

# 基于光纤采样技术的LFMCW激光 雷达调频的非线性校正方法

申请号：[201310050972.7](#)

申请日：2013-02-16

**申请(专利权)人** [哈尔滨工业大学](#)  
**地址** 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街92号  
**发明(设计)人** [甘雨](#) [陈凤东](#) [许新科](#) [刘国栋](#) [刘炳国](#) [庄志涛](#)  
**主分类号** [G01S7/40\(2006.01\)I](#)  
**分类号** [G01S7/40\(2006.01\)I](#)  
**公开(公告)号** 103176173A  
**公开(公告)日** 2013-06-26  
**专利代理机构** [哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109](#)  
**代理人** [张果瑞](#)



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103176173 A

(43) 申请公布日 2013.06.26

(21) 申请号 201310050972.7

(22) 申请日 2013.02.16

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 甘雨 陈凤东 许新科 刘国栋  
刘炳国 庄志涛

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事  
务所 23109

代理人 张果瑞

(51) Int. Cl.

G01S 7/40(2006.01)

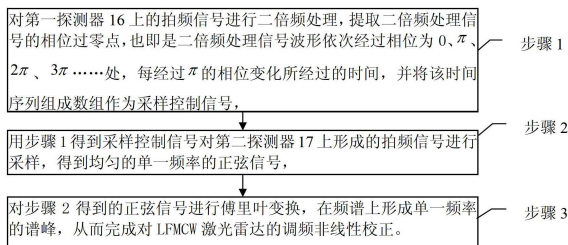
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法

(57) 摘要

基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法,涉及 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正的技术领域。本发明解决了在调频曲线变化不平缓时,无法进行非线性校正的问题,提出了基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法。对校正光路中的第一光纤和第二光纤的长度预先进行标定,第一光纤和第二光纤的长度之差为 LFM CW 激光雷达最大测量距离,即测量范围上限,第三耦合器对第一光纤和第二光纤的光束进行合束,其校正光被第一探测器接收,形成拍频信号,该拍信号经过电学二倍频后对于干涉测量光路中的拍频信号进行采样,然后对采样后的信号进行信号处理,从而消除调频激光器调频非线性对测量结果的影响。本发明适用于对激光雷达调频非线性校正。



1. 基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法, 所述 LFM CW 激光雷达是设置有校正光路的 LFM CW 激光雷达, 它包括干涉测量光路和校正光路, 所述干涉测量光路包括调谐激光器(1)、第一耦合器(2)、第一准直镜(3)、第一玻片(4)、第一偏振分光镜(5)、第二玻片(6)、准直扩束装置(7)、聚焦透镜(8)、第二耦合器(9)、第二准直镜(10)、第三玻片(11)、第二偏振分光镜(12) 和第二探测器(17), 所述校正光路包括第一光纤(13)、第二光纤(14)、第三耦合器(15) 和第一探测器(16),

调谐激光器(1) 发出的线性连续调频激光通过光纤入射到第一耦合器(2), 所述第一耦合器(2) 将该激光分成三束激光, 其中第一束激光通过光纤入射到第一准直镜(3), 第一准直镜(3) 出射光经过第一玻片(4) 透射后入射到第一偏振分光镜(5), 经该第一偏振分光镜(5) 的透射的激光入射至第二玻片(6), 经该第二玻片(6) 透射后变为圆偏振光, 该圆偏振光入射到准直扩束装置(7), 准直扩束装置(7) 输出的激光照射目标(18), 经该目标(18) 反射的线偏振光入射至准直扩束装置(7), 该准直扩束装置(7) 将所述线偏振光输出至第二玻片(6), 经该第二玻片(6) 透射后进入第一偏振分光镜(5) 的分光面, 经该第一偏振分光镜(5) 的分光面反射后入射到聚焦透镜(8), 经该聚焦透镜(8) 聚焦后入射到第二偏振分光镜(12) 的分光面, 经过该第二偏振分光镜(12) 的分光面反射形成干涉测量光路的信号光,

第一耦合器(2) 分出的第二束激光通过光纤入射到第二耦合器(9), 第二耦合器(9) 将该激光分为两束光, 其中一束入射到第二准直镜(10), 第二准直镜(10) 的出射光入射至第三玻片(11), 经该第三玻片(11) 透射后入射到第二偏振分光镜(12), 经过第二偏振分光镜(12) 透射后形成干涉测量光路的参考光, 所述干涉测量光路的参考光和干涉测量光路的信号光合束之后入射到第二探测器(17), 在第二探测器(17) 上形成拍频信号; 第二耦合器(9) 分出的另一束激光通过第一光纤(13) 入射到第三耦合器(15),

第一耦合器(2) 分出的第三束激光通过第二光纤(14) 入射到第三耦合器(15), 第三耦合器(15) 将第一光纤(13) 和第二光纤(14) 入射的两束光合束后作为校正光入射到第一探测器(16), 在第一探测器(16) 上形成拍频信号,

其特征在于, 所述非线性校正方法的具体过程为:

