

推帚式超光谱成像仪(PHI)关键技术

邵 晖 王建宇 薛永祺

(中国科学院上海技术物理研究所 上海 200083)

摘 要 成像光谱仪把二维成像技术和光谱技术有机地结合在一起,是具有重大潜力的对地观测仪器。近年来,随焦平面探测器推帚成像技术的发展,先进国家研制成功了超光谱成像仪,成为成像光谱技术的又一生长点。本文结合工作经验,介绍以硅面阵电荷耦合器件(CCD)为探测器的推帚式超光谱成像仪 PHI 的关键技术及发展前景。

关键词 遥感,成像光谱,超光谱,超光谱成像仪

1 引 言

80年代遥感技术最重要的发展之一就是成像光谱仪兴起。到90年代,随光电技术的发展,新的成像仪器在保持成像光谱仪的空间分辨率和信噪比的基础上,得到几百个波段的光谱图像数据。为区别起见,国际上称光谱分辨率小于10nm,波段多达几百个的成像仪为Hyperspectral Imager^[1],国内称超光谱成像仪或高光谱成像仪。

焦平面探测器推帚成像光学原理如图1,图中用透镜表示的可以是透镜组,也可以是反射镜组或折反组件。将地物反射阳光通过成像、准直、色散和会聚光学系统成像在探测器光敏面,探测器每帧数据就是一个穿轨方向地物条带的光谱数据,加上飞机

的运动,就得到地面二维图像及图像中各像元的光谱数据,即图像立方体。

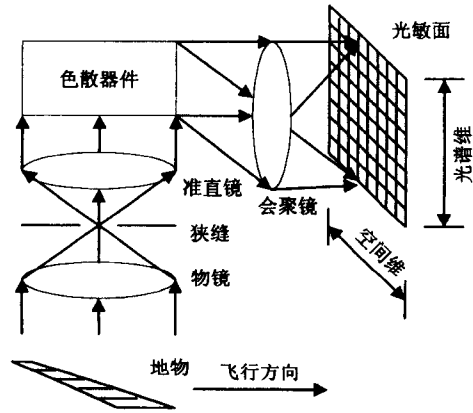


图1 焦平面探测器推帚成像原理
Fig.1 Theory of pushbroom imaging with focal device

表1 超光谱成像仪性能
Table 1 Characteristics of hyperspectral imagers

仪器	国家	波段数	光谱范围 /nm	波段宽度 /nm	瞬时视场 /mrad	总视场 /(°)	记录速率 /bit · s ⁻¹	探测器	运载体	完成时间
AISA	芬兰	286	450—900	1.56—9.36	1.0	21.0	518K	384×288硅CCD	机载	1993
CASI	加拿大	288	430—870	2.9	1.2	35	250K	612×288硅CCD	机载	1989
FLI	加拿大	288	430—805	2.5	0.66	70	875K	385×288硅CCD	机载	1990
HYDICE	美国	206	400—2500	7.6—14.9	0.5	8.94	12M	320×210碲化铟阵列	机载	1995
PHI	中国	244	400—850	<5	1.1	21	2M	752×244硅CCD	机载	1997
TRW HSI	美国	128	400—1000	5	0.057	0.84	40M	256×128硅CCD	星载	1997
		256	900—2500	6				256×256碲镉汞阵列		
TRW III	美国	128	400—	5.0	0.9	13.1	12M	256×128硅CCD	机载	1991
		256		6.25				256×256碲镉汞阵列		

收稿日期: 1998-04-01, 收到修改稿日期: 1998-06-05

80 年代末加拿大 Itres Research 公司和 Moniteq 公司分别研制成功紧凑型机载摄谱成像仪 (CASI)^[2] 和荧光成像仪 (FLI)^[3]。其中 CASI 成为世界上销量最大的超光谱成像仪。随后美国 TRW 公司、McDonnell Douglas 公司、Hughes 公司的 Navel Research 实验室分别开展了超光谱成像仪的研制^[4]，机载型和星载型均获成功。中国科学院上海技术物理研究所和上海仙通信息技术研究所合作，也于 1997 年研制成功了推帚式超光谱成像仪 (PHI)。主要仪器性能如表 1。

2 PHI 的关键技术

推帚成像的技术特点是探测器积分时间长、成像部件无需机械运动，通过先进的光学设计和高新电子技术的应用，使光谱仪器优势在于可以在更高的光谱分辨率下提高信噪比，缩小体积。在推帚式超光谱成像仪 (PHI) 的设计中，注重发挥技术特点，结合先进科技，实现了优良的性能。

