



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106707291 A  
(43)申请公布日 2017.05.24

(21)申请号 201611130242.8

(22)申请日 2016.12.09

(71)申请人 中国科学技术大学

地址 230026 安徽省合肥市包河区金寨路  
96号

(72)发明人 夏海云 王璐 王冲 上官明佳  
窦贤康

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 罗满

(51)Int. Cl.

G01S 17/58(2006.01)

G01S 17/32(2006.01)

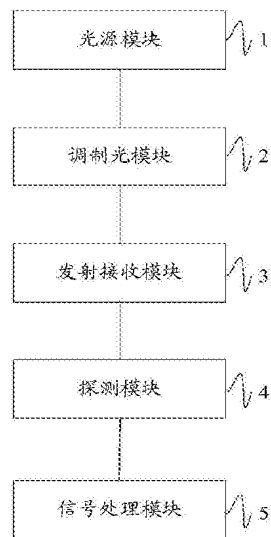
权利要求书2页 说明书9页 附图2页

## (54)发明名称

一种激光雷达系统

## (57)摘要

本发明实施例公开了一种激光雷达系统,包括光源模块、调制光模块、发射接收模块、探测模块以及信号处理模块;通过对双波长激光光束经调制光模块进行线性调制转化为双频线性调频连续波激光光束;将其中一束光作为本振光光束,另一束光用于与探测目标相互作用的信号光,该信号光经探测目标散射回波信号;通过对本振光光束与回波信号进行相干拍频以获得双波长多普勒频移差值信息。本申请技术方案采用双波长线性调频激光,极大降低了非线性调频和大气湍流效应对测速分辨率的影响,实现了对探测目标同时进行测距测速,具有探测精度高、抗电磁干扰、无距离盲区等优点。



1. 一种激光雷达系统,其特征在于,包括:  
光源模块、调制光模块、发射接收模块、探测模块以及信号处理模块;  
其中,所述光源模块用于出射预设波长的双波长激光光束;  
所述调制光模块用于对所述双波长激光光束进行线性调制,以出射双频线性调频连续波激光光束;  
所述发射接收模块用于将所述双频线性调频连续波激光光束分为第一激光光束以及第二激光光束,所述第一激光光束入射至探测目标,所述第二激光光束作为本振光光束;并接收所述探测目标后向散射回波信号;  
所述探测模块用于对所述本振光光束与所述回波信号进行光学拍频,以获得多普勒频移信息,同时将光信号转换成电信号;  
所述信号处理模块用于对所述电信号进行微波拍频,以获得多普勒频移差值信息。
2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述调制光模块包括:  
调制器以及信号发生器;  
其中,所述调制器用于对所述双波长激光光束进行线性调频;所述信号发生器与所述调制器相连,用于为所述调制器提供调制信号。
3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述调制光模块还包括:  
滤波器,所述滤波器与所述调制器相连,用于对所述双频线性连续波激光光束中的背景噪声进行滤除。
4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,所述调制光模块还包括:  
激光放大器,所述激光放大器与所述滤波器相连,用于将过滤后的双频线性连续波激光光束的能量进行放大。
5. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于,所述发射接收模块包括:  
第一分束器、第二分束器、光学收发装置以及环形器;  
其中,所述第一分束器与所述激光放大器相连,用于将所述双频线性连续波激光光束分为所述第一激光光束以及所述第二激光光束;  
所述环形器分别与所述光学收发装置、所述第一分束器以及所述第二分束器相连,用于将所述第一激光光束入射至所述光学收发装置,将所述第二激光光束入射至所述第二分束器;并将所述回波信号入射到所述第二分束器;  
所述光学收发装置用于将所述第一激光光束入射至所述探测目标上,并接收与所述探测目标相互作用后散射的回波信号并将其入射至所述环形器;  
所述第二分束器用于将所述回波信号与所述第二激光光束入射至所述探测模块。
6. 根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述探测模块包括:  
平衡探测器,所述平衡探测器与所述第二分束器相连,用于对所述第二激光光束与所述回波信号进行光学拍频,以获得双频多普勒频移信号。
7. 根据权利要求6所述的系统,其特征在于,所述信号处理模块包括:  
采集卡以及数据处理装置;  
所述采集卡与所述平衡探测器相连,用于采集信号;  
所述数据处理装置与所述采集卡相连,用于对所述电信号进行微波拍频,以获得双频多普勒频移差值信号,以此反演目标的距离与速度信息。

8. 根据权利要求5-7任意一项所述的系统,其特征在于,所述发射接收模块还包括:  
衰减器,分别与所述第一分束器与所述第二分束器相连,用于对所述第二激光光束进行衰减,经衰减后的光束作为所述本振光光束。

9. 根据权利要求8所述的系统,其特征在于,所述数据处理装置包括:  
DSP数据处理单元以及计算机。

## 一种激光雷达系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及雷达领域,特别是涉及一种激光雷达系统。

### 背景技术

[0002] 随着光学技术的发展,激光雷达由于其方向性好、时间分辨率和空间分辨率高、精度高、非接触测量等优势,在导航、航天、气象要素测量与大气环境监测等领域发展迅速,应用广泛。

