

文章编号: 0253-2239(2009)01-0187-05

基于液晶可调谐滤光片的多光谱图像采集系统

杜丽丽¹ 易维宁¹ 张冬英¹ 方 薇² 乔延利¹

(¹ 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031; ² 中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要 多光谱遥感探测波段的细化和增加, 要求提高图像的采集和传输速度, 原有的波长调谐方法和接口规范已不能满足需要。提出了一种新的基于液晶可调谐滤光片(LCTF)的多光谱图像采集系统。该系统的成像部分用液晶可调谐滤光片替代传统的机械转轮滤光片, 这种滤光片是电可调谐的, 能在 400~720 nm 波长范围内快速准确地实现 16 个波长的任意调谐, 其最快响应时间达 50 ms; 系统的采集控制部分遵循支持高速数据传输的 Camera Link 接口规范和 PCI 总线标准, 使得嵌入式计算机能通过程序实时控制波长调谐、相机曝光时间设置及图像采集和存储。系统具有体积小、功耗低、稳定性高、采集速度快等特点, 能够在机载、舰载等平台上工作, 可用于低空遥感、环境监测等领域的研究。

关键词 遥感; 多光谱图像采集系统; 液晶可调谐滤光片; Camera Link 规范; 嵌入式计算机

中图分类号 TP751 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS20092901.0187

Multispectral Image Acquisition System Based on Liquid Crystal Tunable Filter

Du Lili¹ Yi Weining¹ Zhang Dongying¹ Fang Wei² Qiao Yanli¹

(¹ Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China)
² Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei, Anhui 230031, China)

Abstract In remote sensing, the subdivision and increase of detecting bands require to enhance the acquisition and transmission speed of image. This makes the old wavelength tuning method and interface specification can not meet the need. A new multispectral image acquisition system based on liquid crystal tunable filter (LCTF) is proposed. In this system, LCTF is used to substitute traditional filter wheel. It is electronically tunable and allows for the rapid, accuracy and vibrationless selection of any wavelength in the range of 400~720 nm, and its fastest response time can be up to 50 ms. And the system follows the Camera Link specification and the PCI bus standard, which makes the embedded computer realize real-time control of the wavelength tuning of LCTF, the exposure time setting of the camera and the acquisition and storage of image data by program. The whole system characterized by small volume, low power consumption, high stability and high acquisition speed. The system could work on plane and airship platforms, and it's suitable for researching in the fields of low altitude remote sensing and environmental monitoring.

Key words remote sensing; multispectral image acquisition system; liquid crystal tunable filter; Camera Link specification; embedded computer

1 引 言

多光谱图像包含空间、辐射、波谱信息, 具有图谱合一的特点, 随着遥感技术的发展与应用, 快速获取具有波段数多、带宽窄、空间分辨率高、信息冗余度低和数据存储量适中的多光谱图像成为需要, 这样的多

光谱图像具有足够的光谱分辨率和空间分辨率, 能够有效地区分和识别地物, 同时又避免了高光谱图像信息冗余度高、数据存储量大、处理复杂的缺点。

目前, 国内外在多光谱图像获取方面, 主要有四种成像方式^[1,2], 第一种是多相机加滤光片式, 第二

收稿日期: 2008-08-28; 收到修改稿日期: 2008-10-15

作者简介: 杜丽丽(1982-), 女, 博士研究生, 主要从事遥感图像分析与处理等方面的研究。

E-mail: nacylily@mail.ustc.edu.cn

导师简介: 易维宁(1956-), 女, 研究员, 主要从事遥感信息分析与处理、计算机控制与接口方面的研究。

E-mail: yiwn@aiofm.ac.cn

种是单镜头多 CCD 分光式,第三种是单相机加滤光片转轮式,第四种是单面阵 CCD 加 Bayer 滤光片式。前两种方式虽然能够对同一目标同时曝光获取多光谱图像,但由于采用多相机,体积和质量较大;第三种方式若采用机械转轮滤光片,则要通过循环转动转轮来获取多光谱图像,耗时多,可增加波段数有限,而第四种方式虽然成像速度快,但却只能获取三波段的图像,带宽粗放。