PHI 光学原理如图 2。以下介绍 PHI 系统设计

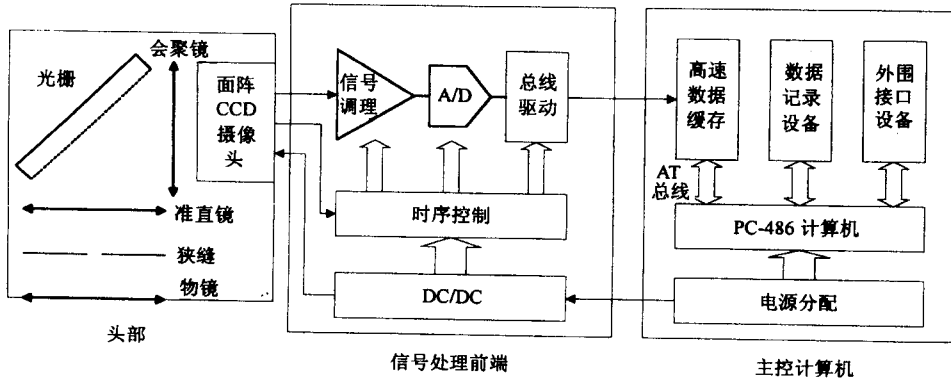


图2 PHI原理框图
Fig.2 PHI block diagram

中已经采用和计划改进的关键技术。

2.1 仪器组件

焦平面探测器 是推帚成像的关键，其光敏元阵列数量直接决定了成像仪的最大空间成像像元数和光谱波段数。本系统采用德州仪器公司 752 × 244 像元的硅面阵 CCD，具有探测灵敏度高、光敏元面积大、热噪声低、紫外响应好的特点。将探测器空间方向像元合并后，实现了空间成像 376 像元 / 行，光谱采样间隔 1.8nm，波段数 244，覆盖 0.4—0.85μm 的光谱范围。

焦平面器件的驱动和制冷 焦平面器件的优点是积分时间可以接近扫描行成像周期，而要发挥这一特长就必须研制积分时间与扫描率匹配的时序驱动。同时，为防止势阱饱和，保证信噪比和动态范围，必须对器件制冷。系统采用大规模逻辑器件编程驱动，实现积分时间可调，同时使用热电堆制冷减少热噪声和本征电流，保持探测器稳定。要求温控稳定达 0.1℃。

自适应光学设计 为保证探测器对焦的长期稳定，将在焦平面探测器安装支架上采用精密自动电

调节部件，可放宽系统组装精度，同时保证在仪器寿命期间对焦准确。

电子系统 需要解决低噪声高频电路的设计、视频模数转换和高速大容量数据记录的问题。高量化位数、多光谱波段、高地面分辨率的数据获取导致数据率急剧上升，对数据记录和传输造成极大压力。系统采用先进的 ExaByte 磁带记录设备，又采用了多磁带机并行记录提高速率的技术。同时采用 DSP 技术对遥感数据实时无损压缩也已列入方案。

2.2 仪器定标

国际上已进入输入端到输出端定标阶段。这样定标不仅确定了光学系统、探测器、前放的性能，而且确定了放大器、模数转换及其他模拟电子线路的特性。本仪器在电路设计时就在全系统进行数字化控制，保证工作状态的数字化和稳定性。

光谱定标和辐射定标方面，探测器每个像元都应该作定标，而超光谱成像仪光敏单元超过 8 万个，光谱分辨率又极高，所以必须采用先进的定标仪器，设计自动快速的定标方案。同时，机上定标也正在考虑，用以监视信号漂移、部件老化，保持定标精度。

2.3 地面反射、辐射反演

遥感进入定量化时代,通过定标数据推算遥感数据代表的探测器接收辐射强度已成为标准处理。再通过太阳辐射测量和大气传输反演,得到反应地物实际物理特性的光谱反射率和辐射强度。NASA在AVIRIS飞行中通过实地的太阳辐射测量、地面反射率测量、大气条件测量,通过MODTRAN 3辐射传输程序,计算探测器接收的光谱辐射。用此数据同遥感数据经定标数据推算得到的光谱辐射比较,在1995年飞行中一致性达96.5%^[5]。EOS计划的ASTER辐射扫描计(1998年发射),预计反演绝对精度在可见光到短波红外波段达 $\pm 4\%$,热红外达1—3K^[6]。

