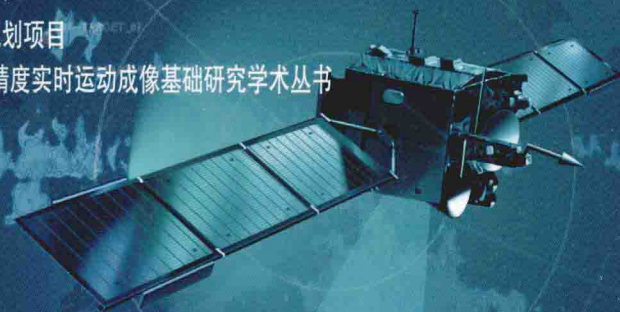




“十二五”国家重点图书出版规划项目  
高分辨率对地观测系统中的高精度实时运动成像基础研究学术丛书



# 激光雷达成像原理与 运动误差补偿方法

舒 嵘 徐之海 等 编著



科学出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目  
高分辨率对地观测系统中的高精度实时运动成像  
基础研究学术丛书

# 激光雷达成像原理与 运动误差补偿方法

舒 嵘 徐之海 等 编著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书汇集了国家重点基础研究发展计划(973计划)课题“多模式激光雷达成像运动误差溯源与高精度补偿”(2009CB724004)的主要成果。介绍了激光雷达的类型、组成和特点,以及成像激光雷达的发展现状,分析了运动误差对成像激光雷达的影响;分别从扫描成像、凝视成像、合成孔径成像三种体制方面开展了激光雷达成像与误差补偿机理研究;最后介绍了误差补偿方法在机载扫描成像激光雷达中的应用。

本书可供激光雷达测量、激光制导、激光遥感方面的科研人员使用,也可作为高等院校物理电子学、仪器仪表、光电工程等相关专业的研究生或高年级本科生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

激光雷达成像原理与运动误差补偿方法/舒嵘等编著. —北京:科学出版社,2014.6

(高分辨率对地观测系统中的高精度实时运动成像基础研究学术丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-041081-8

I. ①激… II. ①舒… III. ①激光成像雷达-雷达成像-研究②激光成像雷达-动态误差-误差补偿-研究 IV. ①TN958.98

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 128984 号

责任编辑:汤 枫 牛宇锋 / 责任校对:桂伟利

责任印制:肖 兴 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年6月第一版 开本:720×1000 1/16

2014年6月第一次印刷 印张:20 3/4

字数:403 000

定价:110.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



《高分辨率对地观测系统中的高精度实时  
运动成像基础研究学术丛书》编委会

主 编:房建成

编 委:(按汉语拼音排序)

戴 明	房建成	龚健雅	郭 雷	洪 文
李道京	李德仁	李 京	林宗坚	刘沛清
刘先林	贾 平	贾云得	金国藩	匡定波
倪国强	舒 嵘	陶 然	童利民	童庆熹
王家骐	王建宇	汶德胜	吴一戎	相里斌
向茂生	薛永祺	徐立军	徐彭梅	徐之海
俞梦孙	姚骏恩	张寅超	张兆田	钟 掘
钟麦英	周立伟			

## 前 言

激光成像雷达是一种主动成像探测的光机电一体化系统,可以快速获取目标图像,从而描绘目标的几何形状、表面特征、运动特征等信息。近年来,激光雷达技术在地基目标探测和对地观测领域的应用中得到了迅猛的发展,逐步成为高分辨率对地观测领域中除传统光学和微波成像之外的重要成像手段和前沿技术之一。

在高分辨率对地观测系统中,激光雷达需要在飞机或卫星等运动平台上对地物目标实现远距离、高分辨成像,因此对激光雷达的探测能力和分辨率提出了更高的要求,对该类系统中的光学、机械、电子和数据处理等方面提出了新的技术挑战。其中,平台的非理想扰动和振动成为制约激光雷达实现高分辨成像的一个重要瓶颈,研究运动成像与误差补偿技术是实现激光雷达高分辨率成像的关键。