基于这种情况,本文对液晶可调谐滤光片(LCTF)在成像系统中的应用进行了研究,提出了一种基于液晶可调谐滤光片的多光谱图像采集系统。系统的成像部分采用单面阵 CCD 加液晶可调谐滤光片结构,系统采集控制部分由嵌入式计算机和采集卡构成,系统接口遵循支持高速数据传输的 Camera Link 规范和 PCI 总线标准,使得整个系统体积小、功耗低、稳定性高、采集速度快、操作方便。

2 液晶可调谐滤光片

LCTF 是根据液晶的电控双折射效应和偏振光的干涉原理制成的新型光器件,作为滤光片,它具有带宽窄、功耗低、调谐范围宽、驱动电压低、结构简单、视场角宽、孔径大、无移动部件等优点,因而引起

了各国研究部门的关注。目前,国外已经在这方面做了一系列的研究工作,并制作出了接近实用化的产品^[9~10],但由于受制作工艺的限制,国内大部分工作只限于性能研究^[11,12],应用研究则较少,将其应用于多光谱成像系统的研究则更少。

2.1 液晶电控双折射效应

液晶作为一种特殊的材料,既具有液体的流动性和连续性,又具有晶体的各向异性,因而具有许多特殊的性质,电控双折射效应就是其中之一。向列相液晶在光学性质上类似单轴晶体,光轴与晶体分子的长轴方向一致。当对液晶施加外部电压时,随电压的改变,由于不同电场强度的作用,会使液晶分子的长轴发生一个不同的倾角旋转。在这种状态下,与未加电场时相比,液晶的光轴发生了变化,使通过液晶的光被调制,寻常光和非寻常光间产生相位延迟,这就是液晶的电控双折射效应。液晶的这种电光效应在研制可调谐滤光片方面有较大的应用前景^[13,14]。

2.2 LCTF 的基本结构和工作原理

LCTF 实质上是由若干平行排列的 Lyot 型滤光片级联而成,每级 Lyot 型滤光片的结构如图 1(a)所示。

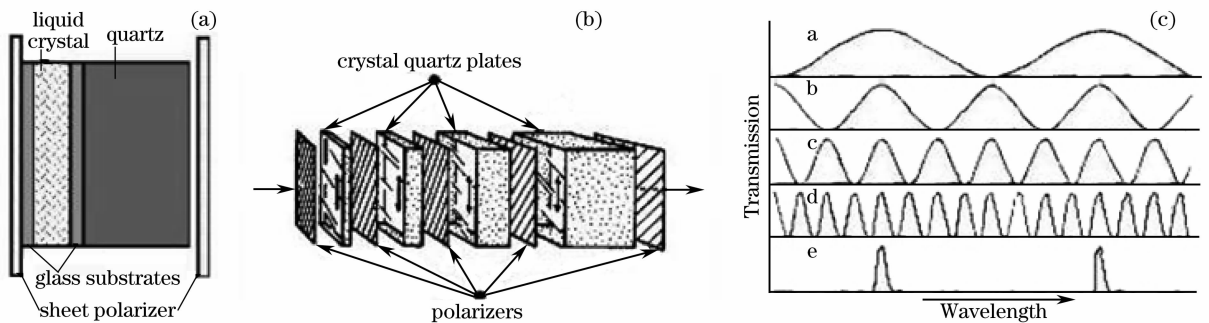


图 1 LCTF 结构及工作原理。(a) Lyot 型滤光片结构图; (b) LCTF 结构示意图; (c) LCTF 工作原理示意图

Fig. 1 Structure diagram and the working principle scheme of LCTF. (a) Structure diagram of Lyot filter; (b) structure diagram of LCTF; (c) working principle scheme of LCTF

每级 Lyot 型滤光片由两个平行的偏振片、液晶层和石英晶体组成。波长为 λ 的光经过前一个偏振片后成为线偏振光,根据双折射效应可知,该线偏振光垂直于液晶层入射后,会产生平行于光轴振动的非常光(e 光)与垂直于光轴振动的寻常光(o 光),它们再沿同一方向传播,但由于两光在液晶层内的传播速度不同,所以从液晶层出射后,o 光和 e 光间产生相位差 $\delta = 2\pi d\Delta n/\lambda$ 。其中, d 为液晶层的厚度, Δn 为液晶对波长为 λ 的光的等效双折射率,而它依赖于波长 λ ,温度 T 和加于液晶层上的电压 V 。故 o

