

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102955043 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 06

(21) 申请号 201210413538. 6

(22) 申请日 2012. 10. 25

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

(72) 发明人 桂华侨 王杰 程寅 陆亦怀
刘建国 张静

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251

代理人 成金玉 卢纪

(51) Int. Cl.

G01P 5/26 (2006. 01)

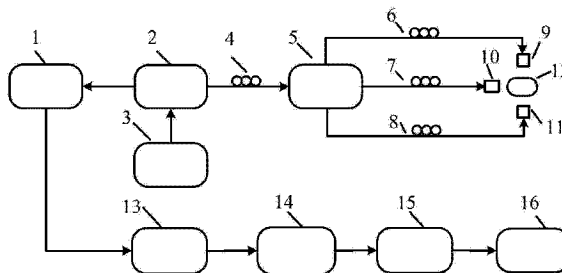
权利要求书 3 页 说明书 6 页 附图 1 页

(54) 发明名称

基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置及方法

(57) 摘要

基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置及方法,包括激光器、光纤、光纤分束器、光纤聚焦器、光电探测器及信号处理电路组成,采用三角波电流调制、多路不同光程结构以及带通滤波信号处理电路等组成激光自混合传感系统,采用单个激光器和探测器实现多维速度大小和方向的准确在线测量。本发明结构简单、易于调节、成本低、空间分辨率高,有效拓展了基于激光自混合效应的速度传感方法,特别是为远距离物体三维运动速度的非接触在线监测提供了可靠的解决方案。



1. 基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,其特征在于:包括光电探测器(1)、激光器(2)、激光器调制模块(3)、第一光纤(4)、光纤分束器(5)、第二光纤(6)、第三光纤(7)、第四光纤(8)、第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)、待测运动物体(12)、微分放大电路(13)、三通道滤波器组(14)、三通道计数器组(15)、计算机(16),所述激光器调制模块(3)对激光器(2)进行三角波电流调制,以实现多维速度方向的准确判别,激光器(2)出射的激光耦合到第一光纤(4)并传输到光纤分束器(5),光纤分束器(5)将激光分为三束,经第二光纤(6)和第一光纤聚焦器(9)的激光以一定角度入射到待测运动物体(12)上,经第三光纤(7)和第二光纤聚焦器(10)的激光从第二维度入射到待测运动物体(12)上,经第四光纤(8)和第二光纤聚焦器(11)的激光从第三维度入射到待测运动物体(12)上,其中第二光纤(6)、第三光纤(7)和第四光纤(8)的长度各不相同在三角波电流调制下即实现多维速度信号的准确区分,多路入射激光经待测运动物体(12)散射后,一部分散射光按各自光路反馈回激光器(2),产生激光自混合效应;发生激光自混合效应后的激光被光电探测器(1)接收,并经过微分放大电路(13)放大,随后经过三通道滤波器组(14)和三通道计数器组(15)滤波和计数,单位时间内计数数目即为相应的频率值,分别将各通道信号上升沿和下降沿的频率 $\nu_{\text{上升}}$ 和 $\nu_{\text{下降}}$ 送入计算机(16)处理后得到各维度速度大小及方向,速度 V 的计算公式为:

$$V = |\nu_{\text{上升}} - \nu_{\text{下降}}| \cdot \lambda$$

其中, λ 为激光器输出激光波长,各光纤聚焦器所在光路的光强变化分量上升沿频率大于下降沿频率时待测运动物体(12)的运动速度方向与激光出射方向相同,各光纤聚焦器所在光路的光强变化分量上升沿频率小于下降沿频率时待测运动物体(12)的运动速度方向与激光出射方向相反。

2. 根据权利要求1所述的基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,其特征在于:所述光电探测器(1)为激光器(2)的内置或外置探测器,采用内置探测器能够简化系统并提高探测激光自混合信号的灵敏度。

3. 根据权利要求1所述的基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,其特征在于:所述激光器(2)选用单纵模半导体激光器,半导体激光器的电流波长调制系数超过 $0.1\text{nm}/\text{mA}$,易于进行三角波电路调制,单纵模工作能够避免不同模式叠加引起的波形分立现象,从而提高系统测量精度。

4. 根据权利要求1所述的基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,其特征在于:所述光纤分束器(5)根据实际测量的需要选用具有相应出射光纤数的分束器,对于三维速度测量则选用 1×3 单模光纤保偏分束器,各束出射光强按比例均分。

