



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105068083 A

(43) 申请公布日 2015. 11. 18

(21) 申请号 201510398313. 1

(22) 申请日 2015. 07. 08

(71) 申请人 中国科学院合肥物质科学研究院
地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖路
350 号

(72) 发明人 时东锋 黄见 苑克娥 曹开法
胡顺星

(74) 专利代理机构 安徽合肥华信知识产权代理
有限公司 34112
代理人 余成俊

(51) Int. Cl.
G01S 17/89(2006. 01)

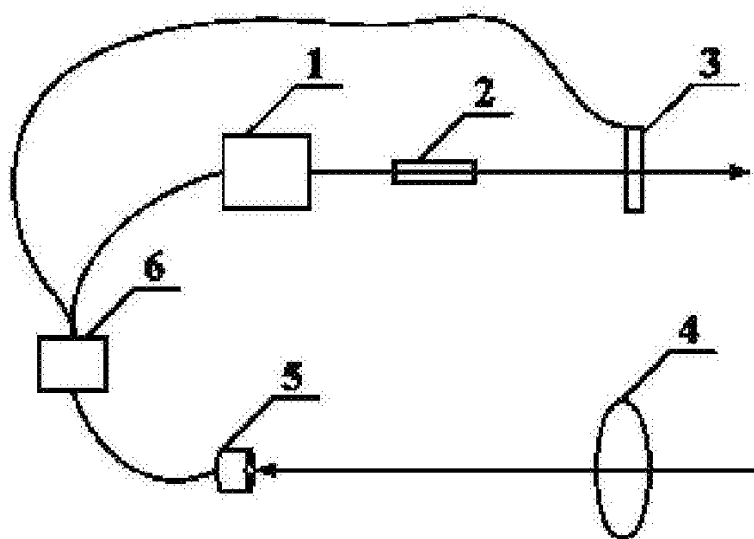
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,装置包括脉冲激光器、光束均匀扩束器、光调制器、光学接收系统、单像素探测与数据采集单元、延时脉冲发生控制器。本发明简单、设计简便实用,不改变或者增加系统硬件,能有效的控制系统成本,通过信号处理方法获取目标物体纵向超分辨率图像信息,对单像素激光成像雷达系统进行纵向超分辨成像,在目标探测、识别和追踪等领域具有很好的应用前景。



1. 一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:包括延时脉冲发生控制器、脉冲激光器、单像素探测与数据采集单元、具有聚焦作用的光学接收系统,所述脉冲激光器的控制端接入延时脉冲发生控制器,脉冲激光器的出射光路上依次设置有光束均匀扩束器、光调制器,所述单像素探测与数据采集单元中的光电探测面放置在光学接收系统的焦点处,单像素探测与数据采集单元的时序控制端接入延时脉冲发生控制器;

延时脉冲发生控制器控制脉冲激光器发射脉冲激光,脉冲激光器发射的脉冲激光经过光束均匀扩束器进行光强均匀和扩束后进入光路中,之后光束经光调制器调制后具有特定的二值分布,最后照射目标物体;目标物体的反射光经光学接收系统聚焦后,由单像素探测与数据采集单元获取目标物体光强反射回波信号。

2. 根据权利要求1所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:脉冲激光器能发射窄脉冲宽度的光束且具有同步信号输出功能。

3. 根据权利要求1所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:光调制器具有外部触发和调制信号可控的功能。

4. 根据权利要求1所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:单像素探测与数据采集单元具有较小的触发延时抖动。

5. 根据权利要求1所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:延时脉冲发生控制器能发出脉宽可控和高精度时间延迟脉冲触发信号。

6. 一种基于权利要求1所述的实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像方法,其特征在于:产生多个具有相同二值分布的光脉冲来照射目标物体,每次采集过程中延时脉冲发生控制器对单像素探测与数据采集单元依次施加不同延时的脉冲触发信号,并保证有足够大的脉宽可以接收到整个物体回波信号,此时采集的信号可以认为是由采集系统分辨率决定的低分辨率回波信号;

由采集的延时低分辨率回波信号数据组,利用权重相加的方法来获取高分辨回波信号的距离权重信息和,而此高分辨回波信号的权重信息和为进行纵向超分辨率成像提供了必要条件;

循环进行光束随机二值调制和反射信号的采集,获取多组二值调制信息、非延时回波信号和及高分辨回波信号的权重信息和;

利用保存的三组信息,采用压缩感知算法可以获取物体的反射率信息和超分辨率距离-反射率信息;

