

文章编号: 1001-3806(2007)02-0188-04

多光谱探测与激光多光谱探测技术的进展

张 宇, 赵 远, 吴晓敏, 陈钟贤, 孙秀冬*

(哈尔滨工业大学 物理系, 哈尔滨 150001)

摘要: 主要介绍了多光谱探测及激光多光谱探测技术的发展及现状, 并着重探讨了激光多光谱扫描成像系统的关键技术与发展趋势。鉴于激光多光谱主动探测技术的优势, 这项技术将在制导、目标识别、地形匹配及其它激光主动探测领域具有广泛的应用前景。

关键词: 激光技术; 多光谱探测; 波谱特性; 激光多光谱探测技术; 扫描成像

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A

Advancement on multi-spectrum detecting and laser multi-spectrum detecting technology

ZHANG Yu, ZHAO Yuan, WU Xiaomin, CHEN Zhongxian, SUN Xiudong

(Department of Physics Harbin Institute of Technology Harbin 150001, China)

Abstract The advancement and actuality of detecting technology of multi-spectrum was introduced, the key technology and its development of detecting system of laser multi-spectrum scanning imaging were chiefly discussed. Based on the advantage of laser multi-spectrum active detection technology, it can be used in broad field such as control and guide, target identifying, terrain matching and other field that laser active detection can be used.

Key words laser technique; multi-spectrum detection; spectral characteristic; laser multi-spectrum detection technology; scanning imaging

引 言

多光谱探测技术源于遥感技术, 系非接触式感知目标的探测方式, 即在一定距离之外探测、识别和测量需要研究的目标, 获得其相关的有用信息。当太阳和诸如激光器等人造辐射源辐照目标物体时, 物体就能反射、辐射和吸收电磁波, 不同的物体或同一物体在不同环境下对电磁波的反射、辐射和吸收具有不同的规律性, 称为物体的波谱特性。正是利用物体具有唯一的波谱这一特性, 通过将标准曲线与实际探测中获得的判读曲线进行比较, 从而确定目标物体的物理和化学特性, 并探测和识别目标。多光谱探测技术能在同一时间获得同一地面(包括许多不同的物体)的不同波段的波谱特性信息。这些信息可以是以地面光谱强度表现出来的影像信息, 也可由数据信息转换成的地物亮度(或反射率)曲线表现出来, 从而实现目标的探测与识别。下面将介绍多光谱探测技术与激光多光

谱探测技术的发展与现阶段的进展情况, 尤其是近几年的进展, 以及未来几年多波段遥感技术的发展趋势。

1 多光谱探测技术的发展与现状

多光谱探测技术是在多波段遥感技术的基础上发展起来的。多波段遥感技术利用多通道传感器进行不同波段的同步摄像或扫描, 取得同一地面景象的不同波段的影像或数字数据, 从而获取有用信息。其中多光谱摄影只是多波段遥感方法之一, 由于多光谱摄影是以胶片为元件, 用摄影方式获得所需的信息, 所以, 它所利用的波长受到胶片的感光范围和镜头的透光能力的限制。这就促进了多波段遥感技术的发展。

多光谱遥感技术最初应用于航空摄影, 由于多光谱摄影与其它摄影系统相比具有较高的分辨力, 所以, 最初的十几年里多光谱摄影在空间遥感技术上得到了广泛的应用。

1962年, 莫斯科测绘学院制成了 9 个镜头的摄影机, 可以摄取 9 种不同波段的图像, 这就是初期的多光谱传感器。1969年, 美国宇航局最初设计的 SO₆₅多台式摄影机首次从宇宙空间获得了地面的多光谱图像。为了解决多光谱摄影图像的配准问题, 1973年, 出现

作者简介: 张 宇 (1965-), 男, 副教授, 博士研究生, 主要从事激光探测的理论、实验与计算机仿真研究。

* 通讯联系人。E-mail: xdsur@hit.edu.cn

收稿日期: 2006-02-11; 收到修改稿日期: 2006-03-28

了光束分离型的多光谱摄影机,它可以同时取得同一地区的 4 个光谱带的影像^[1]。

由于在高空飞机摄影中常遇到低温、低湿、静电放射以及近于真空的空间,造成感光软片加速干燥和破裂,在卫星摄影中又受到宇宙线辐射的影响,也使软片退化和受到损坏,采用电视摄像或电子扫描技术可实时将空间影像传到地面,成功地解决了上述问题。