5. 根据权利要求1所述的基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,其特征在于:所述第二光纤(6)、第三光纤(7)、第四光纤(8)的长度 L_2 、 L_3 、 L_4 各不相同,具体根据各自对应测量维度上的速度范围确定,第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)各自对应测量维度上的最大速度分别为 $V_{2\text{max}}$ 、 $V_{3\text{max}}$ 、 $V_{4\text{max}}$ 时, $L_2 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{2\text{max}}$, $L_3 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{3\text{max}} + L_2$, $L_4 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{4\text{max}} + L_3$,其中, L_2 、 L_3 、 L_4 分别为第二光纤(6)、第三光纤(7)、第四光纤(8)的长度, c 、 α 、 λ 分别为光速常量、激光器(2)的三角波频率调制系数、

激光波长, $V_{2\max}$ 、 $V_{3\max}$ 、 $V_{4\max}$ 分别为第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)各自对应测量维度上的最大速度值。

6. 根据权利要求1所述的基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,其特征在于:所述第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)和第三光纤聚焦器(11)的插入损耗 $\leq 0.3\text{dB}$ 、数值孔径 ≥ 0.1 ,能够提高散射光的耦合效率;对于多维平面速度的测量,也可以将光纤聚焦器改为光纤准直器。

7. 根据权利要求1所述的基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,其特征在于:所述三通道滤波器组(14)为带通滤波器,其带通范围分别由第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)各自对应测量维度上速度范围对应的多普勒频移范围确定, $\frac{2\alpha}{c} \cdot L - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{\max} < \nu < \frac{2\alpha}{c} \cdot L + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{\max}$,其中L和 V_{\max} 分别为第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)各自对应测量维度对应光纤长度和最大测量速度值。

8. 采用权利要求1所述的基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量方法,其特征在于包括以下步骤:

第一步,激光器调制模块(3)对激光器(2)进行三角波电流调制,调制后的激光经第一光纤(4)传输到光纤分束器(5);

第二步,光纤分束器(5)将激光分为多束,分别经过第二光纤(6)、第三光纤(7)、第四光纤(8)传输到相应的第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11),其中将第二光纤(6)、第三光纤(7)、第四光纤(8)的长度 L_2 、 L_3 、 L_4 选定为 $L_2 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{2\max}$,
 $L_3 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{3\max} + L_2$, $L_4 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{4\max} + L_3$,其中, L_2 、 L_3 、 L_4 分别为第二光纤(6)、第三光纤(7)、第四光纤(8)的长度,c、 α 、 λ 分别为光速常量、激光器(2)的三角波频率调制系数、激光波长, $V_{2\max}$ 、 $V_{3\max}$ 、 $V_{4\max}$ 分别为第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)各自对应测量维度上的最大速度值;

第三步,经第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)出射的激光分别以不同方向聚焦到待测物体(12)上;

第四步,入射到待测物体(12)上的激光经散射后部分光按原路返回到激光器(2)中产生激光自混合效应;

第五步,光电探测器(1)将产生自混合效应的光信号转化为电信号;

第六步,电信号经过微分放大电路(13)放大,随后送入三通道滤波器组(14)和三通道计数器组(15)处理后得到不同的频率值,其中将三通道滤波器组(14)内部第一第二、第三通道的滤波器频率 ν_2 、 ν_3 、 ν_4 的范围分别选定为 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_2 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{2\max} < \nu_2 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_2 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{2\max}$ 、
 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_3 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{3\max} < \nu_3 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_3 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{3\max}$ 、 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_4 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{4\max} < \nu_4 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_4 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{4\max}$;

第七步,将三通道计数器组(15)得到的各通道频率 ν_2 、 ν_3 、 ν_4 的上升沿和下降沿的频率 $\nu_{\text{上升}}$ 和 $\nu_{\text{下降}}$ 送入计算机(16)处理后得到第一光纤聚焦器(9)、第二光纤聚焦器(10)、第三光纤聚焦器(11)各自对应测量维度上的速度大小及方向,速度V的计算公式为:

$$V = |\nu_{\text{上升}} - \nu_{\text{下降}}| \cdot \lambda$$

当各维度激光自混合信号的上升沿频率 $\nu_{\text{上升}}$ 大于下降沿频率 $\nu_{\text{下降}}$ 时,运动速度方向判定为与各维度光纤聚焦器的出射激光方向相同,当各维度激光自混合信号的上升沿频率 $\nu_{\text{上升}}$ 小于下降沿频率 $\nu_{\text{下降}}$ 时,运动速度方向判定为与各维度光纤聚焦器的出射激光方向相反。