光和 e 光间的相位差又可表示为

$$\delta = 2\pi d\Delta n(\lambda, T, V)/\lambda. \quad (1)$$

此时,虽然 o 光和 e 光是来自同一光线,且沿同一方向传播,但振动方向却相互垂直,故不能发生干涉。当它们通过石英晶体后相位差进一步加大,通过一个偏振片后,o 光和 e 光振动方向平行,产生干涉。其透射比表示为^[3]

$$T_p = \sin^2(\delta/2). \quad (2)$$

从(1)式和(2)式可以看出,当温度 T 恒定时,透过比 T_p 依赖于波长 λ 和电压 V ,当施加在液晶层

上的电压发生变化时,透过比 T_p 将随之改变,从而达到波段调谐的目的。

由 Lyot 型滤光片级联成的 LCTF 如图 1(b)所示^[7],其各级滤光片对光的透射率如图 1(c)曲线 a~d 所示,整个 LCTF 对光的透射率则如曲线 e 所示。

3 系统构成

整个系统的硬件由成像部分和采集控制部分组成,如图 2 所示。配备相应的控制软件,使嵌入式计算机能通程序实时控制 LCTF 波长调谐、相机曝光时间设置及图像采集和存储。

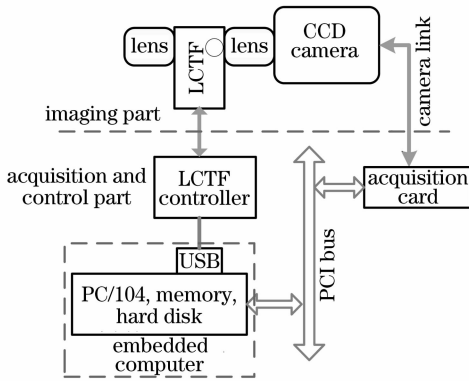


图 2 多光谱图像采集系统结构图

Fig. 2 Structure diagram of the multispectral image acquisition system

3.1 成像系统

系统的成像部分由光学镜头,LCTF和单面阵

CCD 相机组成。通常情况下,LCTF 在多光谱成像系统中有两种使用方式,一种是将 LCTF 置于光学镜头最前面,另一种是将 LCTF 置于扩束光学镜头和成像光学镜头之间。前者结构简单,比较经济,但由于滤光片的孔径比镜头的光圈小且有一定厚度,会导致光强损失,使得图像边缘的光谱分辨率降低。对远目标和大物体成像时,一般都采用后一种方式。本系统主要用于遥感多光谱图像的获取,因此也采用后一种使用方式。

本系统的 LCTF 采用美国 CRI 公司的 VariSpec™ (VIS-07-35-STD) 产品,图 3(a)给出了该产品在 400~720 nm 范围内间隔 20 nm 的各波长的透射率曲线,从图中可以看出每条曲线都具有高斯线形,峰值不均,当波长在 460~720 nm 范围内时,LCTF 有良好的透过性。该产品可以通过 USB 接口实现可见光范围内带宽为 20 nm 的 16 个波长的任意选取,其最快响应时间达 50 ms。

系统中的单面阵 CCD 相机则采用加拿大 Dalsa 公司的 1M30 相机,该相机分辨率为 1024×1024,具有电子快门控制电路,不需要外加机械快门,其动态范围宽,量化精度可达到 12 bit,特别适合于科学研究。图 3(b)给出了该相机的相应光谱曲线^[15],从图中可以看出 1M30 相机在 400~720 nm 波长范围内具有较好的响应度,能够满足需要。该相机 CCD 具有帧转移结构,帧频可达 30 frame/s,其硬件接口遵循支持高速数据传输的 Camera Link 规范。