自 19 世纪 70 年代初,以地球资源卫星(Landsat 或称陆地卫星)为代表的多波段遥感技术迅速发展。1972 年,美国的 Landsat-1 上天,上面安装了多通道电视摄像机系统和多光谱扫描仪系统。后来发射的 Landsat-4 和 Landsat-5 带有多光谱扫描子系统和主题绘图仪。多光谱扫描子系统有两个反射的近红外波段($0.7\mu\text{m} \sim 0.8\mu\text{m}$ 和 $0.8\mu\text{m} \sim 1.1\mu\text{m}$)和两个可见光波段($0.5\mu\text{m} \sim 0.6\mu\text{m}$ 和 $0.6\mu\text{m} \sim 0.7\mu\text{m}$),地面分辨率为 80m。主题绘图仪有 3 个可见光波段($0.45\mu\text{m} \sim 0.52\mu\text{m}$, $0.52\mu\text{m} \sim 0.60\mu\text{m}$ 和 $0.63\mu\text{m} \sim 0.69\mu\text{m}$),一个反射的近红外波段($0.76\mu\text{m} \sim 0.90\mu\text{m}$)、两个反射的中红外波段($1.55\mu\text{m} \sim 1.75\mu\text{m}$, $10.40\mu\text{m} \sim 12.50\mu\text{m}$)和一个热辐射红外波段($2.08\mu\text{m} \sim 2.35\mu\text{m}$),地面分辨率为 30m,比多光谱扫描子系统大有改善。1999 年 4 月,美国发射了 Landsat-7,携带一台增强型主题测绘仪(ETM Plus),ETM Plus 是一台 8 波段的多光谱扫描辐射计,工作于可见光、近红外、短波红外和热红外波段。多光谱图像的空间分辨率为 30m,同时,将热红外波段的分辨率提高到 60m,并首次采用了分辨率为 15m 的全光谱段^[2]。

在美国的影响下,其他国家也相继发射了一系列卫星。1986 年 2 月,法国发射了 SPOT 卫星,有两个可见光波段($0.50\mu\text{m} \sim 0.59\mu\text{m}$, $0.61\mu\text{m} \sim 0.68\mu\text{m}$),一个近红外波段($0.79\mu\text{m} \sim 0.89\mu\text{m}$)和一个全色波段($0.51\mu\text{m} \sim 0.73\mu\text{m}$),具有 20m 和 10m 两种模式的空间分辨率。1987 年 2 月,日本的海洋观测卫星(MOS-1)发射成功,其多光谱电子自扫描辐射计采用的是一种 4 个波段($0.51\mu\text{m} \sim 0.59\mu\text{m}$, $0.61\mu\text{m} \sim 0.69\mu\text{m}$, $0.72\mu\text{m} \sim 0.80\mu\text{m}$, $0.80\mu\text{m} \sim 1.10\mu\text{m}$)的线阵电荷耦合器件,地面分辨率为 45m。此外,MOS-1 还携有可见光和热红外辐射计,有一个可见光波段($0.50\mu\text{m} \sim 0.70\mu\text{m}$)和 3 个红外波段($6.00\mu\text{m} \sim 7.00\mu\text{m}$, $10.50\mu\text{m} \sim 11.50\mu\text{m}$, $11.50\mu\text{m} \sim 12.50\mu\text{m}$)。1988 年,印度空间研究组织发射了遥感卫星 IRS-1,带有两个传感器,其多光谱分辨率在可见光范围为 73m,在近红外范围为 365m。

由于主动装置与被动装置相比具有更可靠的遥感信息源,所以与此同时主动卫星系统也发展起来了。

1995 年 11 月,加拿大发射了 RADARSAT 雷达卫星,采用合成孔径雷达,可以获得高空间分辨率和时相分辨率的图像,扫描图像幅宽为 45km ~ 500km,分辨率为 10m ~ 100m,并能以很快的速度将信息传给地面。

20 世纪 90 年代的印度和俄罗斯的卫星地面分辨率达到 58m 和 2m; 1999 年 ~ 2003 年,美国发射了 IKONOS 卫星、Quick Bird 卫星和 OrbView-3 卫星,全色波段的地面分辨率已达 1m 以上,多光谱分辨率为 2m ~ 4m,法国和以色列也拥有类似的高分辨率卫星。