国家重点基础研究发展计划(973计划)课题“高分辨率对地观测系统中的高精度实时运动成像基础研究”中设立了“多模式激光雷达成像运动误差溯源与高精度补偿”课题,针对激光成像雷达中的扫描型、凝视型和合成孔径型三大类成像模式,开展了运动误差形成机理和补偿校正技术的基础研究工作。本书的主要内容包含成像激光雷达的基本原理、运动误差分析与溯源、运动误差的校正方法等,并分别针对扫描型、凝视型和合成孔径型激光雷达三种成像工作模式对误差形成机理和校正方法进行阐述,其核心内容包括973课题的主要研究成果。本书的编委会由参与973课题研究的浙江大学、中国科学院上海技术物理研究所、武汉大学和北京理工大学的专家和学者组成。

全书共5章。第1章叙述成像激光雷达的特点、种类、基本组成、数学模型、发展现状、运动误差的来源和影响,由舒嵘、徐之海编写;第2章详细介绍机载扫描成像激光雷达系统,包括基本原理、几何模型、系统构成、数据生产流程、运动误差的影响和补偿,以及最新的关键技术进展等,由陈思颖编写;第3章详细介绍凝视成像激光三维雷达,包括基本原理、系统构成、误差组成、运动平台的误差影响和补偿,以及数据校正结果等,由严惠民、张秀达编写;第4章介绍合成孔径激光雷达,包括成像原理、成像算法、平台的不同振动模式对成像误差的影响、运动误差补偿方法等,并通过构建一个合成孔径激光雷达成像试验系统来全面分析上述内容,由舒嵘、洪光烈编写;第5章介绍机载扫描成像激光雷达数据质量评价与控制,包括激光雷达检校场目标的布设、不同处理级别的数据产品的质量评估方法、质量控制的环节和处理等,由马洪超编写。全书由舒嵘、徐之海统稿,参与校稿的还有马艳华、郭颖、卜弘毅、蔡银桥、陈卓等。

在“多模式激光雷达成像运动误差溯源与高精度补偿”课题研究过程中,各单位的研究生作出了重要贡献,他们的工作成果在本书中得到了充分体现,为此,向参研的各位研究生表示衷心感谢。

本书主要面向空间对地观测系统设计、空间对地观测数据处理与应用、空间信息领域等相关专业的高年级本科生和研究生,也可作为遥感应用领域的工程技术人员的参考书。

激光雷达的运动补偿技术是当前激光雷达应用需要重点解决的问题,本书编写组的成员都是在此领域的研究者也是学习者,书中介绍的部分技术尚处于研究阶段,作为研究成果取得了较大进展,但尚未形成成熟的技术体系和规范流程,虽然作者力求严谨,但是水平所限,书中定有不妥之处,敬请读者给予指正,在此先表示感谢。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 激光雷达基本概念 .....	1
1.1.1 激光雷达的特点 .....	1
1.1.2 激光雷达的分类 .....	2
1.2 激光雷达的基本组成及其功能 .....	2
1.2.1 激光发射系统 .....	3
1.2.2 扫描系统 .....	4
1.2.3 激光接收探测系统 .....	5
1.3 激光雷达方程 .....	8
1.4 激光雷达主要成像机理及发展现状 .....	9
1.4.1 扫描成像激光雷达 .....	10
1.4.2 凝视成像激光雷达 .....	14
1.4.3 合成孔径激光雷达 .....	19
1.5 运动误差对激光雷达成像的影响 .....	27
1.5.1 飞行平台误差来源分析 .....	28
1.5.2 运动误差对激光雷达成像的影响 .....	30
1.5.3 激光雷达运动成像与误差补偿的研究意义 .....	32
参考文献 .....	32
<b>第 2 章 扫描成像激光雷达与误差补偿</b> .....	37
2.1 扫描成像激光雷达系统概述 .....	37
2.1.1 工作原理 .....	37
2.1.2 坐标系统与测地几何模型 .....	38
2.1.3 扫描成像激光雷达数据处理 .....	44
2.1.4 扫描成像激光雷达若干新技术 .....	46
2.2 扫描成像激光雷达系统构成 .....	49
2.2.1 激光扫描仪 .....	50
2.2.2 POS 系统 .....	57
2.2.3 辅助成像装置 .....	60

