

基于 LCTF 调谐的高光谱成像系统设计

张冬英^{1,2}, 洪津¹, 汤伟平¹, 杨伟锋¹, 罗军¹, 乔延利¹, 张灏³

1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031
2. 解放军炮兵学院, 安徽 合肥 230031
3. 解放军总后建筑工程研究所, 陕西 西安 710032

摘要 提出一种新的轻小型高光谱成像系统, 将液晶可调谐滤光片 LCTF 应用于高光谱成像技术, 用电调谐的 LCTF 代替传统的机械滤光片转轮, 在可见-近红外波段上可快速地实现波长的任意调谐。系统由光学镜头、LCTF 和 CCD 探测器组成。文章首先详细描述了系统结构、光学设计及其工作原理; 再利用该成像系统, 以飞艇为平台进行了野外试验, 获取了高光谱立体图像, 所获取的图像有较高的空间分辨率和光谱分辨率; 文章给出 16 个波段中 546~600 nm 的局部图像数据, 最后对图像进行初步的数据处理, 推导出地物 420~720 nm 的光谱反射率。试验验证了该成像系统的高光谱数据成像获取能力, 成像数据可应用于光谱分析。

关键词 液晶可调谐滤光片; CCD; 高光谱遥感

中图分类号: TP73 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2008)10-2455-04

引言

高光谱遥感是当前遥感的前沿技术, 其光谱分辨率高达纳米数量级, 通过高光谱成像所获取的图像, 在获取地表空间二维图像的同时还能得到每个地物的连续丰富的光谱维信息, 形成了一种独特的三维图像, 具有波段多, 光谱分辨率高的优点。研究表明许多地物的吸收特性的半宽为 20~40 nm, 只有采用足够高的光谱分辨率才能区分出那些具有诊断性光谱特性的地物^[1]。针对不同地物的不同光谱特征, 利用高光谱图像可有效地区分和识别地物, 因而被广泛地应用于国土资源、生态、环境监测和城市遥感^[2-6]中。

高光谱立体图像的获取, 目前主要有色散型, 干涉型和滤光片型等几种方式。色散型成像光谱技术将入射光经棱镜或光栅色散, 由成像系统将狭缝按波长成像在探测器的不同位置上; 干涉型成像光谱技术是利用像素辐射的干涉图与其光谱图之间的 Fourier 变换关系获取每个像素的光谱分布。色散型和干涉型成像光谱技术都是通过推扫或摆扫得到三维的目标信息, 因此对平台的稳定性要求高。由于采用了分光技术, 能量分散, 因此通常是牺牲空间分辨率来获取较高的光谱分辨率且体积重量功耗大。滤光片型成像方式是在相机前置一组滤光片, 滤光片采用机械转轮; 这种方法必须多次循环转轮来获取一组窄带宽的光谱图像, 耗时较长, 波段数

量受限, 空间分辨率高而光谱分辨率低。因此发展新的成像遥感设备就显得十分迫切。文中提出一种高光谱成像系统, 用电调谐的液晶可调谐滤光片 LCTF (liquid crystal tunable filter) 代替机械滤光片转轮, 可快速实现波段调谐, 有较高的空间分辨率和光谱分辨率, 相对于传统的滤光片, 体积功耗小, 重量轻, 在画幅式成像的同时保留了较高的光谱分辨率, 对平台的稳定性要求小, 能满足某些特定应用需求。

1 系统设计

1.1 系统结构

基于 LCTF 技术的高光谱成像系统由光学镜头、液晶可调谐滤光片 LCTF 和 CCD (charge-coupled device) 探测器组成。图 1 是系统结构图。系统的工作原理为, 地物反射的太阳光经过光学镜头, 由 LCTF 调谐滤波, 在 CCD 面阵探测器成像, 通过图像采集卡完成对 CCD 相机输出的目标图像数据采集、传输, 最后存储在硬盘上。

在工作状态下, 相机每曝光一次, 系统记录单波长二维的图像数据。观测中心波长的选择由计算机控制, 计算机通过串行口发送指令确定下一中心波长, 并获取图像数据, 如此循环, 直至完成所有波长的拍摄任务。表 1 给出了系统的各参数。