[0003] 激光雷达是以发射激光束探测目标的位置、速度等特征量的雷达系统,主要由激光发射机、光学接收机和信息处理系统等组成。通过向目标发射探测信号(激光束),然后将接收到的从目标反射回来的信号(目标回波)与发射信号进行相应处理后,就可获得目标的有关信息,如目标距离、方位、高度、速度、姿态、甚至形状等参数,从而实现了对飞机、导弹等目标进行探测、跟踪和识别。

[0004] 双频相干激光雷达是一种通过相干拍频检测双波长多普勒频移的差异反演被测目标速度的雷达体制,需提取信息从多普勒频移转变为多普勒频移差值,抑制了由散斑噪声造成的多普勒频移谱线展宽,极大降低了大气湍流引起的散斑噪声对测速分辨率的影响,并将信号处理环节从光路部分转变为技术成熟的电路部分。可实现近距离或远距离精确测速,在远程或便携式探测,大气遥感等领域有很大的应用潜能。但双频相干激光雷达难以实现同时测距测速。另一方面,传统激光雷达应用线性调频技术后距离分辨力极高,在近距离精密探测、三维距离成像和太空舱自主安全软着陆中有重要应用,但非线性调频和大气湍流效应严重影响了其系统实际测距分辨率和测速分辨率。

### 发明内容

[0005] 本发明实施例的目的是提供一种激光雷达系统,可同时实现对被测目标测距测速、并极大降低非线性扫频和大气湍流效应对测速分辨率的影响,距离分辨力和速度分辨力高,抗电磁干扰且无距离盲区。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明实施例提供以下技术方案:

[0007] 本发明实施例提供了一种激光雷达系统,包括:

[0008] 光源模块、调制光模块、发射接收模块、探测模块以及信号处理模块;

[0009] 其中,所述光源模块用于出射预设波长的双波长激光光束;

[0010] 所述调制光模块用于对所述双波长激光光束进行线性调制,以出射双频线性调频连续波激光光束;

[0011] 所述发射接收模块用于将所述双频线性调频连续波激光光束分为第一激光光束以及第二激光光束,所述第一激光光束入射至探测目标,所述第二激光光束作为本振光光束;并接收所述探测目标后向散射回波信号;

[0012] 所述探测模块用于对所述本振光光束与所述回波信号进行光学拍频,以获得多普勒频移信息,同时将光信号转换成电信号;

- [0013] 所述信号处理模块用于对所述电信号进行微波拍频,以获得多普勒频移差值信息。
- [0014] 可选地,所述调制光模块包括:
- [0015] 调制器以及信号发生器;
- [0016] 其中,所述调制器用于对所述双波长激光光束进行线性调频;所述信号发生器与所述调制器相连,用于为所述调制器提供调制信号。
- [0017] 可选地,所述调制光模块还包括:
- [0018] 滤波器,所述滤波器与所述调制器相连,用于对所述双频线性连续波激光光束中的背景噪声进行滤除。
- [0019] 可选地,所述调制光模块还包括:
- [0020] 激光放大器,所述激光放大器与所述滤波器相连,用于将过滤后的双频线性连续波激光光束的能量进行放大。
- [0021] 可选地,所述发射接收模块包括:
- [0022] 第一分束器、第二分束器、光学收发装置以及环形器;
- [0023] 其中,所述第一分束器与所述激光放大器相连,用于将所述双频 线性连续波激光光束分为所述第一激光光束以及所述第二激光光束;
- [0024] 所述环形器分别与所述光学收发装置、所述第一分束器以及所述第二分束器相连,用于将所述第一激光光束入射至所述光学收发装置,将所述第二激光光束入射至所述第二分束器;并将所述回波信号入射到所述第二分束器;
- [0025] 所述光学收发装置用于将所述第一激光光束入射至所述探测目标上,并接收与所述探测目标相互作用后散射的回波信号并将其入射至所述环形器;
- [0026] 所述第二分束器用于将所述回波信号与所述第二激光光束入射至所述探测模块。
- [0027] 可选地,所述探测模块包括:
- [0028] 平衡探测器,所述平衡探测器与所述第二分束器相连,用于对所述第二激光光束与所述回波信号进行光学拍频,以获得双频多普勒频移信号。
- [0029] 可选地,所述信号处理模块包括:
- [0030] 采集卡以及数据处理装置;
- [0031] 所述采集卡与所述平衡探测器相连,用于采集信号;
- [0032] 所述数据处理装置与所述采集卡相连,用于对所述电信号进行微波拍频,以获得双频多普勒频移差值信号,以此反演目标的距离与速度信息。
- [0033] 可选地,所述发射接收模块还包括:
- [0034] 衰减器,分别与所述第一分束器与所述第二分束器相连,用于对所述第二激光光束进行衰减,经衰减后的光束作为所述本振光光束。
- [0035] 可选地,所述数据处理装置包括:
- [0036] DSP数据处理单元以及计算机。
- [0037] 本发明实施例提供了一种激光雷达系统,包括光源模块、调制光模块、发射接收模块、探测模块以及信号处理模块;通过对双波长激光光束经调制光模块进行线性调制转化为双频线性调频连续波激光光束;将其中一束光作为本振光光束,另一束光用于与探测目标相互作用并经探测目标散射回波信号;通过对本振光光束与回波信号进行相干拍频以