2.2.4	同步控制系统	61
2.2.5	相关参数	62
2.3	运动误差对扫描成像激光雷达的影响	66
2.3.1	扫描仪误差影响	67
2.3.2	POS 误差影响	70
2.3.3	系统集成误差影响	71
2.3.4	平台振动误差影响	73
2.3.5	其他误差	77
2.4	扫描成像激光雷达运动误差补偿	78
2.4.1	误差补偿与精度评价	78
2.4.2	系统检校方法	80
2.4.3	航带平差技术	89
	参考文献	100
<b>第 3 章</b>	<b>凝视成像激光雷达与误差补偿</b>	<b>105</b>
3.1	增益调制型凝视成像激光雷达原理	105
3.2	增益调制型凝视成像激光雷达系统组成	108
3.2.1	凝视成像激光雷达系统	109
3.2.2	电路系统设计	119
3.3	凝视成像激光雷达的测距误差	121
3.3.1	基于散粒噪声的测距误差分析	122
3.3.2	基于强度串扰的测距误差分析	125
3.4	运动平台成像分析和仿真	132
3.4.1	机载平台振动对测距性能影响分析	132
3.4.2	机载平台运动成像仿真	138
3.4.3	距离图像投影校正	142
3.5	凝视成像激光雷达的数据处理与误差补偿	149
3.5.1	从增益灰度图到距离图的解算	149
3.5.2	基于图像叠加的运动误差补偿	154
3.5.3	试验结果	159
	参考文献	163
<b>第 4 章</b>	<b>合成孔径激光雷达运动成像与误差补偿</b>	<b>166</b>
4.1	合成孔径激光雷达运动成像原理	166
4.1.1	合成孔径概念的直观描述	166



---

4.1.2	合成孔径雷达的频率分析与解释	168
4.1.3	合成孔径激光雷达成像几何模型	171
4.1.4	系统关键技术概述	173
4.1.5	图像质量评估指标	179
4.2	合成孔径激光雷达成像算法	181
4.2.1	距离-多普勒算法	181
4.2.2	频率变标算法	193
4.3	平台振动对合成孔径激光雷达运动成像的影响	195
4.3.1	平台振动数学模型	196
4.3.2	角振动对成像的影响分析	201
4.3.3	线振动对成像的影响分析	208
4.3.4	振动相位误差的测量	216
4.3.5	性能分析实例	218
4.4	合成孔径激光雷达运动成像误差补偿	224
4.4.1	合成孔径激光雷达的差分接收	224
4.4.2	相位梯度自聚焦补偿算法	226
4.5	合成孔径激光雷达试验系统构建与成像处理	234
4.5.1	试验系统构建	234
4.5.2	数据处理程序设计	238
4.5.3	系统特点	244
4.5.4	试验和结果分析	245
	参考文献	261
<b>第5章</b>	<b>机载扫描成像激光雷达应用中的误差补偿</b>	<b>264</b>
5.1	机载激光雷达数据的获取	264
5.1.1	机载激光雷达数据获取硬件设备	265
5.1.2	机载激光雷达数据获取流程	272
5.2	扫描成像激光雷达数据质量评价	279
5.2.1	地面标志物设计	279
5.2.2	原始数据质量评价	284
5.2.3	数据产品质量评价	288
5.3	扫描成像激光雷达质量控制	293
5.3.1	航线优化设计原则及检校场航线设计	294
5.3.2	系统误差检校	296

---

5.3.3 航带平差 .....	299
5.4 基于数据驱动的成像激光雷达盲源误差补偿试验 .....	308
5.4.1 试验目的 .....	308
5.4.2 试验步骤 .....	309
5.4.3 试验结果分析 .....	314
参考文献 .....	319

# 第 1 章 绪 论

激光雷达是对地观测空间信息获取的主要技术手段之一,与成像光谱、合成孔径雷达一起被列为对地观测领域三大前沿技术。搭载于航空航天运动平台的激光雷达载荷是高分辨率对地观测系统的重要组成部分。运动成像与误差补偿技术是实现激光雷达高分辨率成像的关键,涉及光学、机械、电子、控制、信息技术等多个学科领域。