收稿日期: 2007-03-18, 修订日期: 2007-06-22

基金项目: 国家“863”计划基金项目(2006AA127131)资助

作者简介: 张冬英, 女, 1975 年生, 中国科学院安徽光学精密机械研究所研究博士生 e-mail: emilyzdy@aiofm.ac.cn

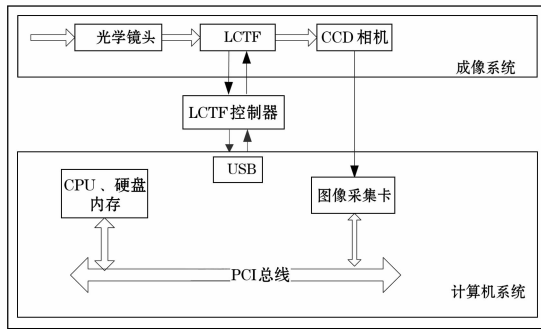


Fig. 1 Diagram of the imaging system with LCTF

Table 1 The imaging system characteristics

波长范围	可见光: 400~720 nm
带宽(FWHM)	20 nm
可视范围(半角)	7.5°
度响应时间	50 ms
分辨率	1 024×1 024
数据精度	12 bit
体积	244 mm×93 mm×93 mm
重量	1.8 kg
功耗小于	17 W

1.2 光学设计

通常情况液晶调变式滤光片主要有两种,一种是液晶调变式滤光片放在镜头前,另一种是放在两个镜头之间,由于LCTF可视范围(半视场角)为7.5°,因为在光学设计时入射光对液晶调变式滤光片的夹角应小于7.5°。由于视角的不同,如果直接把LCTF置在光学系统的前面,会影响图像边缘的光谱分辨率,因此在光学设计上采用了扩束光学系统部分,也就是在LCTF前置一扩束光学系统,在LCTF后面加入成像光学系统的这种工作方式,以满足LCTF对视场角的要求。光学系统结构示意图如图2所示。

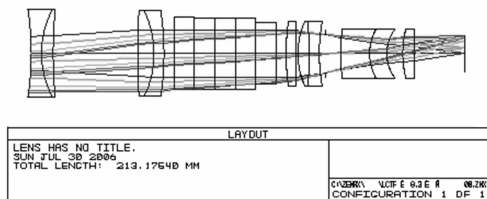


Fig. 2 Optical schematic diagram of the system

1.3 LCTF的工作原理

多波段光谱调谐由LCTF完成,采用LCTF一方面是因为LCTF在很宽的光谱范围内有很高的透过率^[7],另一方面是因为它有很高的光电作用系数。采用LCTF技术可以在可见到红外快速实现光谱波段的任意调谐^[8],并且其体积小、重量轻、功耗低,因此LCTF在对地观测高光谱成像遥感设备的关键部件具有独特的优势。

LCTF基于偏振光的干涉原理而制成。LCTF是一种Lyot型可调谐双折射滤光器件,由依次平行排列的许多级级联而成,每一级包含有两个相互平行的偏振片,中间夹着液

晶延迟片。当光源通过其中一级单元时,由于沿液晶快、慢轴传播的两束光振动方向相同,而位相差一定,因此发生干涉作用。干涉波长取决于e光和o光。

完整地描述Lyot滤光片的性能可以采用Pochi Yeh给出的方法^[9]。 $\Gamma(\lambda)$ 是厚度为 d 的最薄的一级的延迟,其表达式为

$$\Gamma(\lambda) = \frac{2\pi(n_e - n_o)d}{\lambda} \left[1 - \frac{\sin^2 \theta}{2n_o^2} \left(1 - \frac{n_o + n_e}{n_e} \cos^2 \phi \right) \right] \quad (1)$$

其中, n_o 和 n_e 分别是o光和e光的折射率, θ 是入射角, ϕ 是方位角; λ 是入射辐射的波长。

一个N级滤光片的总透过率为

$$T_f = \prod_{i=1}^N \cos^2 [2^{i-1} \Gamma(\lambda)/2] = \left(\frac{\sin 2^N \Gamma(\lambda)/2}{2^N \sin \Gamma(\lambda)/2} \right)^2 \quad (2)$$

一个N级滤光片的总透过率如同有 2^N 条线的光栅,其光谱半宽 $\Delta\lambda_{1/2}$ 和双折射色散率 α 可表述为

$$\Delta\lambda_{1/2} = \frac{0.886\lambda}{2^N d (\alpha - \Delta n/\lambda)} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{\partial n_e}{\partial \lambda} - \frac{\partial n_o}{\partial \lambda} \quad (4)$$

