



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103884486 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 25

(21) 申请号 201410068835. 0

(22) 申请日 2014. 02. 27

(71) 申请人 中国科学院力学研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 戴国亮 孙志斌 代斌 王静

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所 (普通合伙) 11390  
代理人 胡剑辉

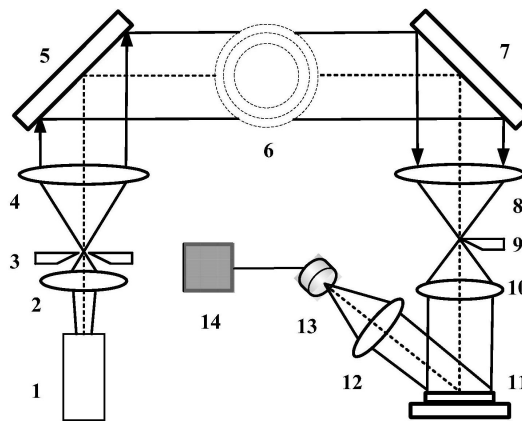
(51) Int. Cl.  
G01M 9/06 (2006. 01)

权利要求书2页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称  
纹影测量成像系统及方法

(57) 摘要

一种纹影测量成像系统和方法,该系统包括光源,用于输出光信号;以及沿所述光源输出光信号路径依次设置的第一聚焦透镜、狭缝光阑、第一准直透镜、流场观测区域、第二聚焦透镜、刀口、第二准直透镜、数字微阵列反射镜、汇聚透镜和单点光电探测器;压缩算法模块,其与单点光电探测器电信号连接,用于重构图像,通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。本发明将压缩感知理论与纹影测量相结合,创造性的提出稀疏纹影测量方法,具有高通量、高信噪比、快速灵活的特点,适宜于常规光强、弱光、微弱光、超微弱光和单光子纹影测量方式,是一种大动态范围的稀疏纹影测量方法。



1. 一种纹影测量成像系统,其特征在于,包括:

光源,用于输出光信号;以及沿所述光源输出光信号路径依次设置的第一聚焦透镜、狭缝光阑、第一准直透镜、第二聚焦透镜、刀口、第二准直透镜、数字微阵列反射镜、汇聚透镜和单点光电探测器,流场观测区域位于第一准直透镜和第二聚焦透镜之间;

压缩算法模块,其与单点光电探测器电信号连接,用于重构图像,通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。

2. 如权利要求1所述的纹影测量成像系统,其特征在于,还包括反射镜单元,其包括第一反射镜和第二反射镜,所述第一反射镜设于所述第一准直透镜和所述流场观测区域之间,用于将第一准直透镜的出射光反射进入流场观测区域;所述第二反射镜设于所述流场观测区域与所述第二聚焦透镜之间,用于将所述流场观测区域的出射光反射至第二聚焦透镜。

3. 如权利要求2所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述反射镜单元中的反射镜为宽带介质膜反射镜、金属膜反射镜、介质激光线反射镜或冷热反射镜。

4. 如权利要求1所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述第一渥拉斯顿棱镜的楔角与所述第二聚焦透镜焦距之间满足干涉条件。

5. 如权利要求1所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述光源是激光光源,所述激光光源为脉冲激光光源或连续激光光源,波长在400-800nm的可见光范围。

6. 如权利要求5所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述激光光源的波长是405nm、445nm、473nm、488nm、515nm、640nm或660nm。

7. 如权利要求1所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述狭缝光阑包括狭缝和针孔光阑,光阑是通过手动或电动调节或更换的光阑部件,或者固定尺寸的标准型光阑。

8. 如权利要求1所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述数字微阵列反射镜采用反射式和透射式液晶空间光调制器。

9. 如权利要求1所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述单点光电探测器为可见光光电探测器或单光子探测器。

10. 如权利要求9所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述单光子探测器为雪崩光电二极管、固态光电倍增管或超导单光子探测器。

11. 如权利要求1所述的纹影测量成像系统,其特征在于,所述数字微阵列反射镜与所述单点光电探测器之间同步,所述数字微阵列反射镜中的微镜阵列每翻转一次,所述单点光电探测器在该翻转时间间隔内累计探测到达所有光强,实现光电信号采集转换,然后将电信号传输至所述压缩算法模块。

12. 一种纹影测量成像方法,其特征在于,所述方法包括:

步骤1、光源输出光信号,经过第一聚焦透镜聚焦后,通过狭缝光阑滤除杂散背景光;