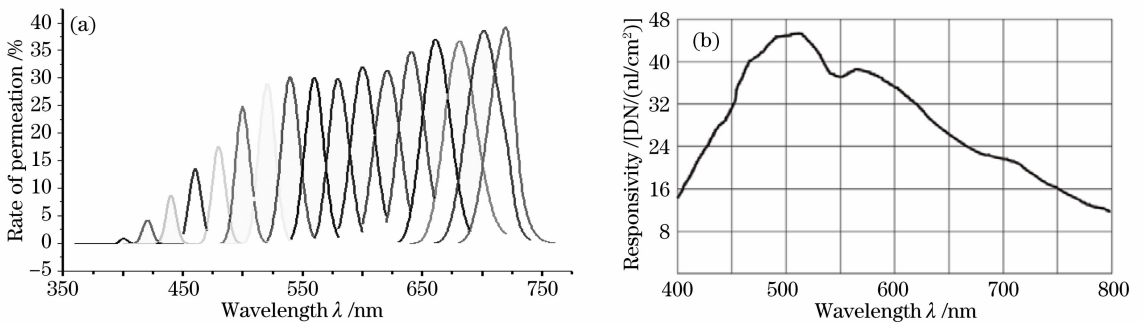


图 3 成像系统各部件性能。(a) LCTF 各波段透射率曲线; (b) 1M30 相机 CCD 光谱响应曲线

Fig. 3 Component performance of the imaging system. (a) Transmittance curve of LCTF; (b) spectral response curve of CCD

3.2 采集控制系统

系统的采集控制部分主要由嵌入式计算机和采集卡组成,其中嵌入式计算机由 PC/104+模块、硬盘和内存构成。PC/104+模块是嵌入式计算机的核心,它将 PCI 总线集成其中,是一种优化的、小型堆栈式结构的嵌入式控制系统,具有尺寸结构小、抗

震性好、功耗低、通用性强、扩展性好的特点。该模块集成了一台计算机的大部分组件,包括 CPU 及芯片组、内存插槽,显示芯片,10/100 Mb/s 自适应网络接口,键盘鼠标 PS/2 接口,IDE 硬盘接口,USB 接口等。系统所用硬盘为固态电子盘,与普通硬盘相比,具有抗震性能好、数据可靠、兼容性强的

优点。

视频采集卡是采集控制系统的关键部件,采用加拿大 Matrox 公司生产的 Meteor-II/Camera Link,该采集卡由主卡和扩展卡组成,主卡可通过堆栈式结构接入 PC/104+模块的 PCI 总线,扩展卡有两个符合 Camera Link 规范的接口,可与成像部分的 1M30 相机相连。采集卡上板载有 32 Mb SDRAM,支持 33 MHz PCI 总线,突发数据传输速率达 132 Mb/s。采集卡基于 Camera Link 规范,该规范支持高速相机控制信号、低速串行通信信号和高速图像数据信号的传输,数据最高传输速率可达 2.38 Gb/s,使本系统可实现对相机的实时控制。

3.3 控制软件

系统控制软件是用 Visual C++ 开发的应用程序,分为两部分,一部分安装在上位机上,一部分安装在嵌入式计算机上,上位机与嵌入式计算机间可通过 RS232 或无线数据链路通信。上位机程序提供人机交互界面,可设置波长、曝光档位、拍摄次数和拍摄间隔等参数,管理嵌入式计算机程序运行状态和相机电源。嵌入式计算机程序则根据上位机发送来的命令,调用 LCTF 和采集卡配套的函数库,完成对 LCTF 的波长调谐、相机曝光档位的设置及图像的采集和存储。

为减少 16 个波段图像的成像时间,在 LCTF 波长调谐的程序中采用了“调色板”方法,即将需要调谐的波长全部定义在一个模板中,这样就缩短了波长调谐的响应时间;多波段图像的采集存储则采用先采集后存储的方法,即利用采集卡上的 32 Mb SDRAM,先将 16 个波段图像采集到 SDRAM 中,然后存储到电子盘中。由于相机采用内触发、帧频和曝光时间可程序控制的曝光模式,使得最大曝光时间限制帧频只能小于 10 frame/s,考虑到波段调谐所用时间,相机采集一个波段图像所用时间大约为 160 ms。