本章主要介绍激光雷达基本概念、系统组成、成像机理与发展现状,以及运动误差对激光雷达成像的影响。

## 1.1 激光雷达基本概念

激光是光波波段电磁辐射,波长远小于微波和毫米波,作为信息的载体,可以用振幅、频率、相位和偏振来搭载信息。激光雷达(light detection and ranging, LiDAR; laser detection and ranging, LaDAR)是以激光作为载波,测量目标距离、速度、角位置等运动参数,目标反射率、散射截面和形状等特征参数的光电设备<sup>[1]</sup>。

### 1.1.1 激光雷达的特点

激光雷达采用单色相干光源,工作波长较短,波束发散角小,具有极高的分辨率和抗干扰能力,这为它在各方面的应用奠定了基础。激光雷达的主要优点可归纳如下<sup>[2]</sup>:

(1) 具有极高的角分辨能力。由于工作波长较短,采用小的光学接收孔径就能获得极高的分辨率。

(2) 具有极高的距离分辨能力和速度分辨能力。由于激光脉冲宽度可做到皮秒量级,因此采用脉冲测距法的激光雷达的距离分辨率极高。在应用于测速时,激光雷达因工作波长较短、多普勒频率灵敏度高,故具有极高的速度分辨力。

(3) 抗干扰能力强。激光雷达不受无线电波等的干扰,对地面的多路径效应和等离子层的干扰也不敏感。

(4) 可以获得目标的多种图像。可以获得目标反射或辐射能量的几何分布图像、距离选通图像和高度 DEM(digital elevation model)图像等。如果对距离和多普勒信息进行相干处理,可获得更高角分辨率的目标图像。

然而,激光雷达也有它的局限性,其主要缺点是:

- (1) 对雨、雾、云的透过率低,难以实现全天候探测。
- (2) 激光波束窄,搜索和捕获目标困难。
- (3) 对激光器、探测器等功能器件要求高,技术上的难度较大。

### 1.1.2 激光雷达的分类

目前激光雷达种类繁多,大的有进行空间目标探测的、占地几十公顷的“火池”(firepond)激光雷达,小的有“牛津”(Oxford)激光多普勒微血管血流监测仪,其探头仅有针尖一般大小。激光雷达在地基固定平台和车载、舰载、星载、弹载等运动平台上均有广泛的应用空间及前景。

按照现代激光雷达的概念,激光雷达可分为以下几种<sup>[1]</sup>:

- (1) 按激光波段分,有紫外激光雷达、可见激光雷达和红外激光雷达。
- (2) 按激光介质分,有固体激光雷达(含二极管激光泵浦固体激光雷达)、光纤激光雷达、半导体激光雷达等。
- (3) 按激光发射波形分,有脉冲激光雷达、连续波激光雷达和混合型激光雷达等。
- (4) 按运载平台分,有地基激光雷达、车载激光雷达、机载激光雷达、船载激光雷达、星载激光雷达、弹载激光雷达和手持式激光雷达等。
- (5) 按功能分,有激光测距雷达、激光测速雷达、激光测角和跟踪雷达、成像激光雷达等。
- (6) 按应用领域分,有测绘激光雷达、靶场激光雷达、火控激光雷达、跟踪识别激光雷达、多功能战术激光雷达、导航激光雷达、生物激光雷达、气象激光雷达和环境监测激光雷达等。
- (7) 按光电信号的接收和处理方法分,有相干式和非相干式激光雷达。相干式激光雷达采用相干接收方式接收信号,通过后置信号处理实现探测。非相干式激光雷达采用直接接收方式,主要是以时间间隔测量为基础的测距雷达。

成像激光雷达是一种具有成像功能的激光雷达,能够在一定视场范围(以像素点位置为空间坐标)内获取目标的高程、反射率或辐射度分布信息。本书主要讨论对地观测领域中应用的成像激光雷达。

## 1.2 激光雷达的基本组成及其功能

激光雷达的基本组成与微波雷达相似,主要由发射系统、接收探测系统、扫描系统和信息处理系统等组成。由于探测信息的载体是激光,因此激光雷达的系统构成具有鲜明的光学特征,其基本组成框图如图 1.1 所示<sup>[2]</sup>。激光雷达工作时,激