步骤2,经过第一准直透镜扩束准直后,入射到流场观测区域;

步骤3,由所述流场观测区域出射的光束经第二聚焦透镜汇聚后,经刀口在第二聚焦透镜的焦点处切割光源像,把光线受流场的扰动转变为记录平面上的光强分布;

步骤4,经第二准直透镜准直后入射到数字微阵列反射镜,对光场进行随机调制;

步骤5,经汇聚透镜汇聚后入射到单点光电探测器,所述单点光电探测器将转换得到的电信号输送至压缩算法模块;

步骤6,压缩算法模块经过压缩算法模块重构图像,通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。

13. 如权利要求12所述的纹影测量成像方法,其特征在于,所述步骤2中,经过第一准直透镜扩束准直后的光束经第一反射镜反射后入射到流场观测区域。

14. 如权利要求12所述的纹影测量成像方法,其特征在于,所述步骤3中,由所述流场观测区域出射的光束经第二反射镜反射至所述第二聚焦透镜汇聚。

15. 如权利要求12所述的纹影测量成像方法,其特征在于,  
所述步骤4中,入射的成像光信号通过系列光学变换后,传输到数字微阵列反射镜上,数字微阵列反射镜通过加载随机矩阵A对其反射光进行光强调制;

所述步骤5中,所述单点光电探测器组在对应的数字微阵列反射镜每次翻转的时间间隔内同时采样,并将单点光电探测器转换后的数值作为最终的测量值 $y$ ;所述二值随机测量矩阵A测量值 $y$ 与一起作为压缩算法模块的输入;

所述步骤6中,选取合适的稀疏基使得成像 $x$ 能由最少量的系数表示,通过压缩感知算法进行信号重建偏折后的光强分布图像;在对纹影法测量数据处理时,首先计算纹影图的照度或对比度,其次测量出仪器光刀刀口的位移量,然后再计算出被测火焰在垂直于光刀刀口移动方向上的密度变化或密度值。

## 纹影测量成像系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及纹影测量成像领域,尤其涉及一种基于压缩感知的纹影测量成像系统及方法。

### 背景技术

[0002] 上世纪,美国 NASA、欧洲 ESA 和日本 JAXA 在 Lewis 落塔、日本微重力落井、自由落体等短时微重力环境中采用纹影法测量了火焰结构。我国近年来也开展了纹影法测量火焰结构的研究工作,中国科学院力学所和波兰科学家合作开展了相关研究,在风洞试验中常采用干涉法获得流场密度。干涉法是一种严格的定量测量技术,由流场干涉图可严格计算流场的折射率分布,进而由格拉斯通-戴尔常数公式可推算出流场密度及其它流体力学和气动力学参量。在激波风洞和弹道靶试验方面,马赫干涉、全息干涉和纹影干涉等技术得到应用,这些方法中都利用了纹影光路,并把该光路作为物光束的光路。通过这些方法获得了试验干涉照片,并获得了流场的密度定量值。

[0003] 纹影成像技术在燃烧领域也有广泛的应用价值。燃烧是燃料与氧化剂发生强烈化学反应的现象,其过程涉及化学反应、流动、传热传质等复杂的相互作用。微重力燃烧实验中的诊断技术,要求实现对燃烧过程的温度、流场、气体成份和浓度、固体颗粒成份和浓度等进行定性或定量测量,并通过数据处理,对燃烧现象进行分析。在对纹影法所得结果进行数据处理时,由光场分布图像计算出纹影图的照度或对比度,获得激光偏转角度,由此计算出流场的折射率分布,首先测量出仪器光刀刀口的位移量,然后再计算出被测火焰在垂直于光刀刀口移动方向上的密度变化或密度值。

[0004] 纹影成像技术是利用气流对光波的扰动,将气流变化转换成图像。随着风洞气流研究的发展,特别是高速激波研究,使纹影成像技术得到广泛的应用。在反隐身飞机成像应用中,将红外纹影成像与被动光学测距技术相结合,可以实现对隐身飞机的成像和定位,其原理主要利用隐身飞机飞行过程中,产生气流的剧烈扰动,形成范围巨大、保持时间较长的涡流,通过测量隐身飞机扰动的气流轨迹,间接测量隐身飞机。