步骤 1: 对第一探测器(16) 上的拍频信号进行电学二倍频处理, 提取二倍频处理信号的相位过零点, 也即是二倍频处理信号波形依次经过相位为  $0$ 、 $\pi$ 、 $2\pi$ 、 $3\pi$  ……处, 每经过  $\pi$  的相位变化所经过的时间, 并将该时间序列组成数组作为采样控制信号,

步骤 2: 用步骤 1 得到的采样控制信号对第二探测器(17) 上形成的拍频信号进行采样, 得到均匀的统一频率的正弦信号,

步骤 3: 对步骤 2 得到的正弦信号进行傅里叶变换, 在频谱上形成单一频率的谱峰, 从而完成对 LFM CW 激光雷达的调频非线性校正。

2. 根据权利要求 1 所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法, 其特征在于, 所述调谐激光器(1) 为 1550nm 调谐激光器。

3. 根据权利要求 1 所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法, 其特征在于, 所述第一耦合器(2) 为  $1 \times 3$  耦合器。

4. 根据权利要求 1 所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法, 其特征在于, 所述第二耦合器(9) 为  $1 \times 2$  耦合器。

5. 根据权利要求 1 所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法,其特征在于,所述第三耦合器(15)为  $2 \times 1$  耦合器。

6. 根据权利要求 1 所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法,其特征在于,所述第一玻片(4)为  $1/2$  玻片。

7. 根据权利要求 1 所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法,其特征在于,所述第二玻片(6)为  $1/4$  玻片。

8. 根据权利要求 1 所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法,其特征在于,所述第三玻片(11)为  $1/2$  玻片。

## 基于光纤采样技术的 LFMCW 激光雷达调频的非线性校正方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及 LFMCW 激光雷达调频的非线性校正的技术领域。

### 背景技术

[0002] 线性调频连续波 (LFMCW) 体制的激光雷达具有发射功率低、截获概率小、无模糊测距、可实现距离高分辨率等突出优点,因而在精确制导领域得到了广泛的应用。其基本原理是利用发射信号与回波信号之间的频率差来确定目标距离,即依靠较容易处理的信号频域特征来反映目标的距离参数。理想线性的宽带调制波形可以得到很高的距离分辨率,但这种体制对调制线性的要求是极其苛刻的,而非线性分量将无可避免地对系统产生负面影响,导致测量距离或速度不准确,严重影响测量精度,对其进行非线性校正意义重大。因此,对 LFMCW 激光雷达调频非线性的研究一直是该种测量方式的研究重点。

[0003] 理想情况下,激光调频曲线应为线性,但实际中受各种因素影响会产生调频非线性,该因素将严重影响测量准确度和精度,对 LFMCW 雷达调频非线性的校正,在微波雷达中有较多的研究,但是微波雷达与激光雷达在频域上有很大的差别,微波频率较低,而激光频率很高,因此,传统微波雷达的理论和技术的很多不适用于 LFMCW 激光雷达,而且这些校正非线性的方式大多需要复杂的电学设备,因此,需要考虑并校正电学设备本身的非线性,有些需要迭代算法来估算调频非线性,在时间上有一定的延迟,由于校准干涉仪采集到的干涉信号正好反映了激光器的非线性,所以将该干涉信号可以作为非线性补偿的数据来源。为满足采样定理的要求,校准干涉仪两臂的光程差必须至少是被测距离值的两倍,才能满足奈奎斯特采样定理,保证采样后的信号经过傅里叶变换后在频域不发生混叠失真。由于是非均匀采样,需要保证干涉测量光路和校正光路的拍频信号之间的频率比例始终保持恒定(最小为 1:2),如图 4 所示,才能使采样后的信号变为一个随  $k$  均匀的时变信号,如图 3 所示,所以这种校正方法只适用于调频曲线变化平缓的情况。

### 发明内容

[0004] 本发明为了解决在调频曲线变化不平缓时,无法进行非线性校正的问题,提出了基于光纤采样技术的 LFMCW 激光雷达调频的非线性校正方法。

[0005] 基于光纤采样技术的 LFMCW 激光雷达调频的非线性校正方法,所述 LFMCW 激光雷达是设置有校正光路的 LFMCW 激光雷达,它包括干涉测量光路和校正光路,所述干涉测量光路包括调谐激光器、第一耦合器、第一准直镜、第一玻片、第一偏振分光镜、第二玻片、准直扩束装置、聚焦透镜、第二耦合器、第二准直镜、第三玻片、第二偏振分光镜和第二探测器,所述校正光路包括第一光纤、第二光纤、第三耦合器和第一探测器,

[0006] 调谐激光器发出的线性连续调频激光通过光纤入射到第一耦合器,所述第一耦合器将该激光分成三束激光,其中第一束激光通过光纤入射到第一准直镜,第一准直镜出射光经过第一玻片透射后入射到第一偏振分光镜,经该第一偏振分光镜的透射的激光入射至