成像光谱仪是多波段遥感技术的主要传感器,对它的研究是从 20 世纪 80 年代开始的,研制这类仪器的主要目的是想获取大量窄波段连续光谱图像数据。最初的多光谱敏感器,只能在几个较宽的不连续谱段成像(3~5),识别场景的主要特征(如岩石、树木、部队、水等),进一步的多光谱敏感器,能在 60 个 10nm 级的连续光谱段成像,可识别场景内的具体构成(如岩石、树木、部队、水的具体类型以及状况、构成结构等),大大地提高了识别目标的精确度。

多光谱成像光谱仪从光谱范围为 1 个多微米,通道数为几个,发展到现在光谱范围和谱段数水平都有极大提高。1998 年,美国 TRW 公司研制的超光谱成像仪 TRW IS-3 的光谱范围为 $0.4\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$,具有 384 个连续光谱通道,可见光近红外带宽仅为 5nm,短波红外也只有 6.25nm^[3]。2000-07-19 美国在加州范登堡空军基地发射的“强力小卫星(Mightysat)”,其主要有效载荷即为一台傅里叶变换超光谱成像仪^[4],也是一台星载干涉型超光谱成像仪,具有 150 个窄光谱段,目前已发回大量光谱图像。2003 年,英国雷尼绍公司推出波谱范围为 $0.2\mu\text{m} \sim 1.0\mu\text{m}$,空间分辨率为横向 $0.5\mu\text{m}$ 、纵向 $2\mu\text{m}$ 的喇曼光谱仪。

我国在多光谱探测技术方面近年来取得了长足进展,1999 年,在中国和巴西联合研制的地球资源卫星上搭载的红外多光谱扫描仪是由中国航天科技集团 508 所自主研发的我国第 1 台长寿命、实时传输型地球资源红外多光谱扫描仪,在 $0.50\mu\text{m} \sim 12.50\mu\text{m}$ 光谱范围内分布有 4 个谱段,扫描带宽 119.5km,像元分辨率 77.8m。我国第 1 颗主要用于海洋研究和开发的试验卫星海洋 1 号(HY-1)的主要的有效载荷之一 CCD 相机是 1 台宽谱段多光谱相机,4 个谱段覆盖光谱范围为 $0.43\mu\text{m} \sim 0.90\mu\text{m}$ 。2004 年,由中国科学院上海技术物理研究所研制的多光谱扫描仪已装备到海监飞机上,在 $0.20\mu\text{m} \sim 12.5\mu\text{m}$ 光谱范围内分布有 11 个谱段。此外,我国在多光谱探测的传感器和光谱探测的图像融合算法等方面也都取得了较大进展。

2 激光多光谱探测技术的新进展

多光谱探测技术经过几十年的发展,已经从单纯的被动遥感技术发展为主被动相结合的多通道多光谱探测和主动的激光多光谱探测技术,其中激光多光谱扫描成像探测技术最具实用性。

2.1 激光多光谱扫描成像

激光技术是 20 世纪 60 年代初发展起来的一门高新技术,经过 40 多年的发展,从原理、实验手段到制造工艺都已逐步成熟。由于激光具有高亮度、方向性强、单色性好和相干性好等优点,所以广泛地应用于军事测距、激光制导、前视避障和地形匹配等方面^[5~7]。

激光多光谱扫描成像探测方法不仅保持了激光探测所具有的较高的角度分辨率、距离分辨率和极高的抗干扰能力,而且利用激光多光谱扫描成像探测方法得到的数据图像中还包含了被探测物体的 3-D 空间和光谱(频谱)信息,比通常的 3-D 图像增加了光谱(频谱)维,故可以称为 3-D+1 图像。而且,激光多光谱扫描成像是主动探测方式,也就是说得到的图像的频谱信息是由激光光源的频率成分决定的,这种主动的探测方式比以往的被动方式有更高的精确度,并可以获得被测物体表面及近表面物质材料的某些几何、物理和化学特性,进而可以有效地进行目标的伪装识别。

2.2 激光多光谱扫描成像系统需要解决的关键问题

如图 1 所示,激光多光谱扫描成像系统主要包括激光发射系统、扫描系统、接收系统、图像处理和数据融合等。

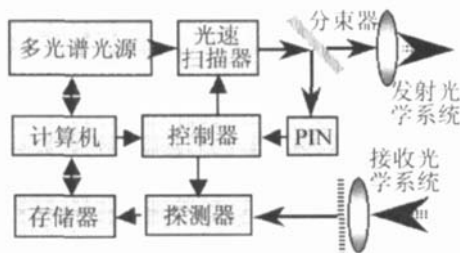


图 1 激光多光谱扫描成像系统

其中主要的关键技术包括多色激光光源的获取、光学系统设计与控制系统设计以及后期的实时图像处理技术。根据目前的发展现状来看,只要解决了多色光源的获取这一难题,相应的光学系统设计和控制系统设计与后期实时图像处理等问题并不难实现。