光通过液晶产生的光程差(相位差),由于双折射液晶造成的相位差可以通过电压进行调节,即通过施加不同的电压可以使其不同波长的光发生干涉,可以实现不同波长的扫描。因此液晶延迟片选择了可以透过的波长,真正起调谐作用的是液晶元件。

这里成像系统的LCTF采用美国CRI公司的VariSpec™(VIS-07-35-STD)。图3是LCTF400~720 nm间隔20 nm的各中心波长透过率曲线,从图中可以看出每条曲线都具有高斯线形,峰值不均一,当波长在460~720 nm范围内时,LCTF有良好的透过性。LCTF对随机选择任一中心波长的最大响应时间为50 ms,当滤光片在选定几个或几十个波长之间重复调谐时,可采用“调色板”方法,即将需要调谐的波长全部定义在一个模板中,则会缩短对波长选择的响应时间。

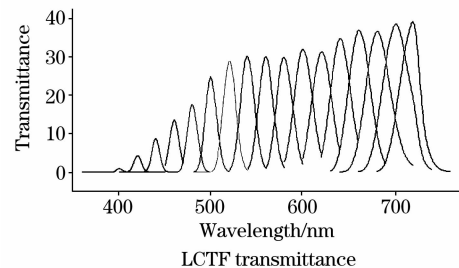


Fig. 3 Transmittance of LCTF

1.4 面阵 CCD

成像系统采用面阵CCD画幅式工作方式,CCD探测器以数字信号的形式输出目标像元的灰度值,对CCD相机工作方式的设定和工作过程的控制由图像采集卡实现。作为探测器用的面阵CCD必须达到一定的测量精度,因此选择采用DALSA公司1M30型科学级数字CCD相机。其量化精度应达到12bit,分辨率为1 k×1 k,图4为CCD相机的光谱响应曲线,从图中可以看出1M30相机满足系统设计要求。该

相机探测器是帧转移体系结构, 帧频可达每秒 30 帧, 即对一个波长的数据采集可以在 34 ms 内完成, 考虑到 LCTF 对任一波长选择的最大响应时间为 50 ms, 因此成像系统在 1 s 内可完成 20 个波长的数据采集。相机与采集卡之间的数据传输采用 Camera link 标准。

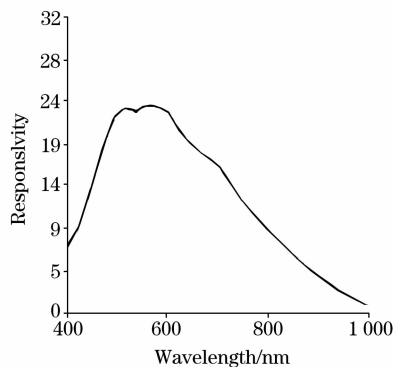


Fig. 4 Response of CCD

2 试验及数据处理

2006 年 11 月在襄樊地区以飞艇为平台, 搭载该装置进行了飞行并获取了高光谱立体图像数据。该装置被安装在飞艇底部, 垂直观测地面。飞艇飞行高度 500 m, 试验中 LCTF 从 420 nm 调谐到 720 nm, 间隔 20 nm, 一组数据共 16 个波长。

图 5 为数据处理流程图。成像系统获取的原始 16 个波长的图像数据, 并不是在同一时间内成像, 系统的帧频为每秒 10 帧, 每获取一组高光谱图像数据需要 1.6 s。因此需要先经过图像配准, 再由定标系统扣除暗电流和不同增益带来的影响, 可生成反射率图和辐亮度图, 最后将 16 个图像文件合并生成 hdf 格式标准遥感图像文件, 得到高光谱图像文件。这里的数据处理是数据的初步处理, 所生成的高光谱图像可用于光谱分析、目标识别、分类等。

图 6 为经过图像配准后的 540, 560, 580 和 600 nm 的局部图像数据。图 7 分别是人工铺设的靶标(灰色)、绿草和水泥路的 16 个波长图像数据经定标后的光谱曲线。