基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置及方法,特别适用于水体流速、固体颗粒物运动速度的快速非接触测量。

背景技术

[0002] 对于复杂的多维运动速度测量,目前被证明较为有效的是激光多普勒测速技术。激光多普勒测速技术具有非接触性、响应快、空间分辨率高等优点,广泛应用于流体力学、化工、水利、生物医药、环境等诸多领域的流速测量,特别是三维流动速度的测量。

[0003] 在激光多普勒多维速度测量技术中,主要采用参考光束型的系统结构方案。通过入射激光和参考激光的相干叠加分别得出不同方向上的多普勒频移,即对应不同方向上的多维速度分量。但由于采用多个分光器件和探测器,并将光程差保持在激光相干长度之内,存在系统复杂、光路很难调整等问题而很难得到充分的发展和运用。随后,逐步发展了采用多谱线激光器和声光调制器等方案,在系统结构和信号分离方面均有所改进,同时也产生了新的问题:多谱线激光器价格昂贵、寿命短,不利于推广应用;声光频移装置的频移幅度有一定限制,引入的分光器件提高了系统的复杂程度。

[0004] 由激光多普勒技术发展而来的激光自混合技术(即激光器的出射光经外部物体散射或反射后,部分光反馈回激光腔形成新的谐振,通过测量激光功率、频率的变化来获取外部物体运动、形貌等信息的测量技术),具有结构简单、易于调节且不受激光器功率波动影响等优点,可广泛应用于速度、位移、距离等物理量的高精度测量。但是,在多维速度测量方面,由于激光自混合测量系统一般采用内置探测器,多维速度分量相互叠加,同样存在速度分量信号无法提取、方向无法识别等问题。

[0005] 理论上,多套激光自混合系统同时在不同的方向或位置上进行激光自混合传感,即可实现多维或多点传感。1998年,法国的 T. Bosch 教授率先采用扫描方案实现三维面型的准确测量,随后又采用两个激光器实现较高精度的固体表面二维速度测量。2008年,意大利巴里大学的 S. Ottonelli 等采用三个独立的 DFB 激光器作为光源,成功研发了能同时测量三个自由度的激光自混合传感系统。2010年,澳大利亚的 Yah Leng Lim 则采用 1×12 的垂直腔面发射激光器阵列实现多点流速的实时测量。但是,除了系统的复杂性增大和成本上升以外,面临的主要问题还在于:①多套单通道激光自混合系统的信号漂移和光源调制特性无法一致。激光自混合效应的测量都是基于对激光输出光强的探测,而光强对外界环境、抽运水平是敏感的,不同的信号漂移使多套系统的测量结果受到很大的影响,无法避免的测量误差将妨碍准确地获取多维速度或多点位移的实时变化过程和高阶相关性;②多系统同时测量时很难实现信号的同步检测,即同一点三维速度等物理量的准确测量很难实现。

发明内容

[0006] 本发明的技术问题:克服现有技术的不足,提供基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置及方法,在保持了激光自混合系统的结构简单、易于调节等优点的同时,通过采用三角波电流调制、多路不同光程结构以及带通滤波信号处理方法等,使用单个激光器和探测器,无需声光调制器件,实现目标物多维运动速度的非接触高分辨率测量。

