

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102565807 A

(43) 申请公布日 2012.07.11

(21) 申请号 201110439164.0

(22) 申请日 2011.12.23

(71) 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路
3888 号

(72) 发明人 张合勇 赵帅 王挺峰 郭劲
刘立生

(74) 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务
所 22210

代理人 陶尊新

(51) Int. Cl.

G01S 17/58 (2006.01)

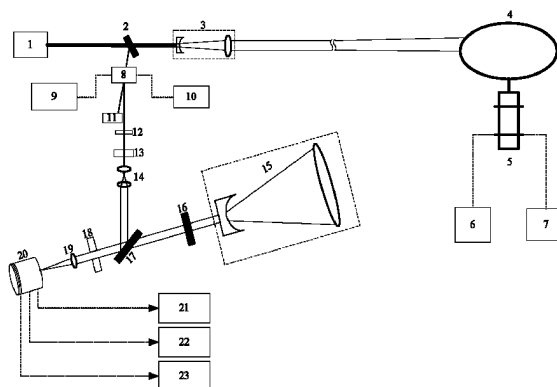
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 5 页

(54) 发明名称

基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置

(57) 摘要

基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置,涉及激光主动探测研究领域,它解决现有激光外差探测中光源功率和相干相矛盾的问题,本装置所述的激光器发出光束经激光分束镜后发生反射和透射,反射光束经声光调制器发生声光衍射后入射至偏振分光平片,经偏振分光平片后的光束反射至激光耦合透镜;透射光束经激光扩束镜后入射至旋转漫反射目标表面,被激光回波接收望远镜收集的回波光子经过光学窄带滤波器进行滤波处理,经偏振分光平片后的光束透射至激光耦合透镜;光束聚焦到 MPPC 光子计数器表面并发生光学干涉后的电信号由信号接收装置接收。所述的 MPPC 光子计数器其接收面较大,且探测器工作在非高压状态,便于实现信号接收。



1. 基于 MPPC 光子计数统计的激光外差的装置,该装置包括激光器 (1)、激光分束镜 (2)、激光扩束镜 (3)、旋转漫反射目标 (4)、激光回波接收望远镜 (15)、光学窄带滤波器 (16)、激光耦合透镜 (19)、声光调制器 (8)、偏振分光平片 (17) 和信号接收装置,其特征是,

所述激光器 (1) 发出光束经激光分束镜 (2) 后发生反射和透射,其中反射光束经声光调制器 (8) 发生声光衍射后入射至偏振分光平片 (17),经偏振分光平片 (17) 后的光束反射至激光耦合透镜 (19);

透射光束经激光扩束镜 (3) 后入射至旋转漫反射目标 (4) 表面,经过旋转漫反射目标 (4) 调制后的反射光子进入激光回波接收望远镜 (15),所述激光回波接收望远镜 (15) 收集回波光子,并将收集的回波光子经过光学窄带滤波器 (16) 进行滤波处理,经滤波处理后的回波光子进入偏振分光平片 (17),经偏振分光平片 (17) 后的光束透射至激光耦合透镜 (19);

所述经激光耦合透镜 (19) 后的光束聚焦到 MPPC 光子计数器 (20) 表面并发生光学干涉;经 MPPC 光子计数器 (20) 转化后的电信号由信号接收装置接收。

2. 根据权利要求 1 所述的基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置,其特征在于,该装置还包括残余光吸收池 (11)、可变衰减器 (12)、二分之一波片 (13) 和小倍率光束扩展器 (14),所述光束经声光调制器 (8) 发生声光衍射,残余光吸收池 (11) 将剩余光束吸收后再经可变衰减器 (12) 进行功率匹配,二分之一波片 (13) 改变本振光束的偏振态,实现偏振分光,小倍率光束扩展器 (14) 实现本振光的束的光斑扩展后光束进入偏振分光平片 (17)。

3. 根据权利要求 1 所述的基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置,其特征在于,该装置还包括光闸 (18),经偏振分光平片 (17) 后的光束经光闸 (18) 进行光斑口径匹配,后经激光耦合透镜 (19) 聚焦到 MPPC 光子计数器 (20) 表面并发生光学干涉。