第二玻片,经该第二玻片透射后变为圆偏振光,该圆偏振光入射到准直扩束装置,准直扩束装置输出的激光照射目标,经该目标反射的线偏振光入射至准直扩束装置,该准直扩束装置将所述线偏振光输出至第二玻片,经该第二玻片透射后进入第一偏振分光镜的分光面,经该第一偏振分光镜的分光面反射后入射到聚焦透镜,经该聚焦透镜聚焦后入射到第二偏振分光镜的分光面,经过该第二偏振分光镜的分光面反射形成干涉测量光路的信号光,

[0007] 第一耦合器分出的第二束激光通过光纤入射到第二耦合器,第二耦合器将该激光分为两束光,其中一束入射到第二准直镜,第二准直镜的出射光入射至第三玻片,经该第三玻片透射后入射到第二偏振分光镜,经过第二偏振分光镜透射后形成干涉测量光路的参考光,所述干涉测量光路的参考光和干涉测量光路的信号光合束之后入射到第二探测器,在第二探测器上形成拍频信号;第二耦合器分出的另一束激光通过第一光纤入射到第三耦合器,

[0008] 第一耦合器分出的第三束激光通过第二光纤入射到第三耦合器,第三耦合器将第一光纤和第二光纤入射的两束光合束后作为校正光入射到第一探测器,在第一探测器上形成拍频信号,

[0009] 所述非线性校正方法的具体过程为:

[0010] 步骤1:对第一探测器上的拍频信号进行电学二倍频处理,提取二倍频处理信号的相位过零点,也即是二倍频处理信号波形依次经过相位为 $0$ 、 $\pi$ 、 $2\pi$ 、 $3\pi$ ……处,每经过 $\pi$ 的相位变化所经过的时间,并将该时间序列组成数组作为采样控制信号,

[0011] 步骤2:用步骤1得到的采样控制信号对第二探测器上形成的拍频信号进行采样,得到均匀的统一频率的正弦信号,

[0012] 步骤3:对步骤2得到的正弦信号进行傅里叶变换,在频谱上形成单一频率的谱峰,从而完成对LFMCW激光雷达的调频非线性校正。

[0013] 本发明提供基于光纤采样技术的LFMCW激光雷达调频的非线性校正方法,本发明是基于结构简洁的LFMCW激光雷达校正光路的光纤倍频采样技术来校正激光调频的非线性,从而消除调频激光器调频的非线性对测量结果的影响,本发明采用的校正装置结构简单、测量速度快且实时在线校正,成本低,并且本发明提供的方法对于在调频曲线变化平缓 and 调频曲线变化不平缓的情况下均适用。

## 附图说明

[0014] 图1是带有校正光路的LFMCW激光雷达的结构示意图,

[0015] 图2是调频曲线不含有非线性误差的情况下的调频特性曲线,其中,1表示参考光,2表示测量光,

[0016] 图3调频曲线不含有非线性误差的情况下拍频信号图,其中IF表示中值频率,且 $IF = \tau \Omega / T_m$ ,

[0017] 图4是调频曲线变化平缓的情况下的非线性调频特性曲线,其中,3表示参考光,4表示测量光,5表示校正光,

[0018] 图5是校正光路的拍频信号进行二倍频处理后的信号的示意图,

[0019] 图6是干涉测量光路的拍频信号示意图,

[0020] 图7是调频曲线变化不平缓的情况下的非线性调频特性曲线,其中,6表示参考

光,7 表示测量光,8 表示校正光,

[0021] 图 8 是基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的流程图。

### 具体实施方式

[0022] 具体实施方式一:结合图 1 和图 8 说明本实施方式,本实施方式所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法,所述 LFM CW 激光雷达是设置有校正光路的 LFM CW 激光雷达,它包括干涉测量光路和校正光路,所述干涉测量光路包括调谐激光器 1、第一耦合器 2、第一准直镜 3、第一玻片 4、第一偏振分光镜 5、第二玻片 6、准直扩束装置 7、聚焦透镜 8、第二耦合器 9、第二准直镜 10、第三玻片 11、第二偏振分光镜 12 和第二探测器 17,所述校正光路包括第一光纤 13、第二光纤 14、第三耦合器 15 和第一探测器 16,

[0023] 调谐激光器 1 发出的线性连续调频激光通过光纤入射到第一耦合器 2,所述第一耦合器 2 将该激光分成三束激光,其中第一束激光通过光纤入射到第一准直镜 3,第一准直镜 3 出射光经过第一玻片 4 透射后入射到第一偏振分光镜 5,经该第一偏振分光镜 5 的透射的激光入射至第二玻片 6,经该第二玻片 6 透射后变为圆偏振光,该圆偏振光入射到准直扩束装置 7,准直扩束装置 7 输出的激光照射目标 18,经该目标 18 反射的线偏振光入射至准直扩束装置 7,该准直扩束装置 7 将所述线偏振光输出至第二玻片 6,经该第二玻片 6 透射后进入第一偏振分光镜 5 的分光面,经该第一偏振分光镜 5 的分光面反射后入射到聚焦透镜 8,经该聚焦透镜 8 聚焦后入射到第二偏振分光镜 12 的分光面,经过该第二偏振分光镜 12 的分光面反射形成干涉测量光路的信号光,

