



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101788671 B

(45) 授权公告日 2012. 08. 01

(21) 申请号 201010107427. 3

(22) 申请日 2010. 02. 09

(73) 专利权人 中国科学院上海技术物理研究所
地址 200083 上海市玉田路 500 号

(72) 发明人 孟昭华 洪光烈 舒嵘

(74) 专利代理机构 上海新天专利代理有限公司
31213

代理人 郭英

(51) Int. Cl.

G01S 17/10(2006. 01)

(56) 对比文件

- US 5434662 A, 1995. 07. 18,
- CN 201159766 Y, 2008. 12. 03,
- CN 101236253 A, 2008. 08. 06,
- CN 102047071 A, 2011. 05. 04,

审查员 吴琼

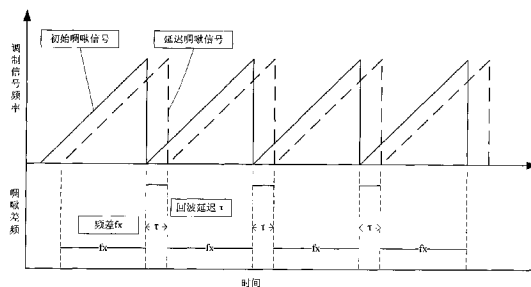
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

应用于外差探测啁啾调幅激光测距装置的多周期调制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种应用于外差探测啁啾调幅激光测距装置的多周期调制方法以及对应的频率估算方法。利用连续的 4 到 10 个周期啁啾信号对单个激光脉冲幅度调制实现测距,此方式提高了啁啾差频信号频率。在频率信息提取时采用了基于频谱功率加权平均的计算方式,提高了测量精度。



1. 一种应用于外差探测啁啾调幅激光测距装置的多周期调制方法,其特征在于:系统使用连续的4到10个周期的啁啾信号对单个激光脉冲进行调制,并选取啁啾差频信号对应的4到10个频谱最高峰值,通过对这些峰值的频率进行按各峰值功率的加权平均来计算啁啾频差频率,所述的按各峰值功率的加权平均计算啁啾频差频率 f_x 的公式为:

$$f_x = \frac{f_0 * P_0 + f_1 * P_1 + f_2 * P_2 + \dots + f_k * P_k}{P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k} \quad (1)$$

其中:k取值范围为3~9, f_k 、 P_k 按以下方法获得:系统使用模数转换器将解调得到啁啾差频信号转化为数字信号,然后进行快速傅立叶变换,得到信号频谱,频谱分析软件对频谱进行分析,得出啁啾差频 f_x 的频率,频谱分析软件首先寻找频谱的最高峰值,其功率为 P_0 ,对应的信号频率为 f_0 ;然后在此峰值周围 $\pm 20\text{KHz}$ 频率范围内,按功率由大到小的次序,再寻找另外的3到9个频谱峰值,峰值对应信号功率分别为 P_1, P_2, \dots, P_k , 频率分别为 f_1, f_2, \dots, f_k 。

应用于外差探测啁啾调幅激光测距装置的多周期调制方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及光电仪器技术，具体指一种应用于啁啾调制激光测距装置的多周期调制方法。

背景技术：

[0002] 目前激光测距多基于两种体制，一种为利用测量激光脉冲的飞行时间来实现测距，此方法利用脉冲激光器的高功率特性，可实现远距离测量，但测距精度受到激光脉冲宽度的限制，且脉冲激光的泵浦源工作寿命往往有限；另一种则采用调制的连续波激光或者长激光脉冲，通过测量回波中调制信号的相对变化来实现测距，此类方法可实现高精度的距离测量，但由于连续激光功率有限，无法实现远距离的测量。基于直接探测的调制测距设备往往只能进行几百米的距离测量，且需要利用合作目标增加反射。为了实现较远距离的高精度测量，基于激光外差探测的啁啾调幅测距方式被提出，利用外差探测的高灵敏度来提高调制测距的作用范围，且外差探测可得出激光多普勒频移，实现速度测量。

[0003] 啁啾调幅外差探测测距系统利用激光器发射长激光脉冲，取少部分能量用作外差探测的本振光信号，其他部分经过移频以及单周期啁啾信号调幅后，发射到目标。目标反射的激光回波与本振光信号混合，在探测器上实现混频，并转化为回波电信号。

[0004] 回波电信号中包含被延迟的啁啾信号，延迟为 τ ，与初始啁啾信号存在一个与 τ 成正比的频差 f_x 。检测此频差 f_x 就可以得出回波的延迟，进而得到目标的距离。