4. 根据权利要求 1 所述的基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置,其特征在于,所述信号接收装置为高频示波器 (22)、高分辨率频谱分析仪 (23) 或者便携式计算机 (21)。

5. 根据权利要求 1 或 4 所述的基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置,其特征在于,所述经 MPPC 光子计数器 (20) 转化后的电信号有三种输出方式,分别为:模拟电压输出、比较器电压输出或者经过 USB 端口输出,通过模拟电压输出和比较器电压输出的信号通过高频示波器 (22) 或者高分辨率频谱分析仪 (23) 进行观测,经过 USB 端口输出的信号通过便携式计算机 (21) 进行观测。

6. 根据权利要求 1 所述的基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置,其特征在于,该装置还包括信号发射器 (9) 和 24V 直流驱动电源 (10),所述声光调制器 (8) 通过 24V 直流驱动电源 (10) 进行射频驱动,信号发生器 (9) 向声光调制器 (8) 提供频率为 80MHz 正弦波。

基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置

技术领域

[0001] 本发明涉及激光主动探测研究领域,具体涉及采用多像素光子计数器(Multi-Pixel Photon Counter,简称 MPPC)MPPC 光子计数器实现微弱信号的激光外差探测,从回波信号语本振光干涉信号中提取目标由于运动或转动造成的多普勒频率移动,从而提供目标的运动信息。

背景技术

[0002] 激光外差探测技术采用双频激光干涉原理实现对微弱目标信息的非接触式测量。具体应用可分为以下三个层次:

[0003] 一、远程测量

[0004] 采用激光外差探测技术能够实现对在轨卫星(非合作目标)的多普勒跟踪,作用距离可达到上千公里。典型系统为美国毛依岛空间观测站(MSSS)的Hi-CLASS系统,该系统发展的最后阶段,采用30Hz重频发射30J的激光脉冲,具备实时产生Doppler图像的能力,同时具备实时信号处理能力。但是采用CO₂激光作为发射源,需要较大的发射功率,虽然相干长度足够,但作用距离受限于发射功率。若采用可见光波段的光子计数器,可以将光源功率大大降低,对系统小型化集成带来方便。

[0005] 二、中程测量

[0006] 采用激光外差探测技术能够实现对中远程弹道导弹进行真假弹头识别,作用距离能达到几百公里。典型系统为美国林肯实验室研制的Firepond激光雷达系统。从1998年开始,“火池”激光雷达开始承担了美国国防部目标识别/阻拦计划,用基于外差探测的激光雷达去辨识大气层外来袭目标。但该技术仍然依赖于高功率激光发射,激光器研制具有较大难度,若采用具有较高灵敏度的光子计数器,可大大降低系统发射功率;或在相同的发射功率下,提高系统的作用距离。

[0007] 三、近程测量

[0008] 激光外差探测的近程应用主要集中在几公里到十几公里范围内,实现的功能是伪装目标的侦察与识别。伪装目标包括掩盖中的坦克、军用卡车、地雷等,由于这些目标具有一定的隐蔽性,常规的成像探测方式难以实现目标与环境的区分。而激光外差探测技术是基于目标的振动频谱进行探测的,该振动可以是目标自身发出的,也可以是外加激发形成的受迫振动。

[0009] 上述近程测量中,均采用长波红外和近红外激光器,长波红外探测器灵敏度不是很高,近红外探测器也有光子计数器,但都局限于单像素的,动态范围不大,容易造成饱和或者损伤探测器。

[0010] 基于上述激光外差探测三个方面的主要应用,发展该项技术具有广阔的前景。然而,该探测方式的优点是能够实现对目标回波微弱信号的探测,但是对激光器本身的相干性要求较高,而目前的相干激光源的相干长度和发射功率这一对矛盾相互制约,在保证相干长度的基础上,激光功率有可能下降,势必导致回波信号较弱,甚至在光子级别。因此,研