光发射系统将激光调制后,照射向目标,在扫描系统的控制下,激光光束按照设定的方式在空间扫描。当激光照射到目标时,一部分激光被反射回来,由激光接收探测系统收集,将光信号转换成电信号,通过进一步的放大和处理,将需要的角度、距离、速度、回波强度等信息提取出来,输出至信息处理系统。信息处理系统主要负责数据的预处理,以及激光雷达各项系统误差的补偿,最终生成能够供外部使用的有效数据。对于凝视成像激光雷达来说,扫描系统并不是必需的。

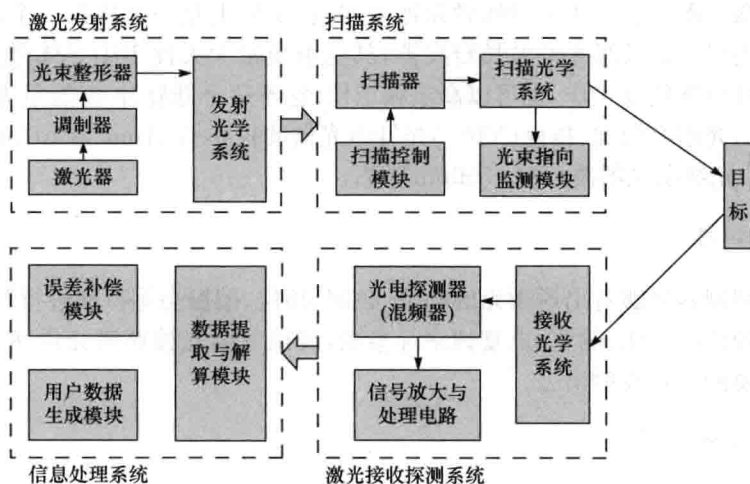


图 1.1 激光雷达基本组成框图

### 1.2.1 激光发射系统

激光发射系统主要负责为激光雷达提供稳定的激光光源,使激光光束依照系统要求的方式(束宽、方位、波形、幅值和频率特性等)发射出去,照射到目标表面并产生所需要的激光回波信号。激光发射系统主要包括激光器、调制器、光束整形器,以及发射光学系统 4 个部分。

#### 1. 激光器

激光器为激光雷达提供激光光源。能够应用于激光雷达的激光器种类繁多,目前激光雷达采用的主要激光器包括半导体激光器、二极管泵浦固体激光器、光纤激光器等。

##### 1) 半导体激光器

单个半导体激光器的输出功率很小,可将许多个激光二极管组合起来形成较高功率的激光输出,这时激光器的输出光束形状呈发散的锥形,不能在远端形成一个很小的圆形光斑照明,需要用一个长焦距的透镜对输出激光进行准直,将其压缩为一个很窄的光束。典型代表 GaAs 激光器波长在 850nm 左右。

## 2) 二极管泵浦固体激光器

采用波长与固体激光工作物质吸收波长相匹配的二极管激光或其列阵激励, 总的光效率会提高, 具有小型化、寿命长的优点。典型代表有 1064nm Nd:YAG、1053nm Nd:YLF。相对于闪光灯, 二极管泵浦可以增加固体激光脉冲重复频率, 但同时脉冲能量会降低。其脉冲宽度可以增加, 但会造成脉冲峰值功率下降。

## 3) 光纤激光器

光纤激光器一般采用半导体激光器泵浦, 它实质上是一个将某一个波长的泵浦光转化为另一波长激光的波长转换器, 其光束质量大大优于半导体激光器。光纤激光器可以连续波工作, 也可以高重频工作; 它不适合低脉冲-高能量方式工作。典型光纤激光器有两类: 掺镱( $\text{Yb}^{3+}$ )光纤激光器波长在 1031nm 和 1075nm 左右, 掺铒( $\text{Er}^{+}$ )光纤激光器波长在 1550nm 左右。

## 2. 调制器

激光调制器能够对出射激光的幅值、频率、相位、偏振态等特性进行调制, 并控制激光脉冲的占空比、脉宽、重复频率等参数, 使出射激光按照激光雷达系统信息探测所需要的方式发射出去。