获得双波长多普勒频移差值信息。

[0038] 本申请技术方案采用双波长线性调频激光,系统结构和信号处理部分相比现有技术较为简单;由于大气湍流对两个调频光束影响相同,故降低了因探测目标不平整和大气湍流效应引起的散斑噪声的影响;由于采用线性连续波作为相干光束,故其距离分辨力高、距离无盲区;此外,可实现对探测目标同时进行测距测速。在光学拍频的基础上进一步进行微波拍频以获得多普勒频移差值信息,由于任何同时作用在两个频率不同的线性调频信号的相位上的误差项,都不会影响微波拍频所得的差频信号的相位,故解决了扫频非线性问题;由于差频信号的频率相比日常生活中常用的中频信号的频率要低的多,故一定程度上可抗电磁干扰。

### 附图说明

[0039] 为了更清楚的说明本发明实施例或现有技术的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单的介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0040] 图1为本发明实施例提供的激光雷达系统在一种具体实施方式的结构框图;

[0041] 图2为本发明实施例提供的一个示例性应用场景的系统结构示意图;

[0042] 图3为图2中激光雷达系统的工作原理示意图。

### 具体实施方式

[0043] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0044] 本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”、“第三”“第四”等是用于区别不同的对象,而不是用于描述特定的顺序。此外术语“包括”和“具有”以及他们任何变形,意图在于覆盖不排他的包含。例如包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元,而是可包括没有列出的步骤或单元。

[0045] 请参阅图1,图1为本发明实施例提供的一种具体实施方式下的激光雷达系统结构框图。

[0046] 激光雷达系统可包括光源模块1、调制光模块2、发射接收模块3探测模块4以及信号处理模块5。

[0047] 光源模块1用于出射预设波长的双波长激光光束,两束激光光束的中心频率不同,波长的值可根据用户或实验人员的需求进行选择,本发明对此不做任何限定。光源模块可为一台双频激光源,也可为两台激光源发射两束不同波长的激光。

[0048] 在一种具体的实施方式中,激光源可为双频激光器、锁模激光器或种子注入半导体激光器。

[0049] 调制光模块2用于对双波长激光进行线性调制,以出射双频线性连续波激光光束。可采用频率调制,也可为相位调制,当对其进行的是频率调制时,出射的即为出射双频线性

调频连续波激光光束。由于通过在时间上对两个中心频率不同的光束进行频率调制,对于后续操作处理比对相位调制较为简单,故优选的,可选择对两束光的频率进行线性调制。由于线性连续波对于探测目标而言,具有探测无盲区、距离分辨力高等优势,故选择双频线性连续波激光光束作为相干光束对探测目标进行探测。

[0050] 具体的,调制光模块2可包括调制器21以及信号发生器22。调制器21与激光器相连,用于对双波长激光进行线性调制,EOM调制器有良好的特性,故可选EOM调制器对双波长激光进行线性调制,当然,也可为其他任何一种类型的调制器。信号发生器22与调制器21相连用于为调制器21提供调制信号,信号发生器22可为三角波信号发生器或锯齿波信号发生器,当然,也可选择其他信号的发生器,例如方波信号发生器。

[0051] 可选的,在本实施例的一些实施方式中,调制光模块2例如还可以包括:

[0052] 滤波器23,滤波器23与调制器21相连,用于对双频线性连续波激光光束中的背景噪声进行滤除。由于在激光器发射激光光束时难免会掺有非预设波长的激光光束的杂光、在激光光束传输过程或在进行调制时,系统也不可避免的会混有其他与有用信号无关的一切干扰,故需要进行滤除,以获得较为纯净的相干光束,有利于提高探测精度。

[0053] 滤波器23可选用高通滤波器、低通滤波器、数字滤波器或光栅,具体采用哪一种类型,相关技术人员可根据实际需求做选择,本发明并对此不做任何限定。

[0054] 在本实施例的另一些实施方式中,还可包括:

[0055] 激光放大器24,激光放大器可与滤波器23相连,用于将过滤后的双频线性连续波激光光束的能量进行放大。由于某些场合激光光束受限(例如受非线性效应如受激布里渊散射)的影响,激光光束的功率(能量)较小(较低),对后续操作不利,很有可能会影响探测精度,故需要增加激光放大器对相干光束的功率进行放大。有利于提高激光雷达的时间分辨率、空间分辨率和探测距离,也有利于提高探测精度。