究光子级别的激光外差探测,将更加具有实用价值。

[0011] 目前,由于激光器计数的迅猛发展,生产出高相干性能的激光器已经不再困难,但是针对远距离探测,所需要的激光发射功率较高,成本会急剧加大,因此,在激光器相干性满足要求的情况下,激光功率越小,对于系统研发越有利。因此,亟需解决极其微弱光电信号的探测,采用光子计数器不失为一个很好的选择,结合光学外差的接收方式,实现对目标运动或振动特性的非接触式测量,这将是未来微弱信号探测所面临的发展方向。

发明内容

[0012] 本发明为解决现有激光外差探测中光源功率和相干相矛盾的问题,提出一种基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置。

[0013] 基于 MPPC 光子计数统计的激光外差的装置,该装置包括激光器、激光分束镜、激光扩束镜、旋转漫反射目标、激光回波接收望远镜、光学窄带滤波器、激光耦合透镜、声光调制器、偏振分光平片和信号接收装置,

[0014] 所述激光器发出光束经激光分束镜后发生反射和透射,其中反射光束经声光调制器发生声光衍射后入射至偏振分光平片,经偏振分光平片后的光束反射至激光耦合透镜;

[0015] 透射光束经激光扩束镜后入射至旋转漫反射目标表面,经过旋转漫反射目标调制后的反射光子进入激光回波接收望远镜,所述激光回波接收望远镜收集回波光子,并将收集的回波光子经过光学窄带滤波器进行滤波处理,经滤波处理后的回波光子进入偏振分光平片,经偏振分光平片后的光束透射至激光耦合透镜;

[0016] 所述经激光耦合透镜后的光束聚焦到 MPPC 光子计数器表面并发生光学干涉;经 MPPC 光子计数器转化后的电信号由信号接收装置接收。

[0017] 本发明的有益效果:本发明采用光学相干技术,实现两光束在光子计数器表面混频;所述的装置具有探测灵敏度高、作用距离远等优点,基于 MPPC 光子计数器的弱信号外差检测装置,能对远距离的非合作目标运动特性进行感知。本发明所述的 MPPC 光子计数器其接收面较大,且探测器工作在非高压状态,便于实现信号接收。本发明采用 MPPC 光子计数器能有效提高作用距离,并使整个系统容易实现小型化运转。

附图说明

[0018] 图 1 为本发明所述的一种基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置结构图;

[0019] 图 2 为本发明所述的一种基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置中的模拟端口和比较器输出的示意图;

[0020] 图 3 为本发明所述的一种基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置中以 USB 端口积分输出的示意图;

[0021] 图 4 为本发明所述的一种基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置中对漫反射目标光子外差探测频谱图;

[0022] 图 5 为本发明所述的一种基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置中旋转漫反射目标的示意图;

[0023] 图 6 为图 5 中旋转漫反射目标的圆盘的结构示意图;

[0024] 图 7 为 5 中旋转漫反射目标的圆柱的结构示意图。

[0025] 图中:1、激光器,2、激光分束镜,3、激光扩束镜,4、旋转漫反射目标,5、交流伺服电机,6、刹车 24V 电源,7、可变直流驱动电源,8、声光调制器,9、信号发射器,10、24V 直流驱动电源,11、残余光吸收池,12、可变衰减器,13、二分之一波片,14、小倍率光束扩展器,15、激光回波接收望远镜,16、光学窄带滤波器,17、偏振分光平片,18、光闸,19、激光耦合透镜,20、MPPC 光子计数器,21、便携式计算机,22、高频示波器,23、高分辨率频谱分析仪。

具体实施方式

[0026] 结合图 1 至图 5 说明本实施方式,一种基于 MPPC 光子计数统计的激光外差装置,该装置包括激光器 1、激光分束镜 2、激光扩束镜 3、旋转漫反射目标 4、交流伺服电机 5、刹车 24V 电源 6、可变直流驱动电源 7、声光调制器 8、信号发射器 9、24V 直流驱动电源 10、残余光吸收池 11、可变衰减器 12、二分之一波片 13、小倍率光束扩展器 14、激光回波接收望远镜 15、光学窄带滤波器 16、偏振分光平片 17、光闸 18、激光耦合透镜 19、MPPC 光子计数器 20、便携式计算机 21、高频示波器 22、高分辨率频谱分析仪 23。