## 3. 光束整形器

光束整形器负责控制出射激光的指向、方位信息、光束排布状况、束宽等参数, 使其形成一定的排布规则, 常用的光束整形器件有衍射光栅、柱面镜、光纤等光学元件。

## 4. 发射光学系统

发射光学系统包括发射望远镜和激光扩束镜等, 能够提供符合系统要求的小发散角光束, 达到高分辨率高定位精度的目标。

### 1.2.2 扫描系统

激光雷达的扫描系统主要负责控制激光光束和探测视场的运动, 使其按照设计的方式运行, 在目标表面形成所需要的扫描轨迹, 以达到获取一定区域覆盖目标图像的目的。目前, 用于激光雷达系统的常见扫描方式, 按照基本原理可分为两类: 光机扫描和非机械扫描。

#### 1. 光机扫描

运用光学部件的精密机械运动来实现光束方向变化的光机扫描是最为成熟的扫描体制, 已经广泛地应用于各类扫描系统中。光机扫描主要包括: 旋转平面镜扫

描、检流计振镜扫描、旋转多面反射镜扫描、光楔扫描、光纤扫描,以及近年来新出现的快速指向镜微扫描、微机电系统(MEMS)器件扫描等新型扫描方式。

当激光雷达应用于地面静态条件下时,为了获取一定视场范围内的目标图像,需要利用以上扫描器实现二维扫描。当激光雷达搭载于机载、星载等运动平台成像时,平台的运动相当于为激光雷达提供了沿飞行方向扫描,扫描器需要使激光雷达实现垂直于飞行方向的一维扫描功能。

## 2. 非机械扫描

非机械扫描主要包括电光扫描和声光扫描。一般情况下,电光器件和声光器件用做调制器,对输出的激光信号进行强度调制,用于光束偏转的电光器件和声光器件被称为电光扫描器和声光扫描器。

电光扫描是运用偏转器材料折射率变化产生的一类电光效应来实现扫描,它是利用电光效应实现光束偏转。数字电光偏转器根据不同的数字信号“0”或“1”,加载不同的电压,改变偏转器的折射率,控制出射光点置于两个光点位置中的一个位置上。如果用 $n$ 个电光偏转器串接,就有 $2n$ 个光点位置。当 $n$ 个调制器获得快速的数字信号电压,出射点在扫描线的 $2n$ 个位置上不断移动,从而获得所需的扫描线。数字电光偏转器还具有提供随机扫描的特点,它比一般的线性扫描器具有更大的灵活性。

声光扫描的偏转原理是利用激光束在折射率周期性变化的声光材料中的衍射现象。在声光偏转中,载频的频率是变化的,经过声光偏转器,出射光束的衍射角随着加载的载频变化而变化。频率随时间的变化可以是斜坡函数,也可以是线性调频脉冲及各种不同要求的频率随机变化的调频脉冲。在实际应用中,可以同时加载几个载频,同时获得几个偏转点,各光点之间的平衡是通过特殊电路来实现的。声光扫描器的速度相对较慢,同电光器件一样,用做雷达扫描系统的偏转器的应用报道不多。

### 1.2.3 激光接收探测系统

激光接收探测系统主要负责收集从目标表面反射回来的激光回波,进行波阵面校正和光谱滤波,把激光会聚到探测器光敏面(或混频器)上,实现光电转换,将有效信号提取出来,转换成可供后续处理的数据。激光接收探测系统主要包括接收光学系统、光电探测器、信号放大与处理电路,以及信息处理系统等模块。

## 1. 接收光学系统

接收望远镜是光学系统中的主要组成部分,负责收集从目标反射回来的激光信号。接收望远镜的口径很大程度上决定了系统的探测能力,一般采用较大口径的反射式望远镜,如卡塞格林望远镜、牛顿望远镜,其主镜和次镜的反射曲面都采用高反射的金属膜。当接收口径要求较小时才采用透射式望远镜,如伽利略望远镜或开普勒望远镜。

光谱分光器件也是光学系统中的重要部件,其主要功能是从望远镜收集的回波激光中挑选出感兴趣的光信号,同时抑制其他背景光和杂散光。光谱分光器件有窄带滤光片、F-P 标准具、光纤光栅等。