4 系统实验

在完成多光谱图像采集系统的过程中,先后用该系统进行了大量的地面实验,在地面实验的基础上,进一步做了多次低空飞行实验。下面以 2007 年 9 月在襄樊地区的一次飞行实验为例,对整个系统的实验条件和实验结果进行说明和分析。该次实验将整个多光谱图像采集系统搭载在飞艇底部的云台上,垂直观测地面,具体实验条件如表 1 所示。

表 1 实验条件

Table 1 Experimental conditions

System	Multispectral image acquisition system
Platform	Cloud platform on flyship
Date and time	2007-09-09 10:00~14:00
Weather	Clearness
Flight altitude	500 m
Flight speed	5~10 m/s
Band number	16
Wavelength range	400~720 nm
Bandwidth	20 nm
Pixel number	1024×1024
Resolution	0.1 m
Digitization	12 bit
Field angle	7.5°

在该条件下,系统可在 4 s 内获取 16 个波长的图像数据,其中成像时间约为 2.6 s,存储时间约为 1 s。由于不是在同一时间内成像,在利用采集到的多光谱图像进行光谱分析、图像融合与分类、目标识别等研究时^[16,17],需要先对采集到的图像进行配准。图 4(a)给出了一组多光谱图像在 580 nm,600 nm 和 620 nm 波长的原始图,图 4(b)给出了以 600 nm 原始图为基准对 580 nm 和 620 nm 波长图像进行配准的结果图,从图中可以看到,在表 1 所示实验条件下获得的多光谱图像重叠率较高,能够满足低空遥感、环境检测、土地资源管理等领域研究的需要。

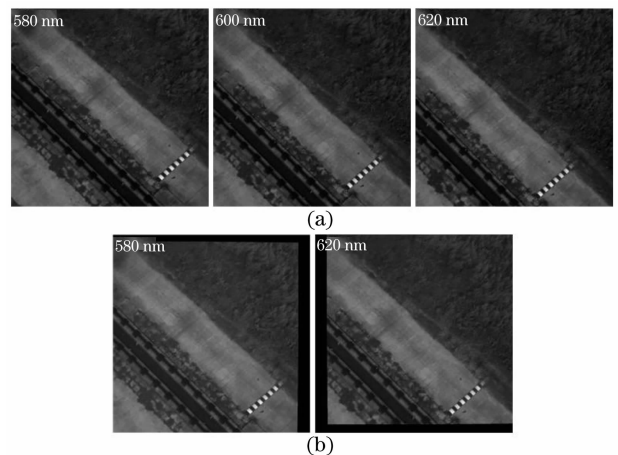


图 4 系统实验获取的多光谱图像。(a) 580~620 nm 原始图;(b) 580 nm, 620 nm 配准结果图

Fig. 4 Multispectral images acquired by the system. (a) Original image between 580 nm and 620 nm; (b) registration image of 580 nm and 620 nm

5 结 论

为快速获取具有波段数多、带宽窄、空间分辨率

高、信息冗余度低和数据存储量适中的多光谱图像, 满足遥感技术发展与应用的需要, 提出一种基于液晶可调谐滤光片的多光谱图像采集系统。系统的成像部分采用单面阵 CCD 加滤光片结构, 用电可调谐 LCTF 取代传统的机械滤光片转轮, 能够在 400~720 nm 波长范围内快速准确地实现带宽为 20 nm 的 16 个波长的任意调谐; 系统采集控制部分接口遵循支持高速数据传输的 Camera Link 规范和 PCI 总线标准, 使用嵌入式计算机通过程序实时控制 LCTF 波长调谐、相机曝光时间设置及图像采集和存储。整个系统体积小、功耗低、稳定性高、采集速度快、操作方便, 能够在机载、艇载等平台上工作。实验表明, 将该系统用于低空遥感平台上, 可在 4 s 内获取 16 个波长具有较高空间分辨率和较好几何特性的多光谱图像, 能够满足低空遥感、环境检测、土地资源管理等领域研究的需要。