[0024] 第一耦合器 2 分出的第二束激光通过光纤入射到第二耦合器 9,第二耦合器 9 将该激光分为两束光,其中一束入射到第二准直镜 10,第二准直镜 10 的出射光入射至第三玻片 11,经该第三玻片 11 透射后入射到第二偏振分光镜 12,经过第二偏振分光镜 12 透射后形成干涉测量光路的参考光,所述干涉测量光路的参考光和干涉测量光路的信号光合束之后入射到第二探测器 17,在第二探测器 17 上形成拍频信号;第二耦合器 9 分出的另一束激光通过第一光纤 13 入射到第三耦合器 15,

[0025] 第一耦合器 2 分出的第三束激光通过第二光纤 14 入射到第三耦合器 15,第三耦合器 15 将第一光纤 13 和第二光纤 14 入射的两束光合束后作为校正光入射到第一探测器 16,在第一探测器 16 上形成拍频信号,

[0026] 所述非线性校正方法的具体过程为:

[0027] 步骤 1:对第一探测器 16 上的拍频信号进行电学二倍频处理,提取二倍频处理信号的相位过零点,也即是二倍频处理信号波形依次经过相位为  $0$ 、 $\pi$ 、 $2\pi$ 、 $3\pi$ ……处,每经过  $\pi$  的相位变化所经过的时间,并将该时间序列组成数组作为采样控制信号,

[0028] 步骤 2:用步骤 1 得到的采样控制信号对第二探测器 17 上形成的拍频信号进行采样,得到均匀的统一频率的正弦信号,

[0029] 步骤 3:对步骤 2 得到的正弦信号进行傅里叶变换,在频谱上形成单一频率的谱峰,从而完成对 LFM CW 激光雷达的调频非线性校正。

[0030] 本实施方式所述的准直扩束装置 7 用来对圆偏振光整形,减小激光发散角。

[0031] 本实施方式中的的第一光纤、第二光纤、第三耦合器和第一探测器组成一个校准干涉仪,即马赫-泽德干涉仪,其中第二光纤 14 与第一光纤 13 的长度差值与激光雷达的最

大测量距离一致或略大一些,对第一光纤 13 和第二光纤 14 的长度预先进行标定,第二光纤 14 与第一光纤 13 的长度之差为 LFM CW 激光雷达最大测量距离,即测量范围上限。

[0032] 具体实施方式二:本实施方式是对具体实施方式一所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的进一步限定,所述调谐激光器 1 为 1550nm 调谐激光器。

[0033] 具体实施方式三:本实施方式是对具体实施方式一所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的进一步限定,所述第一耦合器 2 为 1×3 耦合器。

[0034] 具体实施方式四:本实施方式是对具体实施方式一所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的进一步限定,所述第二耦合器 9 为 1×2 耦合器。

[0035] 具体实施方式五:本实施方式是对具体实施方式一所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的进一步限定,所述第三耦合器 15 为 2×1 耦合器。

[0036] 具体实施方式六:本实施方式是对具体实施方式一所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的进一步限定,所述第一玻片 4 为 1/2 玻片。

[0037] 具体实施方式七:本实施方式是对具体实施方式一所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的进一步限定,所述第二玻片 6 为 1/4 玻片。

[0038] 具体实施方式八:本实施方式是对具体实施方式一所述的基于光纤采样技术的 LFM CW 激光雷达调频的非线性校正方法的进一步限定,所述第三玻片 11 为 1/2 玻片。

[0039] 工作原理:

[0040] LFM CW 激光雷达在理想线性调频的情况下,即调频曲线不含有非线性误差,其调频特性曲线如图 2 所示,拍频信号如图 3 所示,可以看出拍频信号的曲线为单一频率的正弦波信号,对其进行傅立叶变换后将在频谱图上形成单一的频率谱峰。

[0041] 而当 LFM CW 激光雷达在非线性调频的情况下,即调频曲线含有非线性误差,此时需要对其进行校正。校准干涉仪采集到的高频干涉信号正好反映了激光器的这种非线性,可以作为非线性补偿的数据来源。现有的非线性校正的方法中,为满足采样定理的要求,校准干涉仪两臂的光程差必须至少是被测距离值的两倍。比如,激光器的调谐特性存在一个二阶的误差项  $\sigma$ ,即调谐函数为  $f(t) = f_0 + \frac{\Omega}{T_m}t + \sigma^2$ , ( $0 < t \leq T_m$ ),其中,  $f_0$  为调频初始频率,

$\Omega$  为调频范围(调频带宽),  $T_m$  为调频周期,  $t$  为时间变量。此时测量光和参考光的差拍为

$$\Delta f(t) = \frac{\Omega}{T_m}\tau + 2t\tau\sigma, \text{ 而校正光路的信号频率为 } \Delta f_c(t) = \frac{\Omega}{T_m}\tau_c + 2t\tau_c\sigma, \text{ 其中 } 2\tau < \tau_c, \tau \text{ 为激光}$$