[0056] 需要说明的是,如果系统中没有滤波器23,激光放大器24可直接与调制器21相连。

[0057] 发射接收模块3用于将双频线性连续波激光光束分为第一激光光束以及第二激光光束,第一激光光束入射至探测目标,第二激光光束作为本振光光束;接收探测目标出射的回波信号。

[0058] 具体的,发射接收模块3可包括第一分束器31、环形器32、光学收发装置33以及第二分束器34。

[0059] 第一分束器31可与激光放大器24相连,用于将双频线性连续波激光光束分成两束,即第一激光光束与第二激光光束。

[0060] 分束器将两束激光进行分离,使其各自按照预设的光路进行传输。分束器将双波长激光分束的第一激光光束作为信号光光束用于与探测目标发生相互作用,并产生回波信号,第二激光光束作为本振光光束,用于与回波信号发生相干,以获得多普勒频移信息。

[0061] 分束器可为光分束器、光纤分束器、偏振分束器等,具体采用哪一种类型,相关技术人员可根据实际需求做选择,本发明并对此不做任何限定。

[0062] 环形器32分别与光学收发装置33、第一分束器31以及第二分束器34相连,用于将第一激光光束入射至光学收发装置33上,将第二激光光束入射至第二分束器34上;并将探测目标散射的回波信号入射到第二分束器34上。

[0063] 环形器32主要用于对多路信号进行转换,当然也可采用其他器件,只要可以起到

环形器的作用即可,本发明对此并不做任何限定。

[0064] 光学收发装置33用于将第一激光光束入射至探测目标上,并接收与探测目标相互作用后出射的回波信号并将其入射至环形器32上。

[0065] 光学收发装置33集发射与接收于一体,可采用kc705光学收发器、sfp光学收发器、图形图像光学收发器、通信协议光学收发器、fmc子卡光学收发器或dsp光学收发器等等,具体采用哪一种类型,相关技术人员可根据实际需求做选择,本发明并不对此做任何限定。

[0066] 第二分束器34用于将回波信号与第二激光光束入射至探测模块。

[0067] 需要说明的是,如果系统中没有激光放大器24,第一分光器31可与滤波器23相连;如果系统中没有滤波器23,第一分光器31可直接与调制器21相连。

[0068] 可选的,在本实施例的一些实施方式中,例如还可以包括:

[0069] 衰减器35,分别与第一分束器31与所述第二分束器34相连,用于对第二激光光束进行衰减,经衰减后的光束作为所述本振光光束。衰减器35用于通过模拟光束在大气中的衰减过程对第二激光光束(本振光光束)进行衰减。通过对本振光光束的衰减处理,使得本振光光束与回波信号的传输过程经历的衰减相类似,有利于两束光的相干,有利于获得更加准确的多普勒频移信息,从而有利于提高探测精度。

[0070] 在一种优选的实施方式中,衰减器35可选择连续可调衰减器。当然,也可采用其他类型的衰减器,具体采用哪一种类型,相关技术人员可根据实际需求做选择,本发明并不对此做任何限定。

[0071] 需要说明的是,在没有衰减器的情况下,第二激光光束将经第一分束器31发射到第二分束器34;但是在有衰减器时,第二激光光束将经第一分束器31发射到衰减器35,经过衰减器35进行衰减后发射至第二分束器34。

[0072] 探测模块4用于对本振光光束与回波信号进行光学拍频获得多普勒频移信息,同时将光信号转换成电信号。可包括平衡探测器41。

[0073] 平衡探测器41与第二分束器34相连,用于对第二激光光束与回波信号进行光学拍频,以获得双频多普勒频移信号。第二分束器34将回波信号与第二激光光束入射至平衡探测器41,回波信号与第二激光光束在该探测器的光敏面上混频后,可采用光学拍频的方式分别得到两束光的双频多普勒频移值。当然,也可采用其他探测器,例如光电探测器。

[0074] 信号处理模块5用于对电信号进行微波拍频获得多普勒频移差值信息,包括模数转换、数据采集与数据处理。

[0075] 信号处理模块5可包括:

[0076] 采集卡51以及数据处理装置52。

[0077] 采集卡51与平衡探测器41相连,用于对双频多普勒频移信号进行采集。在一种优选的实施方式中,采集卡51可选择A/D采集卡,当然,也可采用其他类型的采集卡,具体采用哪一种类型,相关技术人员可根据实际需求做选择,本发明并不对此做任何限定。

[0078] 数据处理装置52与采集卡51相连,用于对电信号进行微波拍频,以获得双频多普勒频移差值信号,以此反演目标的距离与速度信息。

[0079] 数据处理装置可包括:

[0080] DSP数据处理单元521以及计算机522。

[0081] DSP数据处理单元521,用于对第二激光光束与回波信号转化的电信号进行微波拍



频,以获得多普勒频移差值信号。由于任何同时作用在两个频率不同的线性调频信号的相位上的误差项,都不会影响微波拍频所得的差频信号的相位,故解决了扫频非线性和距离速度耦合问题;由于差频信号的频率相比日常生活中常用的中频信号的频率要低的多,故一定程度上可抗电磁干扰,举例来说,传统的相干激光雷达采用中频信号探测风速,中频信号一般在30MHz到300MHz之间,这刚好是广播电台、无线通信设备所使用的波段,该波段覆盖范围广、使用密集。因此,中频信号的使用使传统相干激光雷达容易受电磁环境的干扰,而激光雷达在正常工作时辐射的电磁信号也将对其它电子设备造成干扰。而本发明中,例如当频率间距为20GHz时,30m/s的风速引起的多普勒频移差值仅为4000Hz,避开了此波段,故具有抗电磁干扰的特性。

[0082] 此外,采用DSP数据处理单元还可实现数据的实时处理和显示,有利于提升使用者的使用体验。

[0083] 计算计522用于根据多普勒频移差值信号反演目标的距离与速度信息。例如以大气气溶胶作为探测物,用所述激光雷达系统可实现对大气风速的测量。

[0084] 需要说明的是,除了对探测目标的距离与速度进行计算外,还可以对其他关于探测目标的信息进行处理,例如成像、测温等等。

[0085] 通过增加计算模块,可实现根据采集信号进行反演与显示,输出或获得探测目标的相关信息,使整体系统更具有实际意义。

[0086] 本申请技术方案采用双波长线性调频激光,系统结构和信号处理部分相比现有技术较为简单;由于大气湍流对两个调频光束影响相同,故降低了因探测目标不平整和大气湍流效应引起的散斑噪声的影响;由于采用线性连续波作为相干光束,故其距离分辨力高、距离无盲区;此外,可实现对探测目标同时进行测距测速;在光学拍频的基础上进一步进行微波拍频以获得多普勒频移差值信息,解决了扫频非线性和距离速度耦合问题;而且可抗电磁干扰。

[0087] 为了更好的理解本申请技术方案的思想与原理,以下以具体的一种应用场景进行对本发明实施例所提供的技术方案进行阐述。

[0088] 利用调制信号为三角波信号的电光调制器对两束中心频率( $f_1, f_2$ )不同的连续波激光光束在时间内以调整带宽B,调制频率k进行线性调制,采用如图3所示的激光雷达系统结构,通过先光学拍频,在微波拍频提取多普勒频移差值信息,对物体进行测距测速。由图3所示, $f_{d1}$ 为中心频率为 $f_1$ 的光束的多普勒频移值, $f_{d2}$ 为中心频率为 $f_2$ 的光束的多普勒频移值, $f_m = f_1 - f_2$ 为两束光的中心频率差值, $f_{d1} - f_{d2}$ 为两束光的多普勒频移差值, $\tau$ 为本振光与信号光的时间延迟。

[0089] 由图3可知,该雷达系统可包括双频激光源1、EOM电光调制器2、信号发生器3、滤波器4、激光放大器5、分束器6、环形器7、光学收发装置8、探测目标9、连续可调衰减器10、分束器11、平衡探测器12、A/D采集卡13、DSP数据处理系统14与计算机15。

[0090] 其中各器件的连接关系如下:

[0091] 双频激光源1的输出端与EOM电光调制器2的输入端连接,EOM电光调制器2输出端与滤波器4的输入端连接,三角波信号发生器3的控制信号输入端与EOM电光调制器2的控制信号输出端连接,滤波器4的输出端与激光放大器5的输入端连接,激光放大器5的输出端与分束器6的输入端连接;分束器6将双频线性连续波激光分成两束,其中端口A输出的为信号

光,端口B输出的为本振光;分束器6的输出A端与环形器7的A端口连接,分束器6的输出端B与连续可调衰减器10的输入端连接;环形器7的C端口与分束器11的A端口连接;环形器7的B端口与光学收发装置8连接,光学收发装置8出射的光束照射在探测目标9上,从探测目标9后向散射回的信号经光学收发装置8收集,再先后经环形器7的B端和C端,传输至分束器11;连续可调衰减器10的输出端与分束器11的B端口连接,本振光与信号光通过分束器11混合后接入平衡探测器12,平衡探测器12的输出端与A/D采集卡13的输入端连接,A/D采集卡13的输出端与DSP数据处理系统14的输入端连接,DSP数据处理系统14的输出端与计算机15连接。

[0092] 以下对探测目标测距测速的原理进行阐述,为了模拟实际模拟实际情况下的频率调制非线性,引入 $f_e(t)$ 为线性频率偏差,且有 $f_e(0) = f_e(T/2) = 0$ ,其中一个单频信号经调制后,一个周期内其上扫频段的频率和相位为:

$$[0093] \quad f_1^+(t) = f_1 + kt + f_e(t),$$

$$[0094] \quad \phi_1^+(t) = 2\pi f_1 t + \pi kt^2 + 2\pi \int_0^t f_e(\xi) d\xi + \phi_1,$$