[0005] 啁啾信号的频率 $f(t)$ 为：

$$[0006] \quad f(t) = f_s + \frac{B}{T_C} t \quad \left(-\frac{T_C}{2} \leq t \leq \frac{T_C}{2}\right) \quad (1)$$

[0007] f_s 为啁啾信号的中心频率， B 为啁啾信号的带宽， T_C 为啁啾信号的长度。则原始的啁啾信号 $c(t)$ ：

$$[0008] \quad c(t) = \cos 2\pi \left[\int f(t) dt \right] = \cos \left[2\pi \left(f_s t + \frac{Bt^2}{2T_C} \right) + \phi \right] \quad (2)$$

[0009] 回波中延迟 τ 后的啁啾信号 $c(t-\tau)$ ：

$$[0010] \quad c(t-\tau) = \cos \left[2\pi \left(f_s (t-\tau) + \frac{B(t-\tau)^2}{2T_C} \right) + \phi \right] \quad (3)$$

[0011] 延迟的啁啾信号与原始啁啾信号混频后，可得到两啁啾信号的频差 f_x ：

$$[0012] \quad f_x = \frac{B\tau}{T_C} \quad (4)$$

[0013] 通过分析混频结果，得出 f_x ，就可以计算得出回波延迟：

$$[0014] \quad \tau = f_x T_C / B \quad (5)$$

[0015] 则目标距离 L ：

$$[0016] \quad L = C f_x T_C / 2B \quad (6)$$

[0017] 其中 C 为光速。

[0018] 对于传统啁啾调幅外差探测测距设备,激光脉冲长度 T 与啁啾信号长度 T_c 相同。

由于 $f_x = \frac{B\tau}{T_c} = \frac{B\tau}{T}$, 如激光脉冲长度较长,当啁啾信号带宽 B 一定,此时频差 f_x 就较小。则频差 f_x 的测量就容易受到系统低频噪声以及激光相位噪声的干扰,影响测量精度。如激光脉冲长度 T 较短,则激光脉冲的能量低,探测信噪比较差,且频率计算时频谱分辨率低,降低了测量的分辨率。因此对激光脉冲长度的选取存在一定的矛盾。

发明内容:

[0019] 本发明的目的是提供一种用于外差探测啁啾调幅激光测距装置的调制方式,是对传统外差探测啁啾调制测距系统的调制方式的改进,并提出了对啁啾频差频率估算的新方法。

[0020] 使用连续的 4 到 10 个周期啁啾信号对单个激光脉冲进行调制,缩短了单个啁啾信号长度,提高了啁啾差频 f_x 的频率,减小了激光相位噪声与低频噪声干扰。同时由于激光脉冲长度不变,不影响接收到的回波能量,且不影响进行啁啾差频分析时的频谱分辨率。

[0021] 测距装置使用模数转换器采集啁啾差频信号,对采集结果进行快速傅立叶变换 (FFT),得到差频信号的频谱。此时选取频谱的 4 到 10 个最高峰值,对这些峰值对应的频率进行按峰值对应功率的加权平均,估计真实的啁啾频差频率,可提高频率估计的精度,即提高测距的精度。

[0022] 本发明的具体技术方案如下:

[0023] 啁啾调幅外差探测测距设备包含窄线宽激光器,电光调制器,声光移频器,激光收发光路,光纤激光混合光路,平衡式光电探测器,啁啾信号源,激光中频信号源,控制电路,射频信号处理电路(包含放大器与同步检波电路以及滤波器),数据采集系统以及频谱分析软件。

[0024] 在控制电路控制下,激光器发射长脉冲激光,长度为 T 。同时啁啾信号源发出连续的 N 个周期 ($N = 4 \sim 10$) 啁啾信号用于脉冲幅度调制,每个周期啁啾信号长度为 $T_c = T/N$ 。目标反射激光回波信号与本振光信号在光混合光路混合后,在平衡探测器上完成混频并转化为电信号,探测器的输出信号为调制于激光外差中频幅度上的延迟 N 周期啁啾信号。

[0025] 射频信号处理部分先将探测器输出放大后,与初始 N 周期啁啾信号在啁啾混频器内混频,得到调制于激光外差中频幅度上的 N 周期啁啾差频信号,然后使用同步检波解调得到啁啾差频信号。