最后采用超分辨率距离-反射率信息除以反射率信息来获取目标物体纵向超分辨率图像。

一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及单像素激光成像雷达领域,具体是一种实现单像素激光成像雷达纵向超分辨率成像的方法。

背景技术

[0002] 目前,人们为了探测获取目标物体图像信息,经常采用面阵 CCD 探测器。而在某些波段面阵 CCD 探测器量子效率低,且造价昂贵。在面阵 CCD 成像系统发展的同时,一种基于单像素探测器且无扫描装置的成像系统受到了人们的关注,本文称之为单像素激光成像雷达。该系统可以克服 CCD 探测器的不足,在某些成像波段具有成本和高成像质量的优势。在利用该系统进行三维成像时,不考虑激光脉冲脉宽,目标物体图像的纵向分辨率受单像素探测器和采集系统响应频率的限制。而目标物体高精度纵向分辨率图像含有丰富的信息,在目标探测、识别及追踪等领域有很大的应用需求。为了获取目标物体高分辨率纵向图像,常采用的方法是使用高性能的单像素探测器和高采样率的采集系统。但这样做会增加系统成本,且探测信号的信噪比会降低导致成像质量下降,这制约了该成像系统的应用。因此需要设计一种方法在不改变系统硬件水平的情况下克服采样率的限制,获取目标物体超越系统纵向分辨率图像。

发明内容

[0003] 本发明的目的是提供一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,以克服现有单像素激光成像雷达系统采样率的限制。

[0004] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案为:

[0005] 一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,单像素成像雷达系统的特征在于:包括延时脉冲发生控制器、脉冲激光器、单像素探测与数据采集单元、具有聚焦作用的光学接收系统,所述脉冲激光器的控制端接入延时脉冲发生控制器,脉冲激光器的出射光路上依次设置有光束均匀扩束器、光调制器,所述单像素探测与数据采集单元的光电探测面放置在光学接收系统的焦点处,单像素探测与数据采集单元的时序控制端接入延时脉冲发生控制器;

[0006] 延时脉冲发生控制器控制脉冲激光器发射脉冲激光,脉冲激光器发射的脉冲激光经过光束均匀扩束器进行光强均匀和扩束后进入光路中,之后光束经光调制器调制后具有特定的二值分布,最后照射目标物体;目标物体的反射光经光学接收系统聚焦后,由单像素探测与数据采集单元获取目标物体光强反射回波信号。

[0007] 所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:脉冲激光器能发射窄脉冲宽度的光束且具有同步信号输出功能。

[0008] 所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:光调制器具有外部触发和调制信号可控的功能。

[0009] 所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在于:单像素

探测与数据采集单元具有较小的触发延时抖动。

[0010] 所述的一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其特征在於:延时脉冲发生控制器能发出脉宽可控和高精度时间延迟脉冲触发信号。

[0011] 一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像方法,其特征在於:产生具有相同二值分布的光脉冲来照射目标物体,每次采集过程中延时脉冲发生控制器对单像素探测与数据采集单元依次施加不同延时的脉冲触发信号,并保证有足够大的脉宽可以接收到整个物体回波信号,此时采集的信号可以认为是由采集系统分辨率决定的低分辨率回波信号;

[0012] 由采集的延时低分辨率回波信号数据组,利用权重相加的方法来获取高分辨回波信号的距离权重信息和,而此高分辨回波信号的权重信息和为进行纵向超分辨率成像提供了必要条件;

[0013] 循环进行光束随机二值调制和反射信号的采集,获取多组二值调制信息、非延时回波信号和及高分辨回波信号的权重信息和;

[0014] 利用保存的三组信息,采用压缩感知算法可以获取物体的反射率信息和超分辨率距离-反射率信息;

[0015] 最后采用超分辨率距离-反射率信息除以反射率信息来获取目标物体纵向超分辨率图像。

[0016] 本发明的优点是:本发明可以在原有纵向低分辨率单像素激光成像雷达系统的基础上,不改变或者增加系统硬件,通过控制系统施加时间延时来实现纵向超分辨率成像,在高分辨成像领域具有广泛的应用价值。

附图说明

[0017] 图1为本发明的结构示意图。

[0018] 图2为m个具有相同二值分布脉冲激光回波信号的延时触发采集示意图。

具体实施方式

[0019] 如图1所示,一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,其装置包括脉冲激光器1、光束均匀扩束器2、光调制器3、光学接收系统4、单像素探测与数据采集单元5、延时脉冲发生控制器6;