[0095] 式中, $k = B / (T/2) = 2B/T$ ,且 $\delta_R = c/2B$ ,B单位为MHz,调制带宽决定于距离分辨率,T为调制周期(ms), $\Phi_1$ 为初始相位。

[0096] 一个周期内的双频线性调频激光的电场可为:

$$[0097] \quad E(t) = E_1(t) + E_2(t) \quad t \in (0, T),$$

$$[0098] \quad E_1(t) = \begin{cases} E_1 e^{j(2\pi f_1 t + \pi kt^2 + 2\pi \int_0^t f_e(\xi) d\xi + \phi_1)} & t \in (0, \frac{T}{2}) \\ E_1 e^{j[2\pi f_1(t - \frac{T}{2}) - \pi k(t - \frac{T}{2})^2 + 2\pi B(t - \frac{T}{2}) - 2\pi \int_0^t f_e(\xi - \frac{T}{2}) d\xi + \phi_1]} & t \in (\frac{T}{2}, T) \end{cases},$$

$$[0099] \quad E_2(t) = \begin{cases} E_2 e^{j(2\pi f_2 t + \pi kt^2 + 2\pi \int_0^t f_e(\xi) d\xi + \phi_2)} & t \in (0, \frac{T}{2}) \\ E_2 e^{j[2\pi f_2(t - \frac{T}{2}) - \pi k(t - \frac{T}{2})^2 + 2\pi B(t - \frac{T}{2}) - 2\pi \int_0^t f_e(\xi - \frac{T}{2}) d\xi + \phi_2]} & t \in (\frac{T}{2}, T) \end{cases},$$

[0100] 式中, $E_1$ 和 $E_2$ 为振幅, $\Phi_1$ 和 $\Phi_2$ 为相位角。

[0101] 探测目标散射信号的电场可表示为:

$$[0102] \quad E'(t) = E_1'(t) + E_2'(t) \quad t \in (0, T),$$

$$[0103] \quad E_1'(t) = \begin{cases} E_1' e^{j[2\pi f_1(t-\tau) + \pi k(t-\tau)^2 + 2\pi \int_0^t f_e(\xi-\tau) d\xi + \phi_1]} & t \in (0, \frac{T}{2}) \\ E_1' e^{j[2\pi f_1(t - \frac{T}{2} - \tau) - \pi k(t - \frac{T}{2} - \tau)^2 + 2\pi B(t - \frac{T}{2} - \tau) - 2\pi \int_0^t f_e(\xi - \frac{T}{2} - \tau) d\xi + \phi_1]} & t \in (\frac{T}{2}, T) \end{cases},$$

$$[0104] \quad E_2'(t) = \begin{cases} E_2' e^{j[2\pi f_2(t-\tau) + \pi k(t-\tau)^2 + 2\pi \int_0^t f_e(\xi-\tau) d\xi + \phi_2]} & t \in (0, \frac{T}{2}) \\ E_2' e^{j[2\pi f_2(t - \frac{T}{2} - \tau) - \pi k(t - \frac{T}{2} - \tau)^2 + 2\pi B(t - \frac{T}{2} - \tau) - 2\pi \int_0^t f_e(\xi - \frac{T}{2} - \tau) d\xi + \phi_2]} & t \in (\frac{T}{2}, T) \end{cases},$$

[0105] 式中, $E_1' = E_1/\alpha$ , $\alpha$ 为反射光的总损失,信号光与本振光在平衡探测器光敏面混频探测时,由于探测器仅响应带宽范围内的信号。

[0106] 当  $t \in (\tau, T/2)$ , 探测器的光场照度为:

$$[0107] \quad I_1^+(t) = I \{1 + V \cos[2\pi k\tau t + 2\pi \int_0^t f_e(\xi) d\xi - 2\pi \int_0^t f_e(\xi - \tau) d\xi + 2\pi f_1 \tau]\},$$

$$= I [1 + V \cos(2\pi \Delta f_1^+(t) \cdot t + \phi_1^+)]$$

[0108] 式中,  $I = E_1^2 + E_1'^2$ ,  $V = 2\sqrt{E_1^2 E_1'^2} / (E_1^2 + E_1'^2)$ ,  $\phi_1^+ = 2\pi f_1 \tau$ ,  $\Delta f_1^+(t) = k\tau + f_e(t) - f_e(t - \tau) = \Delta f_1 + \Delta f_e(t)$ 。

[0109] 若考虑多普勒效应, 且设  $\tau$  随时间变化, 可得:

$$[0110] \quad I_1^+(t) = I [1 + V \cos(2\pi \overline{\Delta f_1^+(t)} \cdot t + \phi_1^+)],$$

[0111] 同理, 可有:

$$[0112] \quad I_2^+(t) = I [1 + V \cos(2\pi \overline{\Delta f_2^+(t)} \cdot t + \phi_2^+)],$$