[0007] 本发明的技术方案:基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置,包括光电探测器 1、激光器 2、激光器调制模块 3、第一光纤 4、光纤分束器 5、第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8、第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11、待测运动物体 12、微分放大电路 13、三通道滤波器组 14、三通道计数器组 15、计算机 16,所述激光器调制模块 3 对激光器 2 进行三角波电流调制,以实现多维速度方向的准确判别,激光器 2 出射的激光耦合到第一光纤 4 中并传输到光纤分束器 5,光纤分束器 5 将激光分为三束,经第二光纤 6 和第一光纤聚焦器 9 的激光从第一维度以一定角度入射到待测运动物体 12 上,经第三光纤 7 和第二光纤聚焦器 10 的激光从第二维度入射到待测运动物体 12 上,经第四光纤 8 和第二光纤聚焦器 11 的激光从第三维度入射到待测运动物体 12 上,其中第二光纤 6、第三光纤 7 和第四光纤 8 的长度各不相同在三角波电流调制下即可实现多维速度信号的准确区分,多路入射激光经待测运动物体 12 散射后,一部分散射光按各自光路反馈回激光器 2,产生激光自混合效应。发生激光自混合效应后的激光被光电探测器 1 接收,并经过微分放大电路 13 放大,随后经过三通道滤波器组 14 和三通道计数器组 15 滤波和计数,单位时间内计数数目即为相应的频率值,分别将各通道信号上升沿和下降沿的频率 $\nu_{\text{上升}}$ (ν 是希腊字母,现代物理学中频率的符号,和 V 不同。)和 $\nu_{\text{下降}}$ 送入计算机 16 处理后得到各维度速度大小及方向,速度 V 的计算公式为:

$$[0008] \quad V = |\nu_{\text{上升}} - \nu_{\text{下降}}| \cdot \lambda$$

[0009] 其中, λ 为激光器输出激光波长,各光纤聚焦器所在光路的光强变化分量上升沿频率大于下降沿频率时待测运动物体 12 的运动速度方向与激光出射方向相同,各光纤聚焦器所在光路的光强变化分量上升沿频率小于下降沿频率时待测运动物体 12 的运动速度方向与激光出射方向相反。

[0010] 所述光电探测器 1 为激光器 2 的内置或外置探测器。采用内置探测器可以简化系统并提高探测激光自混合信号的灵敏度。

[0011] 所述激光器 2 选用电流波长调制系数高的单纵模半导体激光器,半导体激光器的电流波长调制系数宜超过 0.1nm/mA,易于进行三角波电路调制,单纵模工作则可以避免不同模式叠加引起的波形分立现象,从而提高系统测量精度。

[0012] 所述激光器调制模块 3 以三角波电流调制方式工作,以实现多维速度方向的准确判别。

[0013] 所述光纤分束器 5 根据实际需要选用具有相应出射光纤数的分束器,对于三维速度测量则选用 1×3 单模光纤保偏分束器,各束出射光强可按比例均分。

[0014] 所述第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 的长度 L_2 、 L_3 、 L_4 各不相同,具体根据各自对应维度上的速度测量范围确定。第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上的最大速度分别为 $V_{2\text{max}}$ 、 $V_{3\text{max}}$ 、 $V_{4\text{max}}$ 时,

$L_2 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{2\max}$, $L_3 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{3\max} + L_2$, $L_4 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{4\max} + L_3$, 其中, L_2 、 L_3 、 L_4 分别为第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 的长度, c 、 α 、 λ 分别为光速常量、激光器 2 的三角波频率调制系数(单位为 Hz/s)、激光波长, $V_{2\max}$ 、 $V_{3\max}$ 、 $V_{4\max}$ 分别为第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上的最大速度值。

[0015] 所述光纤聚焦器 9、10、11 的插入损耗一般 $\leq 0.3\text{dB}$ 、数值孔径 ≥ 0.1 , 以提高散射光的耦合效率。对于多维平面速度的测量, 也可以将光纤聚焦器改为光纤准直器。

[0016] 所述三通道滤波器组 14 为带通滤波器, 其带通范围分别由第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上速度范围对应的多普勒频移范围确定, $\frac{2\alpha}{c} \cdot L - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{\max} < \nu < \frac{2\alpha}{c} \cdot L + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{\max}$, 其中 L 和 V_{\max} 分别为第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度对应光纤长度和最大测量速度值。

[0017] 基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量方法, 包括以下步骤:

[0018] 第一步, 激光器调制模块 3 对激光器 2 进行三角波电流调制, 调制后的激光经第一光纤 4 传输到光纤分束器 5;

[0019] 第二步, 光纤分束器 5 将激光分为多束, 分别经过第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 传输到相应的第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11;

[0020] 第三步, 经第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 出射的激光分别以不同方向聚焦到待测物体 12 上;

[0021] 第四步, 入射到待测物体 12 上的激光经散射后部分光按原路返回到激光器 2 中产生自混合效应;

[0022] 第五步, 光电探测器 1 将产生自混合效应的光信号转化为电信号;