[0020] 脉冲激光器1发出脉冲激光,经光束均匀扩束器2调制后具有较大的截面分布,且光强分布均匀;

[0021] 经光束均匀扩束器2后的光束照射到光调制器3上,调制后的光束具有随机二值分布,然后调制光束照射目标物体;

[0022] 目标物体反射光经光学接收系统4聚焦到单像素探测与数据采集单元5的光电探测面上获取反射回波信号;

[0023] 延时脉冲发生控制器6控制延时脉冲触发信号来控制激光器1和单像素探测与数据采集单元5的工作时序关系;

[0024] 一种实现单像素激光雷达纵向超分辨率成像的方法,产生多个具有相同二值分布的光脉冲来照射目标物体,对这多个脉冲激光的目标物体回波信号进行不同时间延时采集,完成一组低分辨回波信号数据的采集;

[0025] 由采集的延时低分辨率回波信号数据组,利用权重相加的方法来获取高分辨回波信号的距离权重信息和,而此高分辨回波信号的权重信息和为进行纵向超分辨率成像提供了必要条件;

[0026] 循环进行光束随机二值调制和反射信号的采集,获取不同二值调制信号下的高分辨回波信号,分别保存多组二值调制信息、非延时回波信号和及高分辨回波信号的权重信息和;

[0027] 利用保存的三组信息,采用压缩感知算法可以获取物体的反射率信息和超分辨率距离-反射率信息;

[0028] 最后采用超分辨率距离-反射率信息除以反射率信息来获取目标物体纵向超分辨率图像。

[0029] 时间延时触发是本系统实施的关键技术,图 2 给出了 m 个具有相同二值分布脉冲激光回波信号的延时触发采集示意图。假设在某一调制脉冲情况下,探测采集系统获取的回波信号形式为 $I_m(i_{m1}, i_{m2}, \dots, i_{mn})$,不考虑激光脉冲脉宽的限制,则对应的物体每个小切片之间的距离 Δz 为:

$$[0030] \quad \Delta z = \frac{c\Delta\tau}{2} \quad (1)$$

[0031] 其中, c 为光速, $\Delta\tau$ 为采集系统的时间响应。每一个回波信号可以认为是由几个更小切片距离 $\Delta z'$ 回波信号的和构成,即

$$[0032] \quad \begin{aligned} i_{m1} &= i_{m1}^1 + i_{m1}^2 + \dots + i_{m1}^k, \\ i_{m2} &= i_{m2}^1 + i_{m2}^2 + \dots + i_{m2}^k, \\ &\dots \\ i_{mn} &= i_{mn}^1 + i_{mn}^2 + \dots + i_{mn}^k. \end{aligned} \quad (2)$$

[0033] 其中, $\Delta z = k\Delta z'$ 。获取更小切片的回波信号,就可以利用这些信息来实现超越系统纵向分辨率的成像。

[0034] 为了分析实现单像素激光成像雷达系统纵向超分辨率成像,对该系统的延时时序关系进行分析,首先直接发射无调制信息的激光脉冲,获取回波信号,根据出现信号的位置作为参考时刻,然后对多个激光脉冲施加同一调制信息,在参考时刻施加不同的延时获得多组回波信号。

[0035] 假设延迟时间 $\Delta\tau'$ 对应的距离为 $\Delta z'$,由公式 (2) 可以得到在某一特定调制信息下对应时间延迟为 $\Delta\tau'$ 的回波信号为:

$$[0036] \quad \begin{aligned} i_{m1} &= i_{m1}^2 + \dots + i_{m1}^k + i_{m2}^1, \\ i_{m2} &= i_{m2}^2 + \dots + i_{m2}^k + i_{m3}^1, \\ &\dots \\ i_{mn} &= i_{mn}^2 + \dots + i_{mn}^k. \end{aligned} \quad (3)$$

[0037] 对 k 个激光脉冲进行相同调制信息的调制,对每个回波脉冲进行时间延迟间距为 $\Delta\tau'$ 的探测采集,则获得的 k 个回波信号 $I_1(i_{11}, i_{12}, \dots, i_{1n}), I_2(i_{21}, i_{22}, \dots, i_{2n}), \dots, I_k(i_{k1}, i_{k2}, \dots, i_{kn})$ 可以表示为:

$$\begin{aligned}
[0038] \quad & i_{11} = i_{11}^1 + i_{11}^2 + \dots + i_{11}^k, \quad i_{21} = i_{11}^2 + \dots + i_{11}^k + i_{12}^1, \quad i_{k1} = i_{11}^k + i_{12}^1 + \dots + i_{12}^{k-1}, \\
& i_{12} = i_{12}^1 + i_{12}^2 + \dots + i_{12}^k, \quad i_{22} = i_{12}^2 + \dots + i_{12}^k + i_{13}^1, \quad i_{k2} = i_{12}^k + i_{13}^1 + \dots + i_{13}^{k-1}, \\
& \dots \qquad \qquad \qquad \dots \qquad \qquad \qquad \dots \\
& i_{1n} = i_{1n}^1 + i_{1n}^2 + \dots + i_{1n}^k, \quad i_{2n} = i_{1n}^2 + \dots + i_{1n}^k, \quad i_{kn} = i_{1n}^k.
\end{aligned} \tag{4}$$

[0039] 对获取的 k 个回波信号的对应项乘相应的时间权重,可以得到表示形式为:

$$\begin{aligned}
[0040] \quad & \alpha i_{11} = \alpha(i_{11}^1 + i_{11}^2 + \dots + i_{11}^k), \quad \alpha i_{21} = \alpha(i_{11}^2 + \dots + i_{11}^k + i_{12}^1), \quad \alpha i_{k1} = \alpha(i_{11}^k + i_{12}^1 + \dots + i_{12}^{k-1}), \\
& 2\alpha i_{12} = 2\alpha(i_{12}^1 + i_{12}^2 + \dots + i_{12}^k), \quad 2\alpha i_{22} = 2\alpha(i_{12}^2 + \dots + i_{12}^k + i_{13}^1), \quad 2\alpha i_{k2} = 2\alpha(i_{12}^k + i_{13}^1 + \dots + i_{13}^{k-1}), \\
& \dots \qquad \qquad \qquad \dots \qquad \qquad \qquad \dots \\
& n\alpha i_{1n} = n\alpha(i_{1n}^1 + i_{1n}^2 + \dots + i_{1n}^k), \quad n\alpha i_{2n} = n\alpha(i_{1n}^2 + \dots + i_{1n}^k), \quad n\alpha i_{kn} = n\alpha i_{1n}^k.
\end{aligned} \tag{5}$$

[0041] 其中,参数 α 与时间分辨率有关的参量。对上式进行累加操作可以得到:

$$[0042] \quad IQ = \alpha i_{11}^1 + 2\alpha i_{11}^2 + \dots + kn\alpha i_{1n}^k, \tag{9}$$

[0043] 通过上式可以看出高分辨率回波信号都进行了相应时间权重处理,为进行物体纵向超分辨率信息复原提供了有效的信息。这是在某一调制信息下获取的结果,改变调制信息获取 t 组不同调制信息下的结果为:

$$[0044] \quad IQ = [IQ_1, IQ_2, \dots, IQ_t]. \tag{10}$$

[0045] 根据已知的调制信息 $B = [B_1, B_2, \dots, B_t]$,可以得到等式为:

$$[0046] \quad IQ^T = B^T O_{DR}, \tag{11}$$

[0047] 利用压缩感知算法对上式进行计算,可以获取物体信息 O_{DR} ,但是由于系统获取的是物体总的回波信号,所以 O_{DR} 是含有距离和物体反射率的混合信息,为此需要在获取的混合信息里面去除反射率信息,得到纵向超分辨率信息。 O_{DR} 可以等效为:

$$[0048] \quad O_{DR} = O_D * O_R, \tag{12}$$

其中, O_R 为物体的反射率信息, O_D 为物体的纵向超分辨率信息。为此可以采用简单的图像除法运算得到物体的纵向超分辨率信息:

$$[0049] \quad O_D = (O_{DR}/O_R) \square \text{mask}(O_R), \tag{13}$$

其中, mask 为了避免除零的情况进行限定,其为 $[0, 1]$ 的二值矩阵,当 O_R 元素非零时为 1,否则为 0。而物体的反射率信息可以利用非延时回波信号,利用常规方法来获得。

[0050] 显然,本领域的技术人员可以通过对本发明所涉及纵向超分辨率单像素激光成像雷达进行改动和变型而不脱离本发明的精神和范围。这样,如果这些修改和变动属于本发明权利要求及其等同技术的范围之内,则本发明也意图包含这些修改和变型在内。