[0026] 使用多周期啁啾调制的啁啾差频信号频率 f_x 为:

$$[0027] \quad f_x = \frac{NB\tau}{T} \quad (7)$$

[0028] 则目标距离 L :

$$[0029] \quad L = Cf_x T / 2NB \quad (8)$$

[0030] 其中 N 为单个激光脉冲上调制的啁啾信号周期数, B 为啁啾信号带宽, T 为激光脉冲长度, τ 为回波延迟。

[0031] 系统使用模数转换器将解调结果转化为数字信号,然后进行快速傅立叶变换 (FFT),得到信号频谱,频谱分析软件对其进行分析,得出啁啾差频 f_x 的频率。频谱分析软件

首先寻找频谱的最高峰值,其功率为 P_0 ,对应的信号频率为 f_0 。然后在此峰值周围 $\pm 20\text{KHz}$ 频率范围内,按功率由大到小的次序,再寻找另外的 3 到 9 个频谱峰值,峰值对应信号功率分别为 P_1, P_2, \dots, P_k ($k = 3 \sim 9$), 频率分别为 f_1, f_2, \dots, f_k ($k = 3 \sim 9$)。利用的频谱峰值数量越多,频率估算越精确,但计算用时将越长。最后将找到的共 4 ~ 10 个峰值的频率进行按峰值对应功率的加权平均,估算得到啁啾差频 f_x 的频率为:

$$[0032] \quad f_x = \frac{f_0 * P_0 + f_1 * P_1 + f_2 * P_2 + \dots + f_k * P_k}{P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k} \quad (k=3 \sim 9) \quad (9)$$

[0033] 工作原理:激光器发射的长度为 T 的激光脉冲被啁啾信号源发出连续的 N 个 ($N = 4 \sim 10$) 周期啁啾信号调幅,后发送到目标。从目标反射的回波信号包含连续 N 周期经过延迟的啁啾信号。

[0034] 延迟的 N 周期啁啾信号与初始的 N 周期啁啾信号混频后可得到 N 周期啁啾差频信号,其频率 f_x 为: $f_x = \frac{B\tau}{T_c}$ 。其中 B 为啁啾信号带宽, T_c 为啁啾信号长度, τ 为回波延迟。由于系统使用了 N 个 ($N = 4 \sim 10$) 周期的啁啾信号对激光脉冲进行调幅,单个啁啾信号的长度 $T_c = T/N$, T 为激光脉冲长度。因此 $f_x = \frac{NB\tau}{T}$ 。相比单啁啾调制系统,啁啾频差频率提高了 N 倍,降低了系统低频噪声的影响。

[0035] 由于使用了 N 个 ($N = 4 \sim 10$) 周期啁啾信号调制,得到的 N 周期啁啾差频信号近似于单周期啁啾差频信号与 N 周期冲击函数的卷积。 N 周期差频信号的频谱等于单周期啁啾差频信号频谱与 N 周期冲击函数频谱的乘积。而 N 周期冲击函数的频谱近似为一个冲击函数序列,因此,在 N 周期差频信号频谱中,出现单周期啁啾差频信号频谱被冲击函数采样的现象。此时如只选取傅立叶变换结果的最高峰值对应频率作为差频频率,则频率估算精度较差。

[0036] 通过选取 N 周期啁啾差频信号频谱的 4 到 10 个最高峰值,进行按峰值功率的加权平均来估计啁啾频差频率,可以从被采样的频谱中较准确的获取频谱峰值的准确位置,提高频率估计的精度,继而提高了测距精度。

[0037] 本发明的优点是:方便实施,但有效的提高了外差探测啁啾调幅测距系统的性能。

附图说明:

[0038] 图 1 为外差探测啁啾调幅激光测距装置的结构框图。

[0039] 图 2 用于说明多周期啁啾调幅的测距原理,图中显示的为连续调制了 4 个周期的啁啾信号,与延迟为 τ 的回波的固定差频为 f_x 。

[0040] 图 3 说明分析啁啾差频时,由于多周期调制带来的多周期啁啾差频频谱信息被冲击函数采样的现象。并示意了在频率估算时,频谱峰值的选择办法,图中示意选择了 4 点的峰值,功率为 $P_0 \sim P_3$,对应的频率为 $f_0 \sim f_3$ 。

具体实施方式:

[0041] 下面根据图 1 给出本发明一个较好实施例,以便进一步给出本发明的技术细节,使能更好地说明本发明的特征和功能特点,但不是用来限定本发明的范围。

[0042] 多周期啁啾信号源由直接数字合成器 DDS(Direct Digital Synthesizer) 构成, 输出啁啾信号起始频率为 80MHz, 信号频率范围为 80MHz 到 280MHz, 单个啁啾长度为 1ms。啁啾信号频率由 80MHz 线性增长到 280MHz 后, 立刻跳回到 80MHz, 重新开始一个啁啾周期。多周期啁啾信号源包含外触发信号, 在触发后连续发出 4 周期的啁啾信号, 多周期啁啾信号总长度 4ms。

[0043] 声光移频器为美国 BRIMOSE 公司的 IPF-600-60-1550-2FP, 移频频率为 600MHz, 适用波长为 1550nm。电光调制器为 JDSU 公司的 APE 微波模拟幅度调制器, 可调制的信号带宽为 20GHz。

[0044] 使用的窄线宽激光波长为 1550nm, 单个脉冲宽度为 4ms, 功率为 1W, 线宽为 5KHz, 上面调制 4 个周期的啁啾信号。激光发射激光发散角为 5 微弧度, 接收望远镜口径 10 厘米, 焦距 1 米。

[0045] 控制逻辑用于啁啾信号源, 激光器以及数据采集的时序控制。在控制逻辑触发下, 激光发射, 啁啾信号源与数据采集启动。数据采用使用美国 NationalInstrument 公司的 PXI-5105 采集卡, 为 8 通道 12bit 的采集卡, 并配有外部触发输入。使用的采样率为 10MHz, 一次采样时间为 4ms。

