4° 、 3° 、 2° 和 1° . 可以得出,平面镜的倾角越大,马达转动一周仪器产生的最大光程差越大. 最大光程差决定仪器的分辨率,可以通过增大平面反射镜的倾角来增大仪器的分辨率. 但平面反射镜的倾角过大会使转轴的旋转不平稳,所以在满足最大光程差条件的情况下,平面反射镜的倾角要尽可能的小.

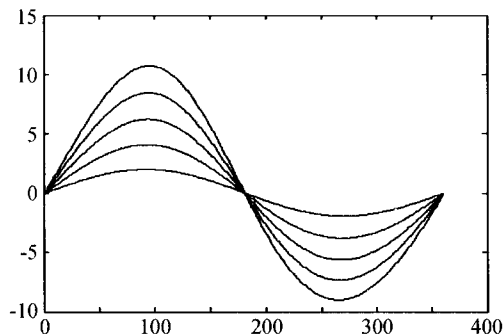


图4 转镜倾角和光程差的关系

Fig. 4 Relation of tilting mirror inclination and optical path

由于物平面上同一点发出的光线经准直透镜后是平行光线,所以经准直镜后不同角度的光线是物平面上不同的点发出的光. 图5是物 AB 上四个旁轴上的点产生的光程差和轴上的点光程差之差的曲线. 从图中可以看出当马达转动时,不同的物点发出的光线产生的光程差并不一样,因此在把干涉图变换成光谱图时要注意这一点.

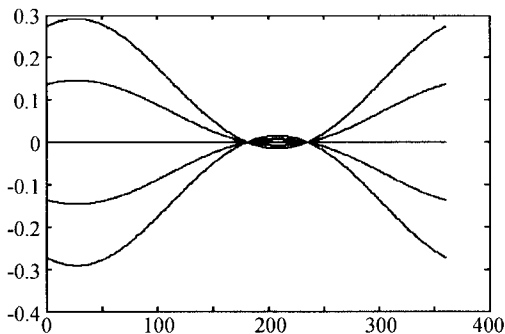


图5 入射光线的角度和光程差的关系

Fig. 5 Relation of entrance ray angle and optical path difference

4 结论

本文提出了一种基于高速转镜的干涉成像光谱仪的设计方案,简要分析了该光谱仪产生的光程差的特点. 它是真正兼顾了经典 Michelson 干涉成像光谱仪的高灵敏度和空间调制干涉成像光谱仪的高

稳定性的成像光谱仪,将成为星载和机载成像光谱仪热门方案.

参考文献

- 1 袁艳. 成像光谱理论与技术研究[博士学位论文]. 西安:中国科学院西安光学精密机械研究所,2005. 20~22
Yuan Y. Theoretical and Technical Study of the Imaging Spectrometry [PhD dissertation]. Xi'an; Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of The Chinese Academy of Sciences,2005. 20~22
- 2 Peter R G. Ultra-rapid-scanning Fourier transform infrared spectrometry. *Vibrational Spectroscopy*, 1999, **19**:165~176
- 3 Robert L R, Peter R G. Axicon as a retroreflector in open-path Fourier transform infrared spectrometry. *Optical Engineering*, 2003, **42**(8):2197~2201
- 4 黄惠明,周荫清,周泗忠,等. 转镜式光谱仪光程差和非线性的研究. 光子学报,2003, **32**(10):1239~1242
Huang H M, Zhou Y Q, Zhou S Z, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(10):1239~1242
- 5 相里斌,杨建峰,高瞻,等. 干涉光谱仪动镜倾斜误差容限分析. 光子学报,1997, **26**(2):132~135
Xiangli B, Yang J F, Gao Z, et al. *Acta Photonica Sinica*, 1997, **26**(2):132~135
- 6 相里斌. 傅里叶变换光谱仪中的主要技术环节. 光子学报,1997, **26**(6):549~554
Xingli B. *Acta Photonica Sinica*, 1997, **26**(6):549~554

Ultra-rapid-scanning Imaging Interferometer

Zhang Wenxi^{1,2}, Xiangli Bin¹, Yuan Yan¹, Tao Ran^{1,2}, Du Shusong^{1,2}, Chen Xi^{1,2}, Su Lijuan^{1,2}

¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

² Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 10003

Received date:2005-11-02

Abstract The principle of ultra-rapid-scanning Interferometer is introduced and a new kind of ultra-rapid-scanning imaging interferometer based on the principle is provided. The imaging interferometer has a wider angle of field and higher scan efficiency. The character of the imaging interferometer is that it has a rotating planner reflector with an angle of inclination instead of the straight-line planner reflector in Michelson interferometer. The questions of lower scan efficiency and instability are well solved in Michelson interferometer. **Keywords** Interferometer; High-sensitivity; Tilting mirror; Michelson interferometer



Zhang Wenxi born in 1979. Graduated from the University of Science and Technology of China(USTC) in 2003. In the same year, he entered the Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS to pursue his master degree. Now he is doing research work in the field of imaging interferometer and signal processing.