由调谐激光器 1 发射到目标 18 并返回到第二探测器 17 的飞行时间,  $\tau_c$  为校正光路中激光在第一光纤与第二光纤的飞行时间之差,  $t_k$  为校正光路拍品信号对干涉测量光路拍频信

号的采样时间。考虑校正光电信号  $2\pi \int_0^t \frac{\Omega}{T_m} \cdot \tau_c + 2t_k \tau_c \sigma dt = k2\pi$  时进行采样,其中  $k=0,1,2, \dots$  为自然数,此时

$$[0042] \quad I(t_k) = A \cos\left(2\pi \int_0^{t_k} \frac{\Omega}{T_m} \tau + 2t_k \tau \sigma dt\right) = A \cos\left(2\pi \frac{\tau}{\tau_c} k\right)$$

[0043] 显然测量信号  $I(t_k)$  变为了一个随  $k$  变化的均匀的时变信号,采样间隔  $T_s$  为信号采样时间  $T$  与采样总点数  $N_k$  的商,即  $T_s = T/N_k$ 。干涉测量光路的拍频信号,如图 6 所示,在



校准干涉仪提供的校正光路的拍频信号的等相位点上被采样,如图 5 所示,即利用一个非均匀的高频信号去采样一个相同非均匀性的低频信号,实现对时间的依赖性转变为对相位和频率的依赖性,从而克服了激光器调谐特性对时间的非线性效应。但是现有的这种校正调谐激光频率非线性的方法在调频曲线变化平缓的情况下使用效果较好,如图 4 中的非线性调频特性曲线,其原理可以举例如下,如被测量目标的距离是 50 米,采用上面校正激光调频非线性的方法,需要校准干涉仪的两根光纤长度差至少为 100 米,才能满足奈奎斯特采样定理,保证采样后的信号经过傅里叶变换后在频域不发生混叠失真。由于是非均匀采样,需要保证干涉测量光路和校正光路的拍频信号之间的频率比例始终保持恒定(最小为 1:2),才能使采样后的信号变为一个随  $k$  变化的均匀的时变信号。

[0044] 本发明提供的方法对于在调频曲线变化不平缓情况下也适用,当调谐激光频率非线性如图 7 所示,采用上述现有的非线性校正方法将不能够得到一个随  $k$  变化的均匀的时变信号,进而影响测量结果的准确度和精度。

[0045] 本发明提出干涉测量光路和校正光路延迟时间相同的方法,可以解决上面的问题,假设被测量目标的距离为 50 米,可设置校正光路光纤第二光纤与第一光纤的长度差为 50 米或略大于 50 米,这样可以使得干涉测量光路和校正光路的信号非常接近,经过 A/D 采样后,将两路信号转换为数字信号,其中对校正光路的拍频信号进行电学二倍频,则二倍频后的校正光路的采样频率将大于或等于二倍干涉测量光路的拍频频率,采样频率满足奈奎斯特采样定理且由于校正光路和干涉测量光路的差别很小,可以保证干涉测量光路的拍频信号和校正光路的拍频信号之间的频率比例保持恒定,使采样后的信号变为一个随  $k$  变化的均匀的时变信号。 $U_s(t)$  为校正光路的拍频信号,其表达式为:

[0046]

$$U_s(t) = a_s \sin(\omega_s t + \varphi_s)$$

[0047] 式中, $a_s$  是校正光路的拍频信号的幅度, $\omega_s$  是校正光路的拍频信号的频率, $\varphi_s$  是校正光路的拍频信号的初始相位。则校正光路的信号倍频后为:

[0048]  $I(t) = U_s(t) \cdot U_s(t)$

[0049]

$$= 2a_s^2 \cos(2\omega_s t + 2\varphi_s)$$

[0050] 由上式可以看出其倍频后采样信号的频率为  $2\omega_s$ , 是干涉测量光路的拍频信号的两倍,满足奈奎斯特采样定理。

[0051] 被测量目标的距离是指第一束激光依次经过第一准直镜 3、第一玻片 4、第一偏振分光镜 5、第二玻片 6、准直扩束装置 7、目标 18、准直扩束装置 7、第二玻片 6、第一偏振分光镜 5、聚焦透镜 8 和第二偏振分光镜 12 的光程。

[0052] 本发明由于在校正光路中第二光纤 14 与第一光纤 13 长度之差与干涉测量光路的最大测量距离相等或比其略大一些,可以节省一半光纤,由于环境及温度的影响光纤长度会产生伸缩等变化,减少第二光纤 14 长度也意味着受环境和温度干扰等影响会降低,同时,校正光路返回的激光强度会变得相对更强一些,提高了信噪比,同时具有更好的信号波形,较小的变形失真,较强的回波能量,对后续信号采样处理有很好的保证。