[0027] 具体工作过程如下:激光器 1 发出波长为 532nm 的光束经过激光分束镜 2 进行反射和透射,其中发射光经过中心频率为 80MHz 的声光调制器进行声光衍射,声光调制器 8 通过 24V 直流驱动电源 10 进行射频驱动,信号发生器 9 向声光调制器 8 提供频率为 80MHz 正弦波。其中 0 级衍射光无频率移动,1 级衍射光具有 80MHz 频率移动,通过残余光吸收池 11 将剩余光束吸收,再经过可变衰减器 12 进行功率匹配,二分之一波片 13 是为了改变本振光的偏振状态,以至于能够实现偏振分光,小倍率光束扩展器 14 是为了实现本振光的光斑扩展,便于实现回波信号的空间光束匹配。经过激光分束镜 2 的透射光经激光扩束镜 3 后入射至旋转漫反射目标 4 表面,运动目标由交流伺服电机 5 驱动,电机带有刹车功能,该功能由刹车电源 6 提供,直流电压为 24V。电机旋转速度由直流电源 7 控制,经过运动目标调制后的反射光子进入激光回波接收望远镜 15,实现回波光子收集,收集到的光子经过光学窄带滤波器 16 进行滤波处理,由于是光子量级的信号检测,需要对背景光进行抑制。经滤波处理后的光子进入偏振分光平片 17 进行光束耦合。耦合后的光束经过光闸 18 进行光斑口径匹配,后经激光耦合透镜 19 聚焦到 MPPC 光子计数器 20 表面并发生光学干涉。经 MPPC 光子计数器 20 转化后的光信号可以实现三种方式输出:第一种信号是模拟电压输出,脉冲电压幅度表示光子数多少;第二种信号是比较器电压输出,该输出脉冲个数取决于所设定的光子数阈值;第三种信号是经过 USB 端口输出的积分光子计数率,积分时间可自行设定。其中第一种和第二种信号可通过高频示波器 22 或者高分辨率频谱分析仪 23 进行观测,第三种信号可通过与便携式计算机 21 连接进行观测。

[0028] 本实施方式所述的 MPPC 光子计数器采用日本滨松公司生产的多像素光子计数器 S10362-11-025U,芯片尺寸为 $1.5 \times 1.5\text{mm}$,有效感光面积为 $1 \times 1\text{mm}$,像元大小为 $40 \times 40 = 1600$,像元尺寸为 $25 \times 25 \mu\text{m}$,填充因子为 30.8%,光谱响应播出范围 270 ~ 900nm,峰值灵敏波长为 400nm,峰值处的量子效率 70%,峰值波长的光子探测效率 25%,推荐的工作电压范围 $70 \pm 10\text{V}$,常温 25°C 对应暗计数为 300kcps,暗计数最大值为 600kcps,结电容为 35pF,时间分辨率为 200 ~ 300ps,增益系数 2.75×10^5 。该探测器对光子响应较为灵敏,因此需要加入密封遮光装置,同时设置相应的窄带滤光片接口。另外,该探测器对环境温度较为敏感,温度过高会导致较大的暗计数,因此还需要进行温度控制,使其工作温度始终恒定在某

个固定位置,确保获得较小而且稳定的背景暗计数。在本设计中所设定温度为 15℃,对应暗计数约为 210kcps。

[0029] 结合图 2 说明本实施方式的观测结果,本实施方式中 MPPC 光子计数器采用模拟端口和比较器输出。图中上下两部分分别对应 MPPC 输出的模拟信号和比较器输出非周期方波信号,其中上半部分模拟信号输出值表示在该时刻所探测到的到达光子数,模拟信号幅值反映到达的光子数多少,从设计原则上讲,每 100mV 输出脉冲对应 1 个光子事件 (pe),实际上由于传输线的衰减以及不同波长的探测器增益不同,导致在 532nm 位置处对应 1 个光子事件的输出电压要略低于 100mV。图中下半部分对应于比较器输出的信号,该信号相对于与之对应的脉冲信号具有大概 20ns 的时间延迟,输出方波的位置根据模拟信号以及所设定的比较器阈值而定。