[0005] 压缩感知是由 E. J. Candes、J. Romberg、T. Tao 和 D. L. Donoho 等研究人员于 2004 年提出,早在上世纪法国数学家 Prony 提出稀疏信号恢复方法,这种方法是通过解特征值问题估计稀疏三角多项式的非零幅度和对应的频率;B. Logan 最早提出基于 L1 范数最小化的稀疏约束方法。随后发展出的压缩感知理论是将 L1 范数最小化稀疏约束与随机矩阵结合,获得稀疏信号重建性能的最佳结果,压缩感知基于信号的可压缩性,通过低维空间、低分辨率、欠 Nyquist 采样数据的非相关观测来实现高维信号的感知。广泛应用于信息论、图像处理、地球科学、光学/微波成像、模式识别、无线通信、大气科学、地球科学、物理天文学、高精度光学测量等学科领域。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于将压缩感知理论应用于流体纹影测量领域,从而提供一种基于

压缩感知的纹影测量成像系统及方法。

[0007] 为实现上述目的,本发明提供了一种纹影测量成像系统,其包括:光源,用于输出光信号;以及沿所述光源输出光信号路径依次设置的第一聚焦透镜、狭缝光阑、第一准直透镜、第二聚焦透镜、刀口、第二准直透镜、数字微阵列反射镜、汇聚透镜和单点光电探测器,流场观测区域位于第一准直透镜和第二聚焦透镜之间;压缩算法模块,其与单点光电探测器电信号连接,用于重构图像,通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。

[0008] 进一步,还包括反射镜单元,其包括第一反射镜和第二反射镜,所述第一反射镜设于所述第一准直透镜和所述流场观测区域之间,用于将第一准直透镜的出射光反射进入流场观测区域;所述第二反射镜设于所述流场观测区域与所述第二聚焦透镜之间,用于将所述流场观测区域的出射光反射至第二聚焦透镜。

[0009] 进一步,所述反射镜单元中的反射镜为宽带介质膜反射镜、金属膜反射镜、介质激光线反射镜或冷热反射镜。

[0010] 进一步,所述第一渥拉斯顿棱镜的楔角与所述第二聚焦透镜焦距之间满足干涉条件。

[0011] 进一步,所述光源是激光光源,所述激光光源为脉冲激光光源或连续激光光源,波长在 400-800nm 的可见光范围。

[0012] 进一步,所述激光光源的波长是 405nm、445nm、473nm、488nm、515nm、640nm 或 660nm。

[0013] 进一步,所述狭缝光阑包括狭缝和针孔光阑,光阑是通过手动或电动调节或更换的光阑部件,或者固定尺寸的标准型光阑。

[0014] 进一步,所述数字微阵列反射镜采用反射式和透射式液晶空间光调制器。

[0015] 进一步,所述单点光电探测器为可见光光电探测器或单光子探测器。

[0016] 进一步,所述单光子探测器为雪崩光电二极管、固态光电倍增管或超导单光子探测器。

[0017] 进一步,所述数字微阵列反射镜与所述单点光电探测器之间同步,所述数字微阵列反射镜中的微镜阵列每翻转一次,所述单点光电探测器在该翻转时间间隔内累计探测到达所有光强,实现光电信号采集转换,然后将电信号传输至所述压缩算法模块。

[0018] 为了解决上述问题,本发明还提供一种纹影测量成像方法,其包括:

[0019] 步骤 1、光源输出光信号,经过第一聚焦透镜聚焦后,通过狭缝光阑滤除杂散背景光;

[0020] 步骤 2,经过第一准直透镜扩束准直后,入射到流场观测区域;

[0021] 步骤 3,由所述流场观测区域出射的光束经第二聚焦透镜汇聚后,经刀口在第二聚焦透镜的焦点处切割光源像,把光线受流场的扰动转变为记录平面上的光强分布;

[0022] 步骤 4,经第二准直透镜准直后入射到数字微阵列反射镜,对光场进行随机调制;

[0023] 步骤 5,经汇聚透镜汇聚后入射到单点光电探测器,所述单点光电探测器将转换得到的电信号输送至压缩算法模块;

[0024] 步骤 6,压缩算法模块经过压缩算法模块重构图像,通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。

[0025] 进一步,所述步骤 2 中,经过第一准直透镜扩束准直后的光束经第一反射镜反射

后入射到流场观测区域。

[0026] 进一步,所述步骤 3 中,由所述流场观测区域出射的光束经第二反射镜反射至所述第二聚焦透镜汇聚。

[0027] 进一步,所述步骤 4 中,入射的成像光信号通过系列光学变换后,传输到数字微阵列反射镜上,数字微阵列反射镜通过加载随机矩阵 A 对其反射光进行光强调制;