Fig. 5 Diagram of data processing flow

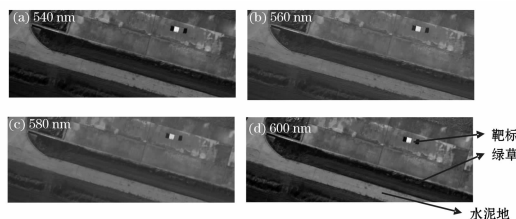


Fig. 6 540~600 nm components of the 16-band image cube

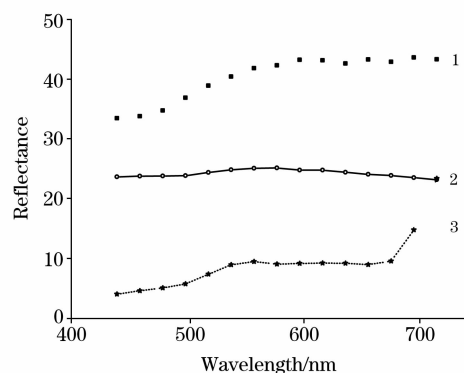


Fig. 7 Reflection spectrum

1: 水泥地; 2: 绿草; 3: 靶标

3 结论

利用光学镜头、LCTF 和 CCD 面阵探测器组成的高光谱成像系统, 搭载在飞艇平台, 进行了野外试验, 该成像系统可以获取地物反射的太阳光并成像, 获取了可见光 420~720 nm 带宽为 20 nm 的 16 个波长图像数据, 成像质量良好, 经初步的数据处理生成可用于光谱分析等高光谱标准遥感图像数据。利用该成像系统来获取高光谱遥感数据是一种新的尝试, 可更有效地应用于光谱识别、光谱分类等方面的光谱分析。

参 考 文 献

- [1] PU Rui-liang, GONG Peng(浦瑞良, 宫 鹏). High Spectral Remote Sensing and Its Application(高光谱遥感及其应用). Beijing: Higher Education Press(北京: 高等教育出版社), 2000.
- [2] QIAN Le-xiang, PAN Xue-qin, ZHAO Qian(钱乐祥, 泮学芹, 赵 芊). Remote Sensing for Land and Resources(国土资源遥感), 2004, (2): 1.
- [3] SHU Jiong, WANG Qiang, SUN Juan(束 炯, 王 强, 孙 娟). Journal of East China Normal University(Natural Science)(华东师范大学学报·自然科学版), 2006, (4):1.
- [4] DU Pei-jun, CHEN Yun-hao, FANG Tao, et al(杜培军, 陈云浩, 方 涛, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(8): 1171.
- [5] LI Zhi-wei, PAN Jian-jun, ZHANG Jia-bao(李志伟, 潘剑君, 张佳宝). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(10): 1813.
- [6] MA Yi, ZHANG Jie, CUI Ting-wei(马 毅, 张 杰, 崔廷伟). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(12): 2303.

- [7] Wu Shintson. *Applied Optics*, 1989, 28: 48.
- [8] Rosario Pareja-Illeras, Jose Diza-Caro, Carmen Blanco-Bartolome, et al. *SPIE*, 2005, 5987: 59870Q-1.
- [9] Pochi Y E H. *Optics Communications*, 1981, 37: 153.

Design of Hyperspectral Imaging System Based on LCTF

ZHANG Dong-ying^{1,2}, HONG Jin¹, TANG Wei-ping¹, YANG Wei-feng¹, LUO Jun¹, QIAO Yan-li¹, ZHANG Xie³

1. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

2. Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China

3. Construction Engineering Research Institute of the General Logistics Department of the PLA, Xi'an 710032, China

Abstract A new compact lightweight imaging system for hyperspectral imaging is described. The system can be thought of as the substitute for traditional mechanical filter-wheel sensor. The system is based on different techniques. It uses an electronic controlled LCTF(liquid crystal tunable filter) which provided rapid and vibrationless selection of any wavelength in the visible to IR range. The imaging system consisted of an optic lens, a CRI VariSpec LCTF and a Dalsa 1M30 camera. First the outline of this system setup is presented, then the optics designed is introduced, next the working principle of LCTF is described in details. A field experiment with the imaging system loaded on an airship was carried out and collected hyperspectral solid image. The images obtained had higher spectral and spatial resolution. Some parts of the 540-600 nm components of the 16-band image cube were also shown. Finally, the data acquired were rough processed to get reflection spectrum(from 420 to 720 nm) of three targets. It is concluded that the experiment has proved that the imaging system is effective in obtaining hyperspectral data. The image captured by the system can be applied to spectral estimation, spectra based classification and spectral based analysis.

Keywords Liquid crystal tunable filter; Charge-coupled device; Hyperspectral remote sensing

(Received Mar. 18, 2007; accepted Jun. 22, 2007)