[0023] 第六步, 电信号经过微分放大电路 13 放大, 随后送入三通道滤波器组 14 和三通道计数器组 15 处理后得到不同的频率值, 其中将三通道滤波器组 14 内部第一、第二、第三通道的滤波器频率 ν_2 、 ν_3 、 ν_4 的范围分别选定为

$\frac{2\alpha}{c} \cdot L_2 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{2\max} < \nu_2 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_2 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{2\max}$ 、
 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_3 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{3\max} < \nu_3 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_3 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{3\max}$ 、
 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_4 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{4\max} < \nu_4 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_4 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{4\max}$, 其中, L_2 、 L_3 、 L_4 分别为第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 的长度, c 、 α 、 λ 分别为光速常量、激光器 2 的三角波频率调制系数(单位为 Hz/s)、激光波长, $V_{2\max}$ 、 $V_{3\max}$ 、 $V_{4\max}$ 分别为第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上的最大速度值;

[0024] 第七步, 将三通道计数器组 15 得到的各通道频率 ν_2 、 ν_3 、 ν_4 的上升沿和下降沿的频率 $\nu_{\text{上升}}$ 和 $\nu_{\text{下降}}$ 送入计算机 16 处理后得到第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上的速度大小及方向, 速度 V 的计算公式为:

[0025] $V = |\nu_{\text{上升}} - \nu_{\text{下降}}| \cdot \lambda$

[0026] 当各维度激光自混合信号的上升沿频率 $\nu_{\text{上升}}$ 大于下降沿频率 $\nu_{\text{下降}}$ 时, 运动速度方向判定为与各维度光纤聚焦器的出射激光方向相同, 当各维度激光自混合信号的上升沿频率 $\nu_{\text{上升}}$ 小于下降沿频率 $\nu_{\text{下降}}$ 时, 运动速度方向判定为与各维度光纤聚焦器的出射激光方向相反。

[0027] 本发明的测量原理如下:

[0028] 首先基于激光自混合三镜腔理论,外界运动物体的反馈面构成激光器外腔并形成新的振幅和相位条件。存在外界光反馈下, r_1 和 r_2 分别代表激光器两端面 M_1 和 M_2 的振幅反射系数, r_3 代表外腔即反馈物体表面的振幅反射系数。

[0029] 假定初始光场为 $E_0(t)$, 光束分为两束, 一束在内腔经历一次往返, 另一束透过 M_2 后被外腔面散射反馈回内腔。在 M_1 处叠加后的光场为:

$$[0030] \quad E(t) = r_1 r_2 \exp\left\{-j4\pi \frac{nL}{c} + (g - \gamma)L\right\} E_0(t)$$

$$[0031] \quad + r_1 (1 - R_2) r_3 \exp\left\{-j4\pi \frac{nL + L_3}{c} + (g - \gamma)L\right\} E_0(t)$$

[0032] 式中 n 为激光介质的复折射率, L 和 L_3 分别表示激光器内腔和外腔长度, c 为真空中光速, $R_2 = |r_2|^2$, g 和 γ 分别表示激光腔内的单位长度下媒质增益和光损耗。

[0033] 在多路反馈下, 叠加光场和 M_2 的等效反射率也随之发生改变, 光场表示为:

$$[0034] \quad \sum_{i=1}^n E_i(t) = r_1 r_2 \exp\left\{-j4\pi \frac{nL}{c} + (g - \gamma)L\right\} E_{i0}(t)$$

$$[0035] \quad + r_1 (1 - R_2) r_3 \exp\left\{-j4\pi \frac{nL + L_3}{c} + (g - \gamma)L\right\} E_{i0}(t) + \dots$$

$$[0036] \quad + r_1 (1 - R_2) r_{i+2} \exp\left\{-j4\pi \frac{nL + L_{i+2}}{c} + (g - \gamma)L\right\} E_{i0}(t)$$

[0037] 当系统稳定时, 叠加后的光场应和初始光场相同。同时, 光在腔内运行一周以后的相位差为 2π 的整数倍。可以由 Lang-Kobayashi 速率方程和激光器稳态条件得出多路反馈下激光器右腔面的等效振幅反射系数和激光自混合干涉的激光功率的变化规律。

[0038] 对于三维速度测量, 产生激光自混合效应后的光功率可表示为:

[0039]

$$I(t) \propto a_x \cos\left[2\pi\left(\pm \frac{2L_x \alpha}{c} + v_{Dx}\right)t\right] + a_y \cos\left[2\pi\left(\pm \frac{2L_y \alpha}{c} + v_{Dy}\right)t\right] + a_z \cos\left[2\pi\left(\pm \frac{2L_z \alpha}{c} + v_{Dz}\right)t\right] \text{ 其中,}$$

a_x 、 a_y 、 a_z 分别为三个方向上的自混合信号振幅, L_x 、 L_y 、 L_z 分别为三个方向上的光程(不同光纤长度导致), v_{Dx} 、 v_{Dy} 、 v_{Dz} 分别为三个方向上的多普勒频移量, α 为三角波频率调制系数(单位为 Hz/s), c 为光速常量。

[0040] 通过对信号进行滤波分析, 即可得到不同方向上的上升沿和下降沿频移量, 上升沿和下降沿频率差值即为各自方向上的多普勒频移量的 2 倍。然后通过公式 $V = v_D \cdot \lambda / 2$ 即可得出不同方向上的速度分量。

[0041] 与此同时, 各分量上升沿频率大于下降沿频率时运动速度方向与激光出射方向相同, 反之亦然。

[0042] 本发明与现有技术相比的优点在于:

[0043] (1) 本发明采用单个激光器和探测器, 利用激光自混合效应, 同时实现多维运动速度的准确非接触测量, 同时系统结构简单、紧凑、易于实现;

[0044] (2) 本发明采用光纤分束器进行分束, 分束后的光纤长度各不相同, 从而实现多路信号的准确区分和速度信息提取;

[0045] (3) 本发明采用三角波电流调制方案, 通过上升沿和下降沿的频率差别实现速度

方向的准确判别；

[0046] (4) 本发明采用单纵模半导体激光器和大数值孔径光纤聚焦器，从而有效减少激光自混合效应中的频谱展宽现象，提高系统测量精度；

[0047] (5) 本发明所用的传输光纤长度可以远大于激光相干长度，从而实现远距离多维速度的传感，并避免外界电磁干扰。

附图说明

[0048] 图 1 为本发明中基于三角波电流调制的激光自混合多维速度测量装置结构示意图。

具体实施方式

[0049] 如图 1 所示，本发明测量装置包括：光电探测器 1、激光器 2、激光器调制模块 3、第一光纤 4、光纤分束器 5、第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8、第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11、待测运动物体 12、微分放大电路 13、三通道滤波器组 14、三通道计数器组 15、计算机 16，所述激光器调制模块 3 对激光器 2 进行三角波电流调制，光路经光纤分束器分为三束入射到待测物体 12 表面，各路部分散射光按原路反馈回激光器产生激光自混合效应，光电探测器 1 将自混合光信号转化为电信号，通过微分放大电路 13、三通道滤波器组 14 和三通道计数器组 15 处理后得到不同维度的多普勒频率值，并经计算机 16 处理后得到多维速度大小及方向。

[0050] 其中，激光器 2 选用电流波长调制系数高的单纵模半导体激光器，激光器调制模块 3 以三角波电流调制方式工作，光纤分束器 5 为 1×3 单模光纤保偏分束器，第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 的长度 L_2 、 L_3 、 L_4 各不相同，具体根据各自对应维度上的速度测量范围确定。各维度上的最大速度分别为 $V_{2\max}$ 、 $V_{3\max}$ 、 $V_{4\max}$ 时， $L_2 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{2\max}$ ， $L_3 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{3\max} + L_2$ ， $L_4 > \frac{c \cdot \alpha}{\lambda} \cdot V_{4\max} + L_3$ ，其中， L_2 、 L_3 、 L_4 分别为第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 的长度， c 、 α 、 λ 分别为光速常量、激光器 2 的三角波频率调制系数（单位为 Hz/s）、激光波长， $V_{2\max}$ 、 $V_{3\max}$ 、 $V_{4\max}$ 分别为第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上的最大速度值。

[0051] 本发明测量方法实现步骤如下：

[0052] 第一步，激光器调制模块 3 对激光器 2 进行三角波电流调制，调制后的激光经第一光纤 4 传输到光纤分束器 5；

[0053] 第二步，光纤分束器 5 将激光分为多束，分别经过第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 传输到相应的第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11；

[0054] 第三步，经第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 出射的激光分别以不同方向聚焦到待测物体 12 上；