[0030] 结合图 3 说明本实施方式的观测结果,本实施方式中 MPPC 光子计数器采用 USB 端口积分输出。第一路信号通过设置不同的光子事件 (pe) 阈值以及不同的门控时间 (gate time),对门控时间内的光子进行累加,门控时间最小设置为 1ms,最大设置为 1s,通过 USB 连接线与 PC 机相连,在 PC 机上事先安装了相应的驱动软件,通过软件界面可以完成简单设置,用于流过 MPPC 前端感光面光子数的实时监视。通过 MPPC 的 USB 端口输出界面,可以实现对采集参数的设定,保存在该设置下该探测器对应的光子计数速率,单位为千赫兹计数每秒 (kcps)。

[0031] 图 4 为 MPPC 光子计数器对旋转漫反射目标 4 光子外差探测频谱。该组图分为 a、b、c 和 d 四个子图,均是对旋转漫反射目标 4 在低速运动情况下的多普勒频谱信息进行测量,由于目标回波信息中含有大量噪声,对其进行功率谱分析,采用多次叠加方式提取信号,图中所示分别为 5 次、10 次、15 次和 20 次测量结果的叠加,从图清晰可见,随着叠加次数的逐渐增加,回波信号频谱成分的信噪比逐渐增加,对运动目标信息提取带来便利。通过对回波光子进行统计以及快速傅立叶变换分析,可从微弱回波光子信号中提取出旋转漫反射目标 4 运动信息。

[0032] 结合图 5 说明本实施方式,图 5 为本实施方式所述的旋转漫反射目标 4 的整体结构图;该旋转漫反射目标 4 具有三项功能,即点目标探测、面目标探测、速度校准。面目标散射体与点目标散射体同轴固定,二者在交流伺服电机 5 驱动下,实现同轴转动,交流伺服电机 5 最大旋转速度为 3000r/min。

[0033] 图 6 为旋转漫反射目标 4 中圆盘 A 零部件图。该器件表面采用喷砂处理,模拟真实的漫反射目标,在实验过程中,还可以在表面覆盖一层白纸,其反射特性接近于漫反射体,目前已经得到相应的实验数据结果,实现了对漫反射转动目标探测速度的准确测量和定标。

[0034] 图 7 为旋转漫反射目标 4 的面探测旋转目标示意图,该器件表面采用表面喷砂处理,模拟真实的漫反射目标。在实验过程中,为了得到相对较高的表面反射率,同样可以在表面覆盖一层白纸,回波信号具有漫反射特性,同时具有较强的信号。将出射光束经过激光扩束镜 3 进行光斑扩展,扩展后的光斑均匀照射在该旋转圆柱 B(圆锥)体表面,采用收发同置和偏振分光的接收方式,将回波信号与本振信号在通过偏振分光平片 17,经激光耦合透镜 19 聚焦后,在 MPPC 光子计数器 20 表面混频,解析出最终的目标运动信息。