激光的特性之一就是单色性好,但在激光多光谱扫描系统中需要的却是多波段的激光光源,这就需要以往对激光光源进行改造或开发新型的激光器。其中对现有激光光源进行改造可选择以下两种方法:一是采用多个不同波长的激光器通过光束会聚等手段作

为多光谱扫描的光源;二是采用光参变振荡器对现有的激光波长进行调制,产生某一波段或几个波段的连续光作为多光谱扫描的光源。就目前而言,以上两种方法均存在不足。首先,对多个波段的激光进行处理,不仅对光学系统的设计提出了更高的要求,而且也给其它控制系统的设计增加了难度;其次,对于利用光参变振荡器将现有激光器产生的激光进行波长调制,虽然可以产生某一波长范围的激光,但它只是连续可调谐的激光,这就限制了扫描成像的帧频,对于相对运动速度较大的目标则难以胜任。另一方面,光参变振荡器的转换效率比较低,大大降低了探测距离。因而,多色光源的获取是多光谱扫描成像系统中需要解决的关键问题。

2.3 激光多光谱扫描成像技术的发展状况

目前,激光多光谱光源扫描成像系统主要有 3 种形式,即:(1)多个激光器组成的扫描系统,在光束合束后进行扫描成像;(2)单个激光器利用光参变振荡器对激光波长进行调制,产生连续可调谐激光输出的扫描光学系统;(3)单色激光主动扫描成像配合多色红外被动成像相结合的扫描系统。这些多光谱扫描技术的发展促进了多光谱成像技术的进步,随着激光器等光学器件的发展,并且考虑到未来具体型号上实际应用的可行性,其中连续可调谐激光输出的扫描光学系统及其相关的关键技术的研究日益受到各国军方的重视。

1991 年,PRUTZER 等人报道了“一种高分辨率的机载多传感器系统”^[8]。其系统包括一个 CO₂ 激光雷达、一个近红外激光雷达、波长为 12μm 的被动红外激光雷达和一个 85.5GHz 的毫米波雷达,满足了当前下视和前视探测系统的需求。

1992 年,KROHN 等人研究并进行了“多光谱成像半导体激光雷达”的挂飞试验^[9]。该项研究以砷化镓半导体激光器作为激光雷达主动成像系统光源,其传感器还增加了红外通道以提高探测概率和降低虚警概率。范围为 3μm~5μm,8μm~12μm 的被动探测波段,和 0.85μm 的主动探测波段。

1997 年,VA DYANATHAN 等人介绍了一种主动多光谱激光雷达传感器^[10]。该项研究采用掺钕钇铝石榴石激光器,利用光参变振荡器对波长为 1.064μm 激光进行调制,可以产生光谱范围在 1.35μm~5μm 内的连续可调谐激光,从而实现了多色激光光源。

2000 年,KENNETH 等人提出了一种新颖的用于 3-D 激光雷达成像的技术^[11],将 2-D 焦平面阵列和读出电路置于同一个芯片上,能提供高分辨率的距离和距离强度图像,用于探测难以识别的目标。

2002年, FOY 等人进行了“高光谱被动与多光谱主动传感器的对比实验”, 其主动探测系统利用的是工作在 44 个波长上的 CO₂ 激光雷达系统, 被动系统具有 128 个光谱通道^[12]。

2003年, HOLLOWAY 等人论证了“用于海军侦察的半导体激光器阵列”, 该阵列结合高分辨率增强成像系统, 可以照射暗处的目标, 实现探测目的。增加波长选择可以将该阵列用于多光谱主动成像^[13]。

近两年来, 其他国家在这方面也取得了很大的进展, 进行了大量的实验研究。我国在多波段遥感技术及激光多光谱探测方面也紧紧跟踪国际先进国家的发展趋势, 在激光器、传感器、图像实时处理以及激光多光谱扫描成像系统方面取得长足进展, 并已将其成果进行了实际测试与应用。此外, 国内对激光多光谱探测的关键技术问题也逐渐重视起来, 部分应用技术的研究已列入未来 5 年的攻关项目。可以预计在未来数年里, 激光多光谱扫描成像系统仍将是世界各国研究的主要方向, 并将此技术广泛应用于环境监测与军事作战等诸多方面。