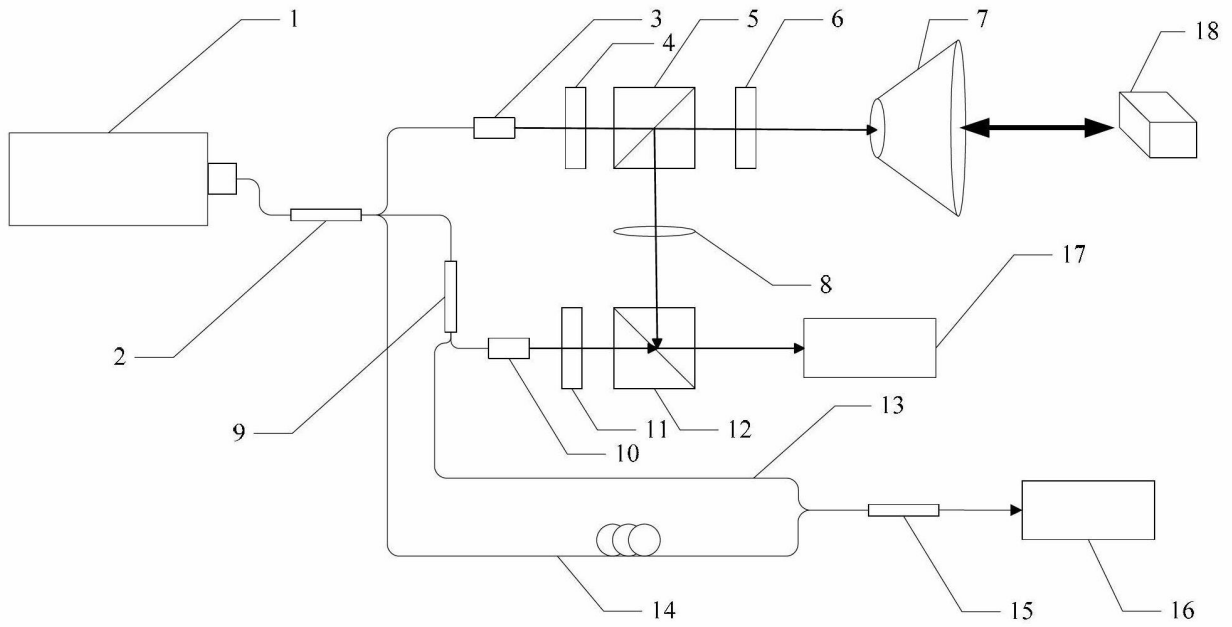


图 1

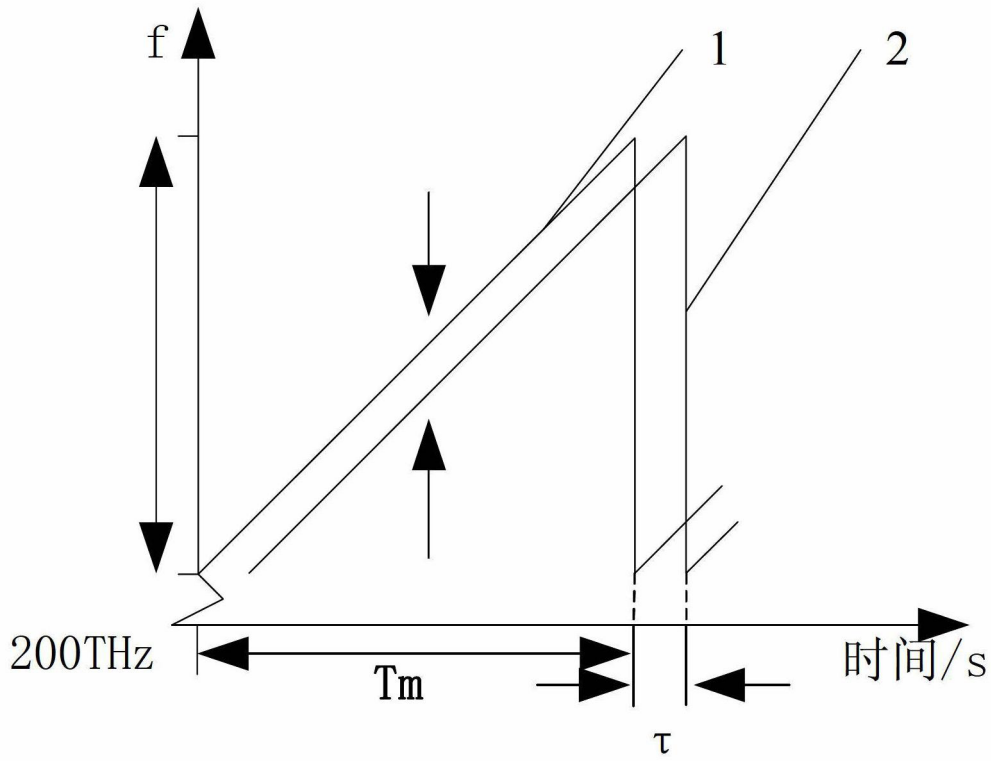


图 2

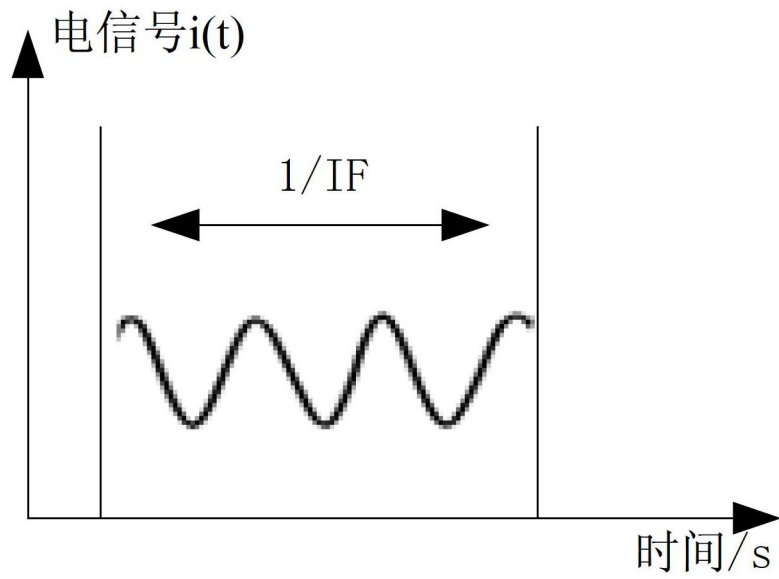