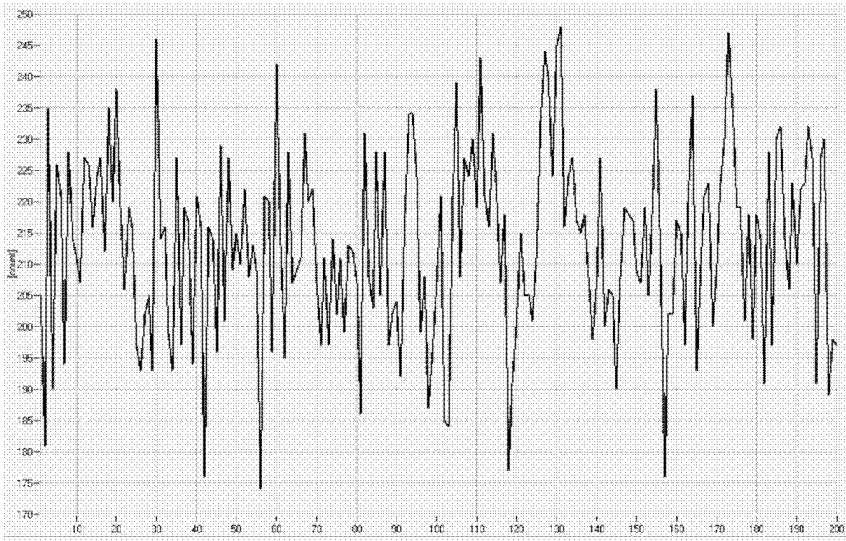
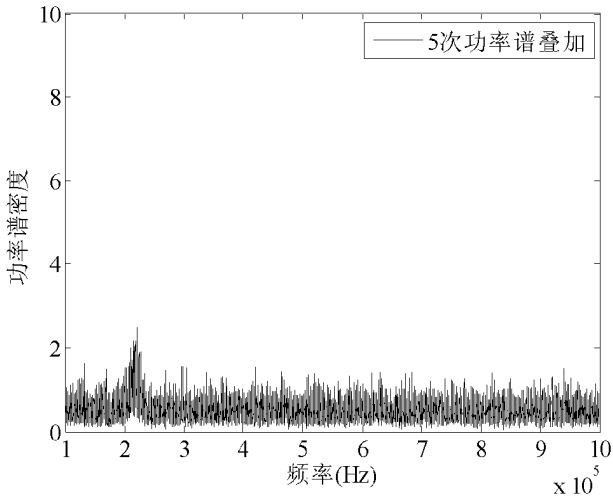
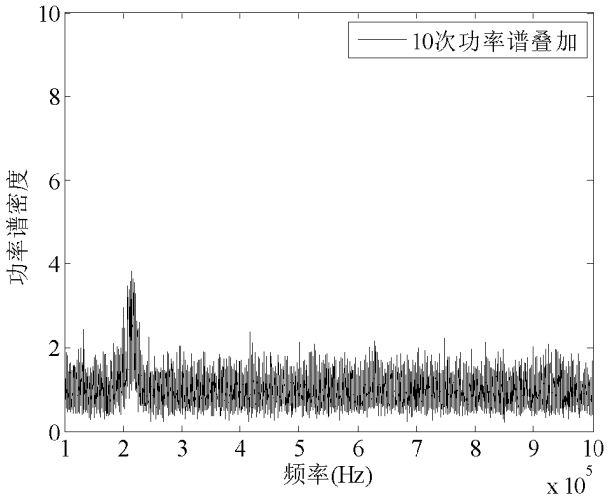


图 3



(a)



(b)