[0028] 所述步骤 5 中,所述单点光电探测器组在对应的数字微阵列反射镜每次翻转的时间间隔内同时采样,并将单点光电探测器转换后的数值作为最终的测量值  $y$ ;所述二值随机测量矩阵 A 测量值  $y$  与一起作为压缩算法模块的输入;

[0029] 所述步骤 6 中,选取合适的稀疏基使得成像  $x$  能由最少量的系数表示,通过压缩感知算法进行信号重建偏折后的光强分布图像;在对纹影法测量数据处理时,首先计算纹影图的照度或对比度,其次测量出仪器光刀刀口的位移量,然后再计算出被测火焰在垂直于光刀刀口移动方向上的密度变化或密度值。

[0030] 本发明将压缩感知理论与纹影测量相结合,创造性的提出稀疏纹影测量方法,具有高通量、高信噪比、快速灵活的特点,适宜于常规光强、弱光、微弱光、超微弱光和单光子纹影测量方式,是一种大动态范围的稀疏纹影测量方法。

[0031] 采用压缩感知与纹影测量相结合可以实现高通量纹影测量,经典纹影测量技术在火焰、风洞、气流等方面测量过程中信噪比较低,尤其是在高速、超高速流场测量中环境背景干扰较大,利用这种高通量特点,可以提高纹影测量的信噪比。

[0032] 通过这种方法,采用单光子探测器与稀疏欠采样结合,实现量子纹影测量方法,可以实现对远距离流场的物理特征获。

[0033] 稀疏纹影测量是精密光学测量领域的一个重要发展方向,同时该项技术也可以广泛应用在与流场相关的其他实验领域中。

## 附图说明

[0034] 图 1 为本发明第一实施例中纹影测量成像系统结构示意图。

[0035] 其中:光源 1;第一聚焦透镜 2;狭缝光阑 3;第一准直透镜 4;第一反射镜 5;流畅观测区域 6;第二反射镜 7;第二聚焦透镜 8;刀口 9;第二准直透镜 10;数字微阵列反射镜 11;汇聚透镜 12;单点光电探测器 13;压缩算法模块 14。

## 具体实施方式

[0036] 下文中将结合附图对本发明的实施例进行详细说明。需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互任意组合。

[0037] 压缩感知理论是将采样和压缩同时进行,很好地利用了自然信号可以在某个稀疏基下表示的先验知识,可以实现远低于奈奎斯特/香农采样极限的亚采样,并能近乎完美地重建信号信息。其最广泛的应用是单像素照相机技术,它能使用一个点探测器而不是面阵探测器便可完成所有的探测任务,倘若这项技术应用在光学纹影测量领域,必将减少探测维度,避免由面阵探测器带来的光学噪声和电学噪声,而且采用数字微镜器件 DMD,这是一个被动光学元件,不会给信号带来任何噪声,探测器方面也不再需要前置放大器,此外系统还能做到 23kHz 的高速采样,这是传统面阵探测器所无法企及的,外加之鲁棒的重建算

法,必将引发更多潜在应用。

[0038] 本发明将压缩感知理论与纹影测量相结合,创造性的提出稀疏纹影测量方法,具有高通量、高信噪比、快速灵活的特点,适宜于常规光强、弱光、微弱光、超微弱光和单光子纹影测量方式,是一种大动态范围的稀疏纹影测量方法。

[0039] 本发明的基于压缩感知的纹影测量成像系统及方法采用了压缩感知(Compressive Sensing,简称CS)原理,能以随机采样的方式、通过更少的数据采样数(远低于奈奎斯特/香农采样定理的极限)完美地恢复原始信号。首先利用先验知识,选取合适的稀疏基 $\Psi$ ,使得点扩散函数 $x$ 经 $\Psi$ 变换后得到 $x'$ 是最为稀疏的;在已知测量值向量 $y$ 、测量矩阵 $A$ 和稀疏基 $\Psi$ 的条件下,建立起数学模型 $y=A\Psi x'+e$ ,通过压缩感知算法进行凸优化,得到 $x'$ 后,再由 $x=\sum_{i=1}^N x'_i \psi_i$ 反演出 $x$ 。