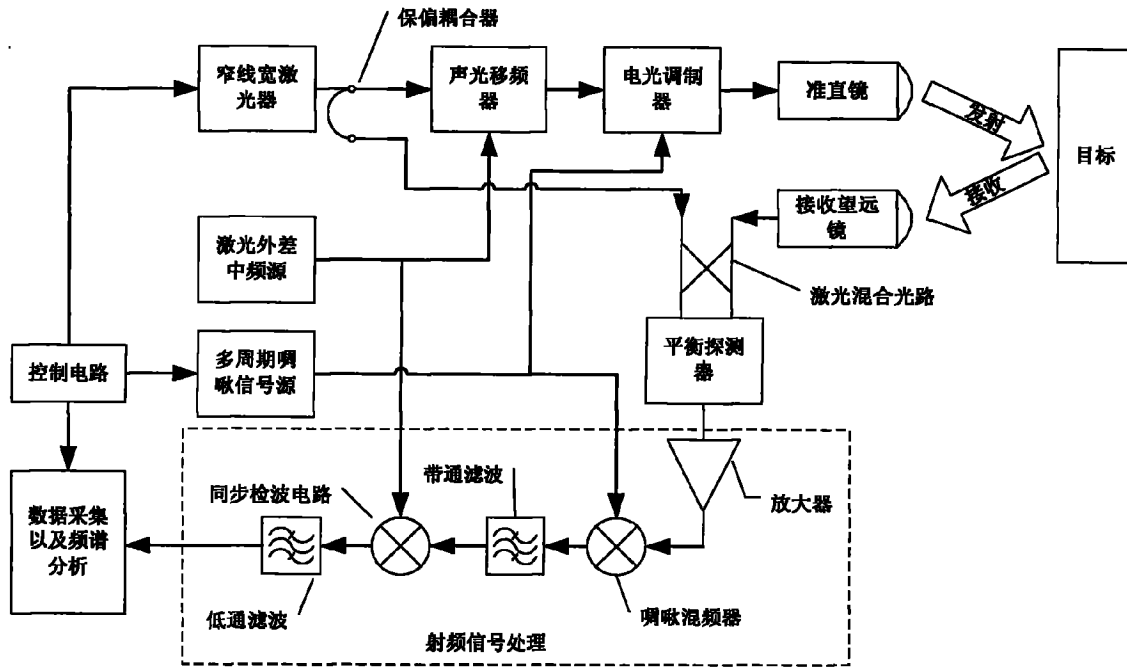


图 1

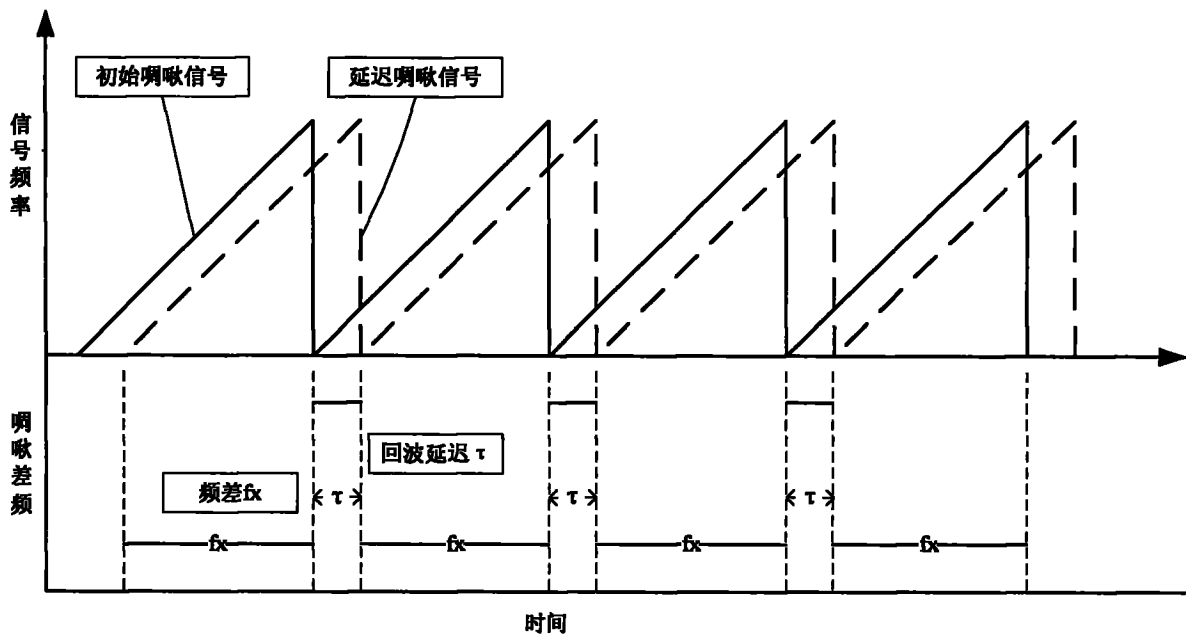


图 2

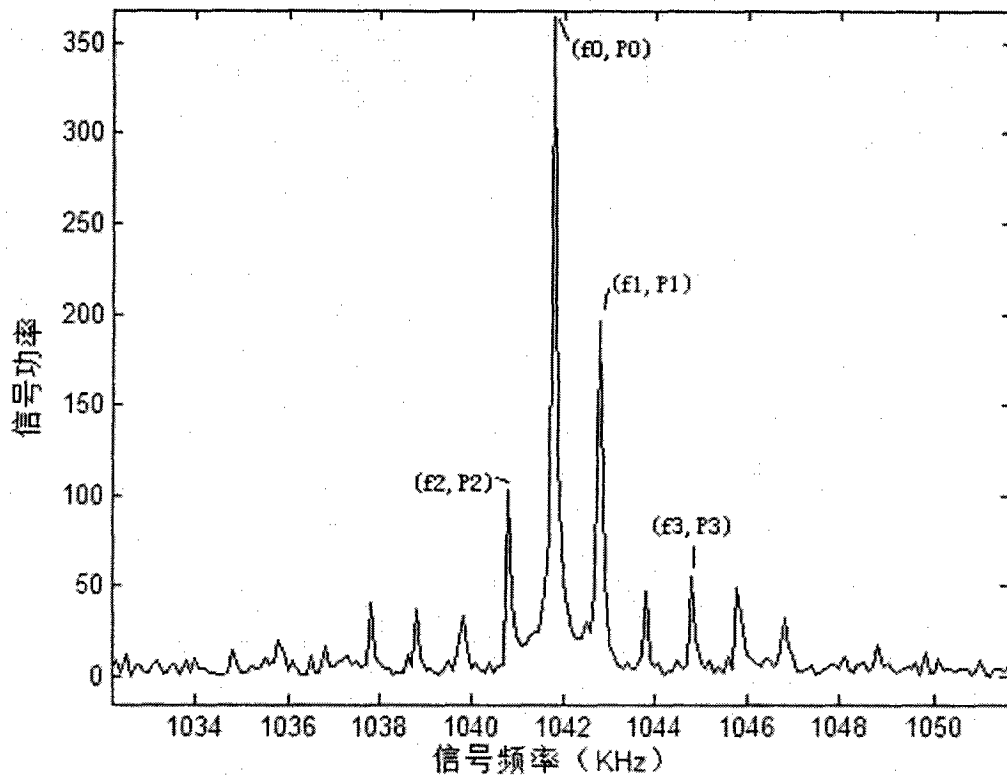


图 3