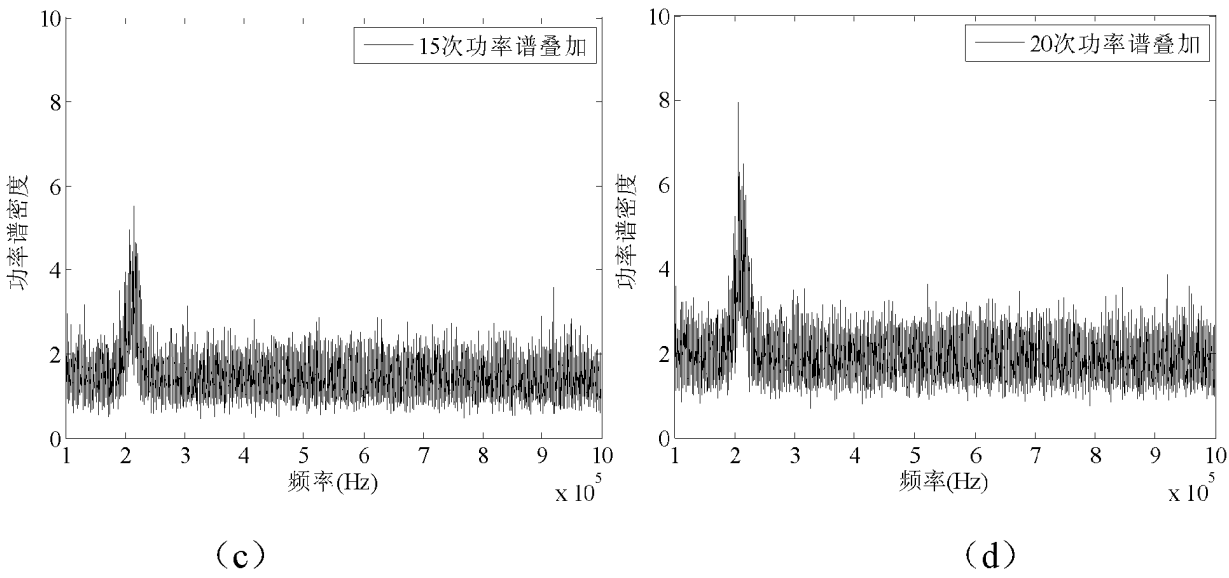


图 4

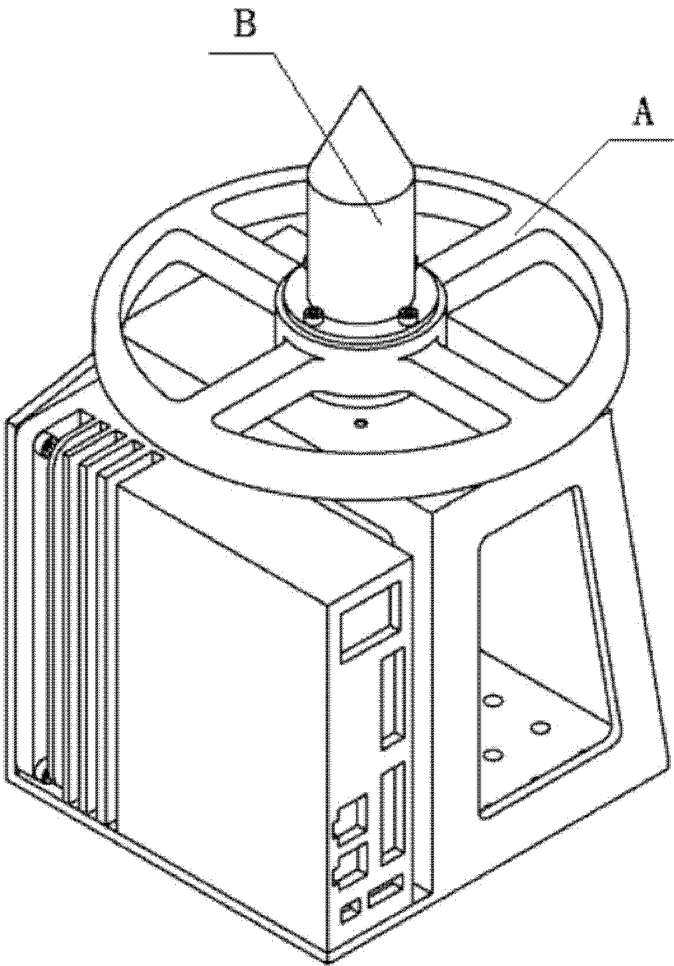


图 5