[0113] 又  $\overline{\Delta f_1^+} = \overline{\Delta f_2^+} = \overline{\Delta f}$ , 可得:

$$[0114] \quad \overline{\Delta f_1^+(t)} = \overline{\Delta f} + \Delta f_e(t) - f_{d1},$$

$$[0115] \quad \overline{\Delta f_2^+(t)} = \overline{\Delta f} + \Delta f_e(t) - f_{d2},$$

[0116] 式中,  $f_{d1} = 2vf_1/c$ ,  $f_{d2} = 2vf_2/c$ ,  $v$  为探测目标的速度,  $c$  为光速。

[0117] 当  $t \in (T/2, T/2 + \tau)$ , 同理, 可有:

$$[0118] \quad \overline{\Delta f_1^*(t)} = -2kt + 2B + \overline{\Delta f} - f_e(t) - f_e(t - \tau) - f_{d1},$$

$$[0119] \quad \overline{\Delta f_2^*(t)} = -2kt + 2B + \overline{\Delta f} - f_e(t) - f_e(t - \tau) - f_{d2},$$

[0120] 当  $t \in (T/2 + \tau, T)$ , 同理, 可有:

$$[0121] \quad \overline{\Delta f_1^-(t)} = -\overline{\Delta f} - \Delta f_e(t) - f_{d1},$$

$$[0122] \quad \overline{\Delta f_2^-(t)} = -\overline{\Delta f} - \Delta f_e(t) - f_{d2}。$$

[0123]  $I_1(t)$  与  $I_2(t)$  可通过探测器探测后由 A/D 采集卡进行采集, 采集后的信号经 DSP 数据信号处理后再次进行混频处理, 对上式展开, 其中包含多普勒频移信息的项为:

$$[0124] \quad I^+(t) = I^2 \{1 + V^2 \cos[2\pi(\overline{\Delta f_1^+(t)} - \overline{\Delta f_2^+(t)}) \cdot t + \phi_1^+ - \phi_2^+]/2\} \quad t \in (\tau, T/2),$$

$$[0125] \quad I^*(t) = I^2 \{1 + V^2 \cos[2\pi(\overline{\Delta f_1^*(t)} - \overline{\Delta f_2^*(t)}) \cdot t + \phi_1^* - \phi_2^*]/2\} \quad t \in (\frac{T}{2}, \frac{T}{2} + \tau),$$

$$[0126] \quad I^-(t) = I^2 \{1 + V^2 \cos[2\pi(\overline{\Delta f_1^-(t)} - \overline{\Delta f_2^-(t)}) \cdot t + \phi_1^- - \phi_2^-]/2\} \quad t \in (\frac{T}{2} + \tau, T),$$

[0127] 式中,  $\overline{\Delta f_1^+(t)} - \overline{\Delta f_2^+(t)} = \overline{\Delta f_1^*(t)} - \overline{\Delta f_2^*(t)} = \overline{\Delta f_1^-(t)} - \overline{\Delta f_2^-(t)} = f_{d2} - f_{d1}$ 。

[0128] 综上, 可计算探测目标的距离与速度, 如下所示:

$$[0129] \quad R = \frac{cT}{4B} \cdot \overline{\Delta f} = \frac{cT}{4B} \cdot \frac{\overline{\Delta f_1^+(t)} + |\overline{\Delta f_1^-(t)}|}{2} = \frac{cT}{4B} \cdot \frac{\overline{\Delta f_2^+(t)} + |\overline{\Delta f_2^-(t)}|}{2},$$

$$[0130] \quad v = \frac{c}{2f_m} \cdot (f_{d2} - f_{d1})。$$

[0131] 式中, 当  $v$  为正值时, 表示探测目标在靠近激光雷达; 若为负值, 则说明目标正在远

离激光雷达。

[0132] 本发明实施例通过在时间上对两个中心频率不同的连续波的频率进行线性调制,得到双频线性调频激光,其调频带宽 $B$ 和双频中心频率差值 $f_m$ 均远小于双频中心频率 $f_1$ 和 $f_2$ ,因此大气湍流对两个调频激光的影响几乎相同,具有对大气湍流不敏感的特点。而扫频非线性导致的非线性频率偏差 $f_e(t)$ ,在信号处理过程中,微波拍频使非线性频率偏差项相互抵消,所得差频信号不含非线性频率偏差项。综上所述,激光雷达系统不仅实现了对探测目标同时测距测速,极大降低了非线性调频和大气湍流效应对测速分辨率的影响,探测精度高、抗电磁干扰、无距离盲区。

[0133] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其它实施例的不同之处,各个实施例之间相同或相似部分互相参见即可。对于实施例公开的装置而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0134] 专业人员还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0135] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以直接用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0136] 以上对本发明所提供的一种激光雷达系统进行了详细介绍。本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想。应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以对本发明进行若干改进和修饰,这些改进和修饰也落入本发明权利要求的保护范围内。