图 3

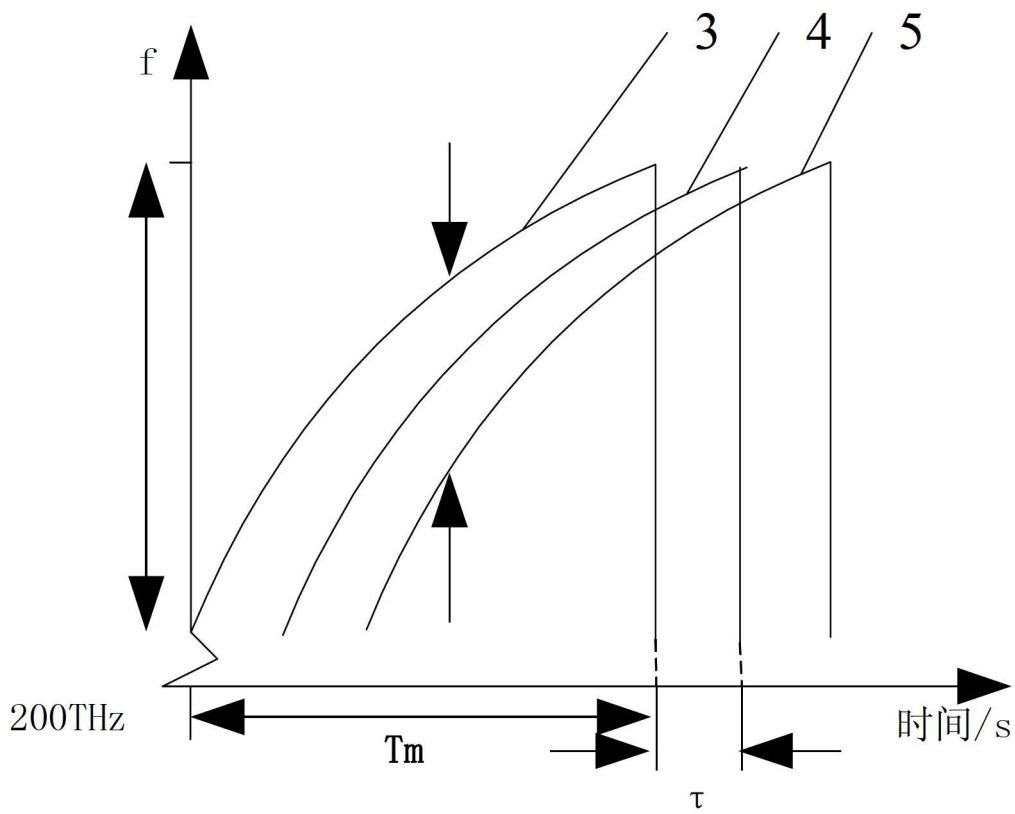


图 4

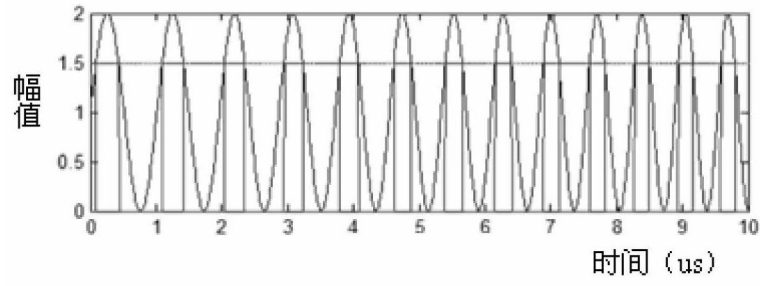


图 5