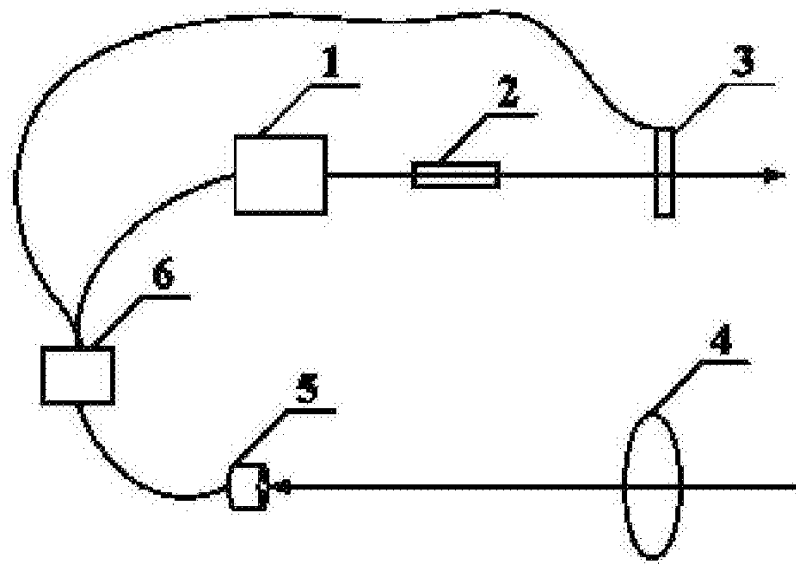


图 1

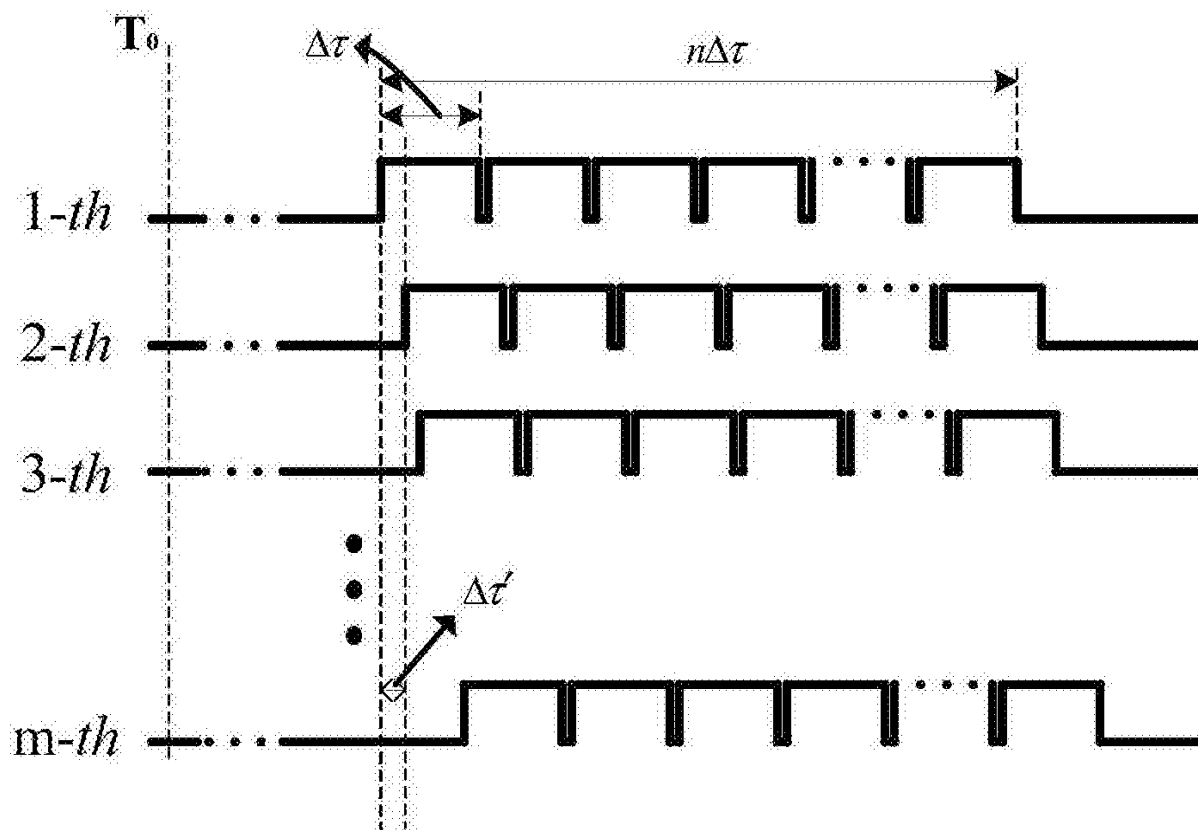


图 2