3 结 论

概述了多光谱探测技术的进展与现状, 分析了正处于发展阶段的激光多光谱扫描成像的关键技术及其发展。就目前而言, 激光多光谱成像系统亟待解决的关键技术包括多色激光光源、多光谱光学系统、多光谱探测与信号处理等技术。由于激光多光谱扫描成像保持了激光技术的优势, 所以在未来实际应用中将具有很大的发展潜力。

(上接第 187 页)

片。当然, 空间碎片的覆盖范围很广, 并且大小的差异极大^[7-9]。对于更小的或更远的空间碎片, 还有待于采用其它的手段进行探测^[10]。

参 考 文 献

- [1] SONG F H. Modern space photoelectric system and applications [M]. Beijing National Defence Industry Press 2004. 152-187 (in Chinese).
- [2] HANG X Zh, JIAO Sh J. Space optical remote sensing radiometry [M]. Harbin Institute of Technology Press 1994. 33-44 (in Chinese).
- [3] WU Z F, LU M L. Infrared and glimmer technology [M]. Beijing National Defence Industry Press 1998. 40-42 (in Chinese).
- [4] HUANG B, QIU Q. A calculation of minimal detectable power of laser radar in space [J]. Journal of University of Electronic Science and

参 考 文 献

- [1] HU C J. Foundation of remote sensing [M]. Chengdu Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1984. 203-209 (in Chinese).
- [2] HU Z L, HOU F, ZHANG H R. Data fusion between multispectral image and panchromatic image of Landsat7 satellite [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(1): 37-40 (in Chinese).
- [3] JIAO S J. A new type hyperspectrum imager of America [J]. International Outer Space 1998(11): 24-27 (in Chinese).
- [4] SHEN Z, GE Z J, ZHANG L T. The principle of the spaceborne hyperspectrum imager [J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing 2002, 23(2): 28-34 (in Chinese).
- [5] LIU Y J. New LIDAR system equipped with a high resolution [J]. Science of Surveying and Mapping 2003, 28(1): 59-61 (in Chinese).
- [6] JIANG T Y, YANG J, ZHOU X S. Developing status of laser interference technique [J]. Infrared and Laser Engineering 2001, 30(5): 387-390 (in Chinese).
- [7] TRUSSELL C W. 3D imaging for army applications [J]. Proc SPIE, 2001, 4377: 126-131.
- [8] PRUTZER S, BRON D G, QUETT M. A high resolution airborne multisensor system [J]. Proc SPIE, 1991, 1480: 46-61.
- [9] KROHN W, MATTEW S W. Multispectral diode-based imaging laser radar [J]. Proc SPIE, 1992, 1633: 294-303.
- [10] VADYANATHAN M, GRAYSON T P, HARDIE R C *et al*. Multispectral laser radar development and target characterization [J]. Proc SPIE, 1997, 3065: 255-266.
- [11] KENNETH J MOHAN V, SONG X *et al*. Adaptive lidar receiver for multispectral imaging [J]. Proc SPIE, 2001, 4377: 98-105.
- [12] FOY B R, PETRIN R R, QUICK C R *et al*. Comparisons between hyperspectral passive and multispectral active sensor measurements [J]. Proc SPIE, 2002, 4722: 98-109.
- [13] HOLLOWAY J J, GROSSBY F, PETEE D *et al*. Laser diode arrays for naval reconnaissance [J]. Proc SPIE, 2003, 5089: 238-249.
- [14] Technology of China 2004, 33(1): 35-38 (in Chinese).
- [5] PING Q W, HE P K, ZHAO B J. Target detection algorithm of laser echo [J]. Laser Technology, 2004, 33(1): 218-220 (in Chinese).
- [6] OSCHER G R. Optical detection theory for laser applications [M]. New York: Wiley Interscience Publication, 2002. 47-60.
- [7] QIX F. The overview of space debris observation [J]. Aerospace China 2005, 327(7): 24-26 (in Chinese).
- [8] YUAN Q Zh, SUN Y Q, WANG Sh J. Research of micro-space debris detection [J]. Chinese Journal Space Science, 2005, 25(3): 212-217 (in Chinese).
- [9] HEMERDINGER D J. Orbital debris and associated space flight risks [A]. Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium [C]. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2005. 508-513.
- [10] MENSHISHNEK M J, SUTTON D G. Technical report on space debris [EB/OL]. http://www.oosa.univie.ac.at/Reports/AC105_720E.pdf 2005-11-12.