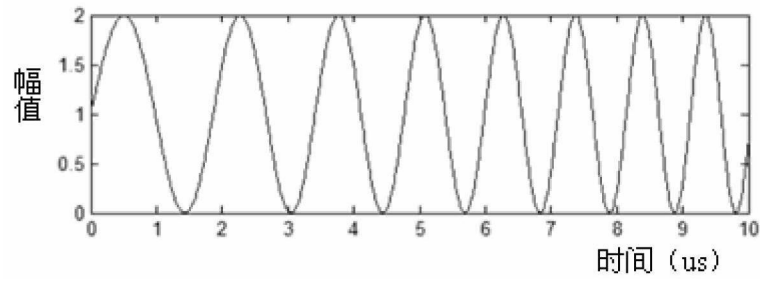


图 6

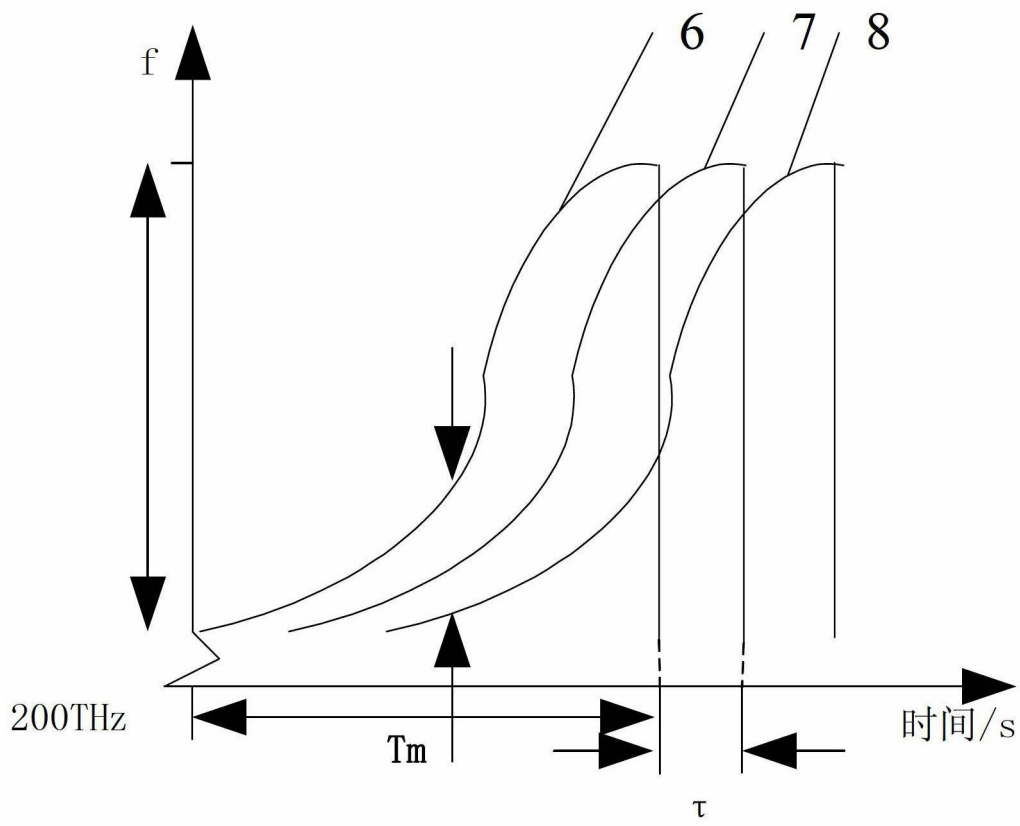


图 7

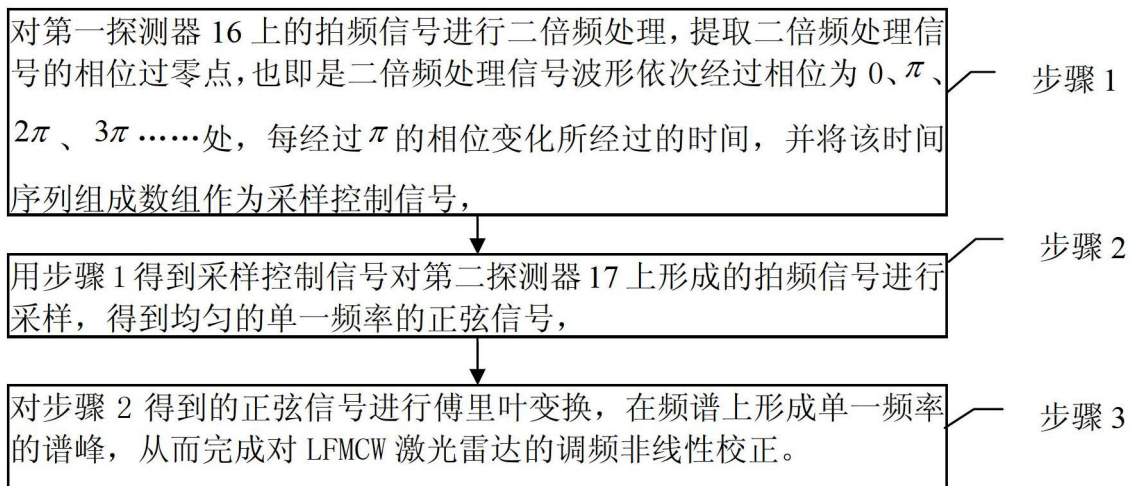


图 8