参 考 文 献

- 1 Wang Binyong, Shu Rong, Jia Jianjun *et al.*. Design of compact multispectral imager for UAV [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2004, **2**(2): 18~20
王斌永, 舒 嵘, 贾建军等. 无人机载小型多光谱成像仪的设计 [J]. *光学与光电技术*, 2004, **2**(2): 18~20
- 2 Liu Tuanjie, Tong Qingxi, Zheng Lanfen *et al.*. Design and realization of an airborne multispectral digital camera system [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2003, (1): 7~10
刘团结, 童庆禧, 郑兰芬等. 一种航空多光谱数字相机系统的设计与实现 [J]. *测绘通报*, 2003, (1): 7~10
- 3 Shin-Tson Wu. Design of a liquid crystal based tunable electrooptic filter [J]. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(1): 48~52
- 4 Patel J S, Maceda M W. Tunable polarization diversity liquid crystal wavelength filter [J]. *IEEE Photon Technol. Lett.*, 1991, **3**(8): 213~215
- 5 Morris R, Hannah, Hoyt Clifford, Miller Peter *et al.*. Liquid crystal tunable filter Raman chemical imaging [J]. *Applied Spectroscopy*, 1996, **50**(6): 805~811
- 6 Hardeberg, Schmitt, Brettel. Multispectral image capture using a tunable filter [C]. *SPIE*, 2000, **3963**: 77~88
- 7 Nahum Gat. Imaging spectroscopy using tunable filters: A review [C]. *SPIE*, 2000, **4056**: 50~64
- 8 Pimitra N. Stratis, Kristine L. Eland, J. Chance Carter *et al.*. Comparison of acousto optic and liquid crystal tunable filters for laser-induced breakdown spectroscopy [J]. *Applied Spectroscopy*, 2001, **55**(8): 999~1004
- 9 Jon Y. Hardeberg. Multispectral color image capture using a liquid crystal tunable filter [J]. *Opt. Eng.*, 2002, **41**(10): 2532~2548
- 10 Rosario Pareja-Illeras, Jose Diaz-Caro, Carmen Blanco-Bartolomé *et al.*. Design and comparison of multi- and hyper-spectral imaging systems [C]. *SPIE*, 2005, **5987**: 59870Q
- 11 Yun Maojin, Li Guohua, Wang Ning. Study of tunable liquid crystal filter by voltage [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(9): 1119~1122
云茂金, 李国华, 王 宁. 电压调谐液晶滤光片的研究 [J]. *光学学报*, 2002, **22**(9): 1119~1122
- 12 Yun Maojin, Li Guohua, Wu Fuquan. Characteristics of Lyot tunable liquid crystal filters [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(5): 627~631
云茂金, 李国华, 吴福全. 利奥型可调谐液晶电光滤波器的特性分析 [J]. *光学学报*, 2003, **23**(5): 627~631
- 13 Pang Yantao, Li Guohua, Ren Hongwen *et al.*. Design of tunable liquid crystal filter [J]. *Chin. J. Liquid Crystals and Displays*, 2000, **15**(3): 192~195
庞岩涛, 李国华, 任洪文等. 液晶调谐滤波片的设计 [J]. *液晶与显示*, 2000, **15**(3): 192~195
- 14 Wang Ning, Li Guohua, Yun Maojin. Voltage-dependent birefringence measurements of liquid crystals [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(12): 1064~1065
王 宁, 李国华, 云茂金. 液晶电控双折射特性的研究 [J]. *中国激光*, 2002, **A29**(12): 1064~1065
- 15 User's manual and reference of Pantera TF 1M60 and 1M60, www.dalsa.com
- 16 Zhang Qiang, Guo Baolong. Fusion of multispectral and panchromatic images based on the physical characteristics of imaging system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 243~248
张 强, 郭宝龙. 基于成像系统物理特性的多光谱图像与全色波段图像融合 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 243~248
- 17 Liu Bin, Peng Jiexiong. Multi-spectral image fusion based on two-channel non-separable additive wavelets [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(8): 1419~1424
刘 斌, 彭嘉雄. 基于二通道不可分加性小波的多光谱图像融合 [J]. *光学学报*, 2007, **27**(8): 1419~1424