## 2. 光电探测器<sup>[3]</sup>

光电探测器(或混频器)将望远镜接收到的激光信号直接转换成与之对应的电信号,或者将光信号与本振光混频,实现外差探测并将其转换为电信号。目前激光雷达采用的主流光电探测器包括光电倍增管(photon multiply tube, PMT)、雪崩光电二极管(avalanche photo-diode, APD)、PIN 光电二极管、增强型电荷耦合器件(intensified charged couple device, ICCD)等。对于相干探测型的激光雷达,主要采用 PIN 光电二极管,其余探测器主要用于非相干的直接探测激光雷达。

### 1) 光电倍增管

光电倍增管主要由 1 个光阴极、1 个阳极和若干个打拿极组成。当具有适当波长的光入射到光阴极上产生光电效应,从阴极表面逸出的光电子在电场中加速飞向阳极,碰撞各个打拿极后光电子数目得到倍增。光电倍增管的主要特点是增益大,灵敏度高,非常适合微弱信号检测。

### 2) 雪崩光电二极管

雪崩光电二极管利用高偏置电压下光生载流子的雪崩放大而获得高的增益。它和光电倍增管一样,是一种高增益、低噪声的光电探测器件。与光电倍增管相比,雪崩光电二极管具有更高的量子效率、更小的体积,且使用方便。雪崩二极管的主要缺点是光敏面积偏小,这给探测光路的调整带来不便。 $M \times N$  雪崩光电二极管是由  $M$  行、 $N$  列雪崩二极管阵列组成的二维探测器,是适用于微弱光信号的面阵探测,能够形成与入射光强度空间分布相对应的灰度图像。

### 3) PIN 光电二极管

PIN 光电二极管是在光电二极管的 P 区和 N 区之间相隔一本征层(I 层)。本征层材料的电阻率很高,反偏压电场主要集中在这一区域。高电阻率使得暗电流明显减小。引入本征层有利于缩短载流子的扩散时间和减小结电容,从而改善器件的频率响应特性。



#### 4) 增强型电荷耦合器件

电荷耦合器件(CCD)是由像元的线阵或面阵排列构成的一种阵列探测器,每一个像元由三层金属(Al)、氧化物( $\text{SiO}_2$ )、半导体组成MOS电容器。这些MOS电容器具有产生光生载流子、电荷寄存、电荷转移,以及电荷读出等功能。光生载流子数目与照射的光强度成对应关系。选用合适的像增强器作前置信号增强,通过光纤面板与CCD耦合而构成ICCD,用于微光回波的面阵探测。

### 3. 信号放大与处理电路

信号放大与处理电路的主要功能是将光电探测器产生的电信号进行滤波、放大等预处理,以及监测激光雷达扫描器和平台方位,将激光雷达所需要的距离、速度、角度等信息提取出来。在直接探测型激光雷达中,数据的处理主要是恒比定时处理(CFD)和时间间隔测量;对于相干探测激光雷达,数据的处理主要是快速傅里叶变换(FFT)等对信号的硬件处理算法。具体处理步骤如下。

(1) 放大:小信号的滤波、放大等预处理。

(2) 采集:采用数模(AD)转换模块对放大后的信号,进行数据采集;对于光子计数的激光雷达不需要AD采集模块,它直接输出的就是数字量。

(3) 信号变换:采用时间间隔测量芯片将光脉冲从发射到目标返回的时间间隔测量出来,转换成距离值;对于相干探测还需要更加复杂的后续变频和滤波电路,最后采用实时快速傅里叶变换算法将时域信号转换到频域获得多普勒信息。

### 4. 信息处理系统

激光雷达的信息处理系统主要负责从激光雷达获取的大量数据中提取有效的信息,对其进行数据解算,进行进一步的误差分析和补偿,生成用户需要的各类数据产品。信息处理系统主要可分为数据提取与解算模块、误差补偿模块,以及用户数据生成模块。

(1) 数据提取与解算模块:负责将激光雷达获取的距离、速度、角度、方位等信息进行融合,结合系统设计参数和平台特性,进行数据解算,经过预处理提取有效的图像数据。

(2) 误差补偿模块:通过对平台姿态、方位和振动等的高精度测量,利用各种误差补偿手段和算法,提高激光雷达系统的探测精度和定位精度,消除系统误差。

(3) 用户数据生成模块:利用激光雷达获取的三维图像、目标灰度图像等信息,结合用户需求和其他测绘数据,生成用户需要的数据产品,如DEM、DSM(digital surface model)图像等。