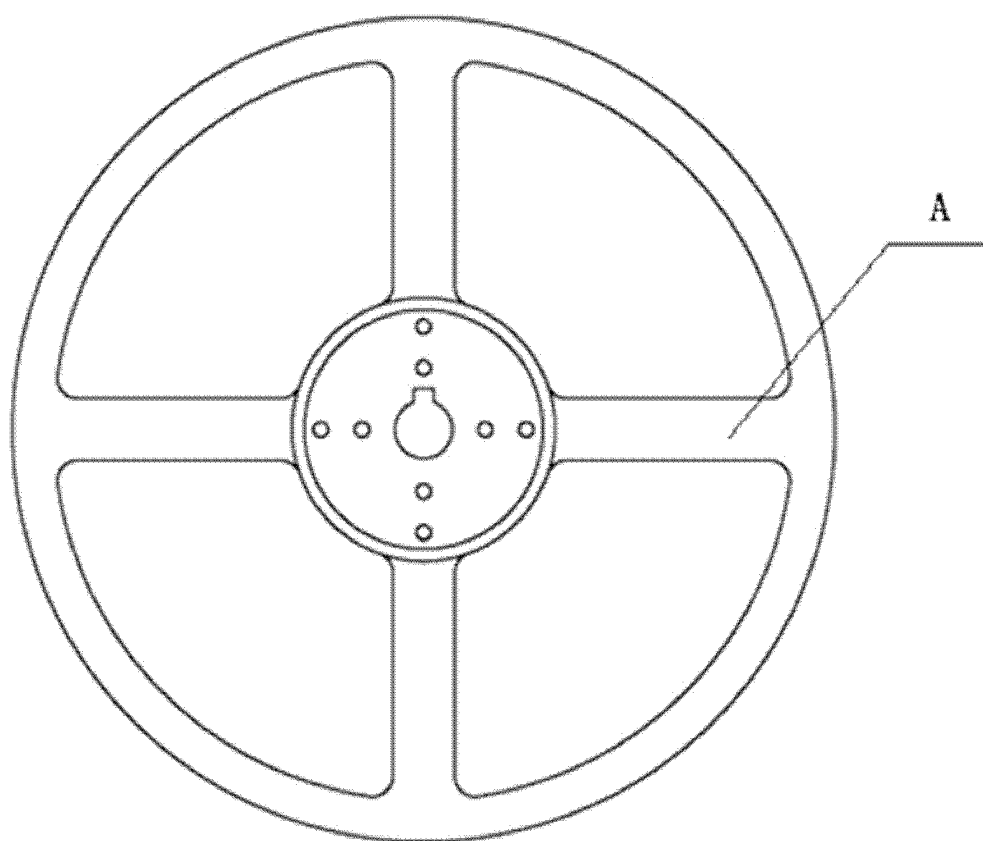


图 6

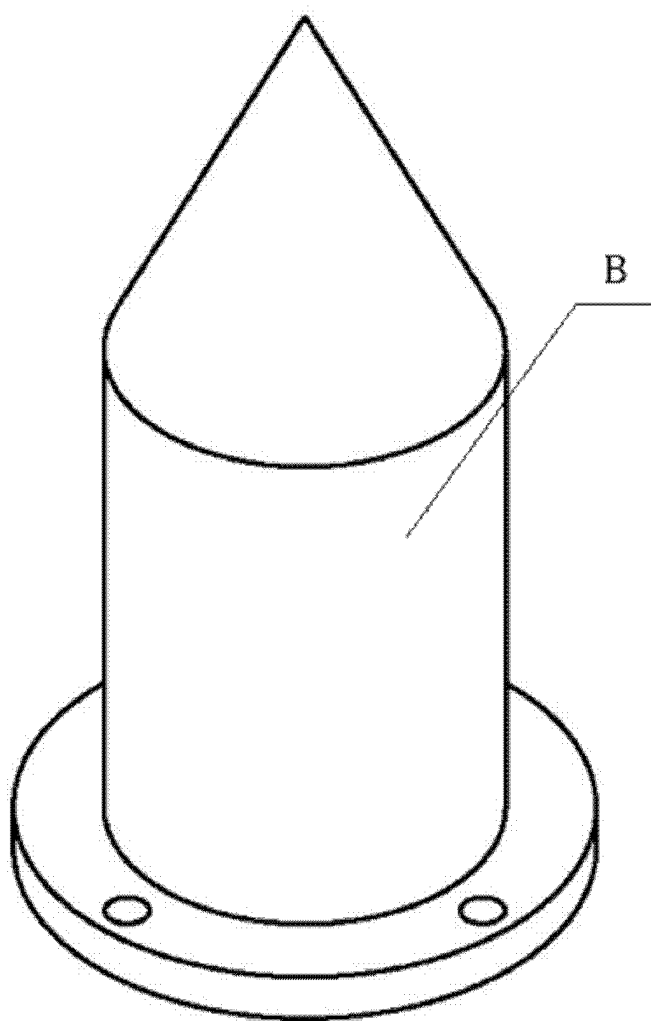


图 7