[0055] 第四步，入射到待测物体 12 上的激光经散射后部分光按原路返回到激光器 2 中产生自混合效应；

[0056] 第五步，光电探测器 1 将产生自混合效应的光信号转化为电信号；

[0057] 第六步，电信号经过微分放大电路 13 放大，随后送入三通道滤波器组 14 和三通

道计数器组 15 处理后得到不同的频率值,其中将三通道滤波器组 14 内部第一、第二、第三通道的滤波器频率 v_2 、 v_3 、 v_4 的范围分别选定为 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_2 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{2\max} < v_2 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_2 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{2\max}$ 、 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_3 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{3\max} < v_3 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_3 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{3\max}$ 、 $\frac{2\alpha}{c} \cdot L_4 - \frac{2}{\lambda} \cdot V_{4\max} < v_4 < \frac{2\alpha}{c} \cdot L_4 + \frac{2}{\lambda} \cdot V_{4\max}$,其中, L_2 、 L_3 、 L_4 分别为第二光纤 6、第三光纤 7、第四光纤 8 的长度, c 、 α 、 λ 分别为光速常量、激光器 2 的三角波频率调制系数(单位为 Hz/s)、激光波长, $V_{2\max}$ 、 $V_{3\max}$ 、 $V_{4\max}$ 分别为第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上的最大速度值;

[0058] 第七步,将三通道计数器组 15 得到的各通道频率 v_2 、 v_3 、 v_4 的上升沿和下降沿的频率 $v_{\text{上升}}$ 和 $v_{\text{下降}}$ 送入计算机 16 处理后得到第一光纤聚焦器 9、第二光纤聚焦器 10、第三光纤聚焦器 11 各自对应测量维度上的速度大小及方向,速度 V 的计算公式为:

$$[0059] \quad V = |v_{\text{上升}} - v_{\text{下降}}| \cdot \lambda$$

[0060] 当各维度激光自混合信号的上升沿频率 $v_{\text{上升}}$ 大于下降沿频率 $v_{\text{下降}}$ 时,运动速度方向判定为与各维度光纤聚焦器的出射激光方向相同,当各维度激光自混合信号的上升沿频率 $v_{\text{上升}}$ 小于下降沿频率 $v_{\text{下降}}$ 时,运动速度方向判定为与各维度光纤聚焦器的出射激光方向相反。

[0061] 总之,采用单个激光器和探测器、多路不同光程结构、带通滤波信号处理电路,并进行三角波电流调制以实现多维速度大小和方向的准确在线测量。本发明结构简单、易于调节、成本低、空间分辨率高,有效拓展了基于激光自混合效应的速度传感方法,特别是为远距离物体三维运动速度的非接触在线监测提供了可靠的解决方案。

[0062] 本发明说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

[0063] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,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,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

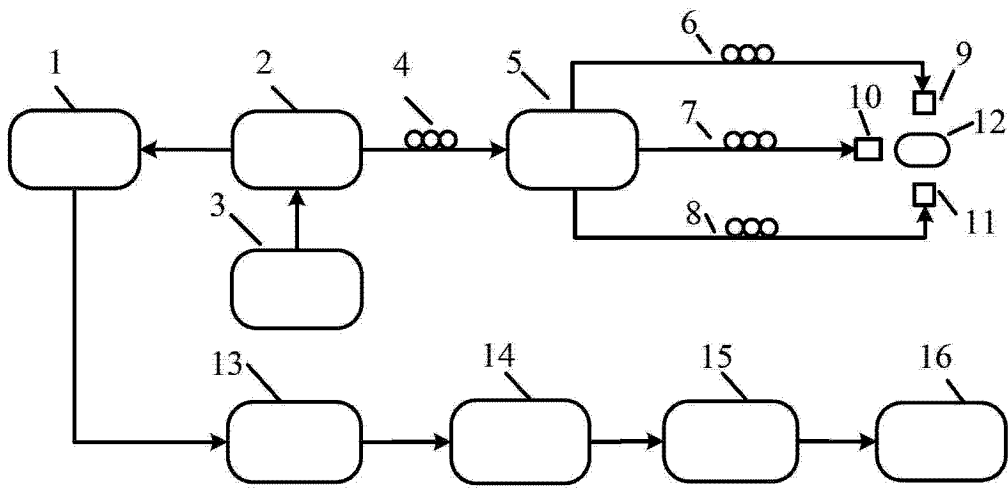


图 1