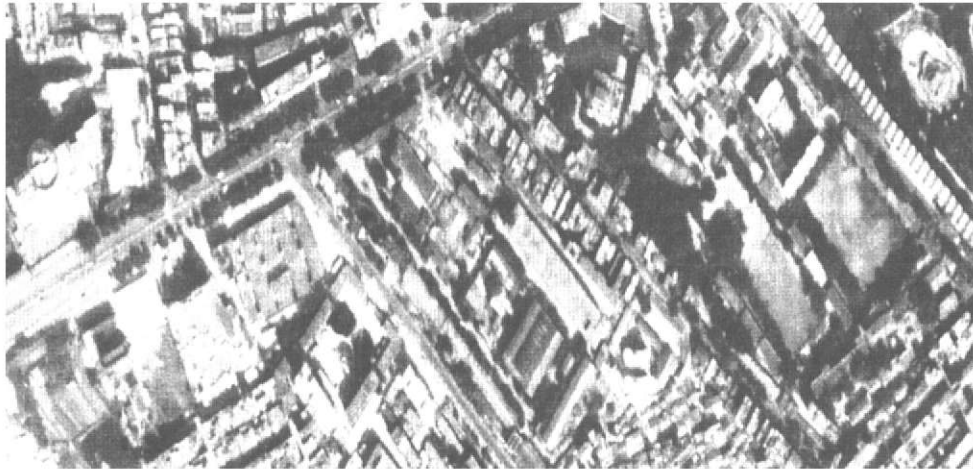


图3 PHI北海飞行图像
Fig.3 PHI Image taken in Beihai City

2.4 多系统集成

遥感作业的投入较大,数据生产周期较长。多系统集成能够减少人员工作量,降低作业成本,提高工作效率,成为遥感发展的趋势。

本系统一方面是同定位、姿态系统的集成,在1997年10月广西北海的飞行中,与动态差分GPS和姿态随动平台配合,用轻小型飞机作平台,成功地完成了任务。在气流条件不理想的情况下,可获得飞机姿态影响极小的遥感图像,图3是一景原始图像。另一方面,将多种遥感功能集成在一起可以在重量体积增加不大的情况下,充分发挥系统部件的功能,大大提高仪器的应用价值和飞行效率。目前正在研究与地学编码图像获取系统的融合技术。

3 发展前景

超光谱成像仪是成像光谱技术中方兴未艾的技术生长点。在其发展初期,受到探测器和大视场光学系统水平限制。目前这一问题基本解决,而主要问题在于高速海量数据记录、处理及辐射、反射定量方面。这些问题也正随技术发展逐步得到解决。

推帚式超光谱仪在星载方面,以其集成度高、可靠性好的技术特点,非常适合用作小卫星有效载荷,用于地球资源调查、环境监测和军事应用;在机载遥感方面,它具有轻、小、高性价比、易进行多系统集成的特点,非常适合轻小型飞机或无人机遥感作业,拓宽了成像光谱技术的应用领域,具有广阔的商业前景。国际上竞相开展此项研究,使得超光谱技术已成为遥感领域的又一热点。

参 考 文 献

- 1 R. Winn Hardin. Hyperspectral Imaging: How Much Is Hype? *Photonics Spectra*. July 1997, 82—92.
- 2 Babey S. K., Anger C. D. A Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI). IGARSS' 89, 12th Canadian Symposium on Remote Sensing. 1989, 2:1028.
- 3 A. B. Hollinger. The Fluorescence Line Imager: an Imaging Spectrometer for Ocean and Land Remote Sensing. *SPIE*, 1987, 834:2.
- 4 R. W. Basedow, W. S. Aldrich, W. D. Kinder. HYDICE System Performance— An Update, *SPIE*, 1996, 2821: 76—84.
- 5 John J. Simmonds, Robert O. Green, Current Status, Performance and Plans for the NASA Airborne Visible and Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS). *Proc. of 2nd International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*. 1996, 1:119.
- 6 Overview of ASTER Project. *ASTER Announcement of Opportunity*. 1997.

作 者 简 介

邵晖,男,1971年生,1993年毕业于华东师范大学电子科学技术系,获信息与通信学士学位;1996年毕业于上海技术

物理研究所获物理电子学与光电子学硕士学位,现为该所航空遥感研究室博士生。主要从事超光谱成像信息获取技术和遥感地形测图多光谱成像集成技术的研究。已发表论文7篇。

Key Technology of Pushbroom Hyperspectral Imager(PHI)

Shao Hui Wang Jianyu Xue Yongqi

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences)

Abstract Imaging spectrometer combines two dimensional imaging technology and spectrometer technology, and it is a promising instrument for earth observation. With the development of technology of pushbroom imaging with focal plain detectors, hyperspectral imager was developed as an advanced remote sensing instrument in recent years and it becomes another grow point of imaging spectrometer technology. As increase of the demand of environment study and city planning, Pushbroom Hyperspectral Imager (PHI) was built under the cooperation of Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, and Shanghai Senstron Institute of Information Technology. PHI uses Si CCD as focal plain detector. It has a field-of-view of 21 degrees with spatial resolution of 1.5 mrad, and 244 spectral bands covering from 0.40 to 0.85 micrometer in wavelength with spectral resolution better than 5nm in full range. This paper discusses the key technology of PHI, including critical components, system calibration, ground reflectance and radiation calculation and multi-system integration. The image taken by PHI in remote sensing operation for city planning of Beihai, Guangxi province, is also given.

Key words Remote sensing, Imaging spectrometer, Hyperspectrum, Hyperspectral imager