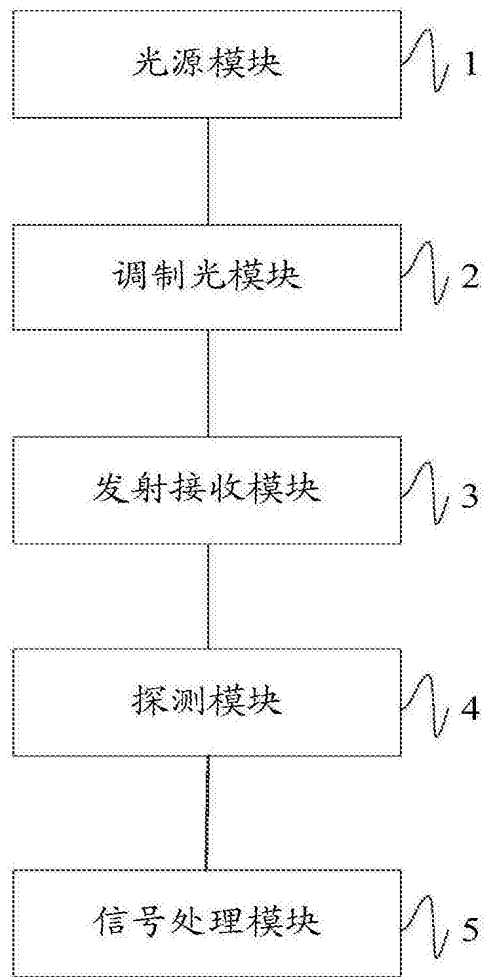


图1

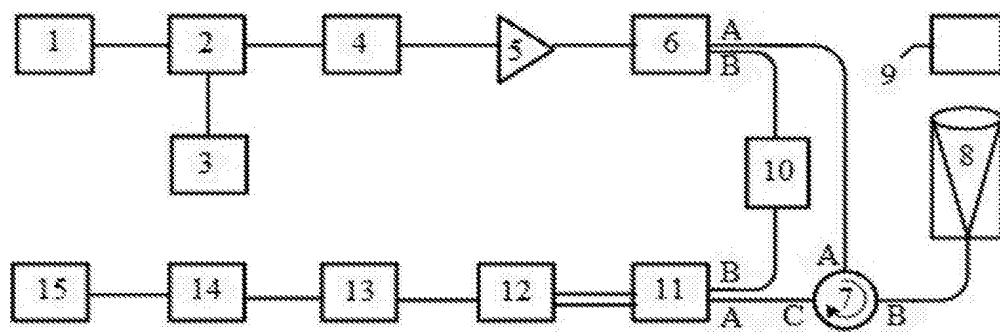


图2

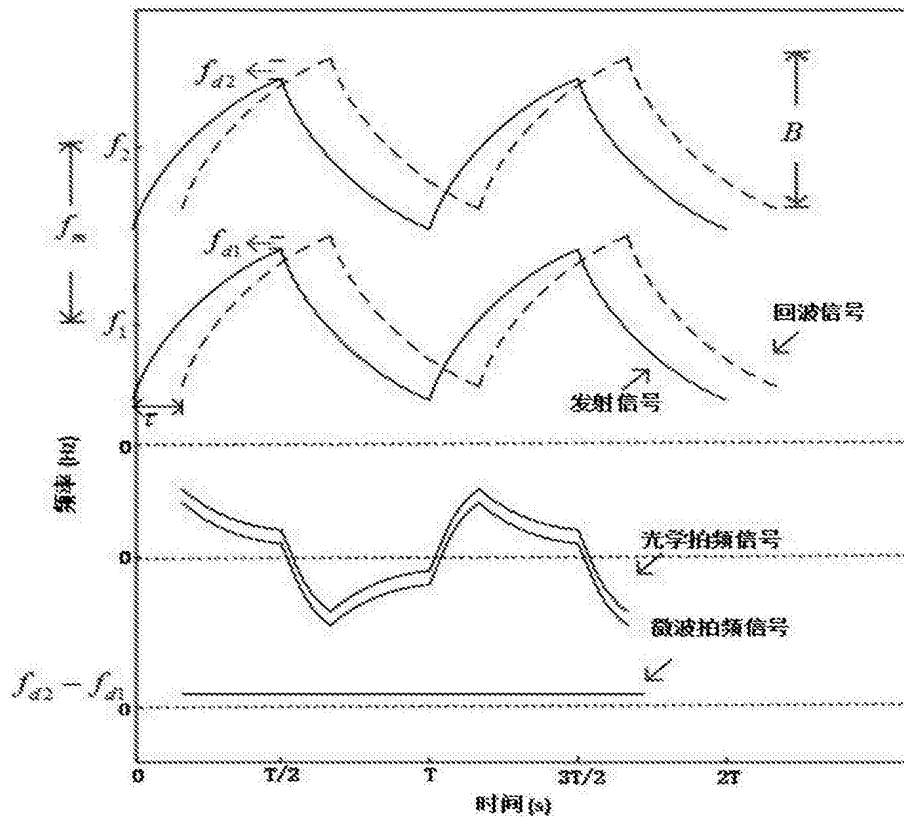


图3