[0040] 以上是对压缩感知理论算法的说明,以下将结合压缩感知原理具体描述本发明的成像光谱系统。

[0041] 纹影测量成像系统实施例

[0042] 参考图1所示,本实施例的纹影测量成像系统包括光源1以及沿光源1输出光信号路径依次设置的第一聚焦透镜2、狭缝光阑3、第一准直透镜4、第二聚焦透镜8、刀口9、第二准直透镜10、数字微阵列反射镜11、汇聚透镜12和单点光电探测器13。流畅观测区域6位于第一准直透镜4和第二聚焦透镜8之间。压缩算法模块14与单点光电探测器13电信号连接,用于重构图像,通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。

[0043] 根据图1所示,为调节光源1输出光信号的路径,本实施例中还包括反射镜单元,反射镜单元包括第一反射镜5和第二反射镜7,第一反射镜5设于第一准直透镜4和流场观测区域6之间,用于将第一准直透镜4的出射光反射进入流场观测区域6;第二反射镜7设于流场观测区域6与第二聚焦透镜8之间,用于将流场观测区域6的出射光反射至第二聚焦透镜8。

[0044] 由光源1输出光信号,经过第一聚焦透镜2聚焦后,通过狭缝光阑3滤除杂散背景光,然后通过第一准直透镜4扩束准直后,经过第一反射镜5反射后入射到流场观测区域6,然后经由第二反射镜7反射输入到第二聚焦透镜8汇聚后,经刀口9在透镜焦点处切割光源像,把光线受流场的扰动转变为记录平面上的光强分布,然后经第二准直透镜10准直后入射到数字微阵列反射镜11,对光场进行随机调制后,经汇聚透镜12汇聚后入射到单点光电探测器13,再经过压缩算法模块14重构图像,最后通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。

[0045] 本实施例中光源1是激光光源,经过第一聚焦透镜2聚焦后,再照射到狭缝光阑3上,其中激光光源可以是脉冲激光光源和连续激光光源,波长在400-800nm的可见光范围,激光光源的波长可以是405nm、445nm、473nm、488nm、515nm、640nm、660nm等,具体选择可以根据流场中介质的尺寸来选择合适波长激光器。

[0046] 狭缝光阑3实现纹影测量成像所需要的点光源,同时消除背景杂散光,提高光路系统的信噪比;狭缝光阑3包括狭缝和针孔光阑,光阑可以通过手动或电动调节或更换的光阑部件,也可以是固定尺寸的标准型光阑等。

[0047] 扩束后的光源通过第一反射镜5,进入流场观测区域6,再通过第二反射镜7输入到第二聚焦透镜8上;所采用的反射镜包括宽带介质膜反射镜、金属膜反射镜、介质激光线

反射镜、冷热反射镜等,也包含超快、背面抛光、圆形和方形、D形、凹形、圆柱凹面、利州抛物面、椭圆反射镜等,另外,也包含用于反射的分束器、棱镜等无源或有源光学元件。

[0048] 流场观测区域 6 是光与流场相互作用的区域,可以用于微重力火焰燃烧流场测量、风洞流场测量、落塔燃烧流场测量、火箭燃烧流场测量、液体流场测量、叶片旋流测量、气体射流测量等领域。

[0049] 刀口 9 放在第二聚焦透镜 8 的焦点处切割光源像,把光线受流场的扰动转变为记录平面上的光强分布。由于从光源发出的光线在通过气流密度不均匀区会发生偏转,刀口 9 切割光源像的光强分布形成图像,由此可以判断光线的偏转角,从而确定折射率一阶导数的分布。

[0050] 经第二准直透镜 10 准直后的光照射到数字微阵列反射镜 11 上,然后对偏折后的光强分布图像进行随机空间光调制后,通过汇聚透镜 12 对随机调制后的编码图像成像,然后输入到单点光电探测器 13;其中数字微阵列反射镜 11 也可以采用反射式和透射式液晶空间光调制器等其他可调节的空间光调制器。

[0051] 汇聚透镜 12 将数字微阵列反射镜 11 随机光调制后的图像汇聚到一点,然后入射到对应的单点光电探测器 13,通过汇聚透镜 12 实现高通量成像,可以应用于弱光、超弱光单光子纹影测量成像方面。

[0052] 单点光电探测器 13 接收汇聚透镜 12 汇聚后的光信号,然后输入到压缩算法模块 14,其中所述单点光电探测器 13 可以采用可见光光电探测器或单光子探测器;其中单光子探测器可以是可见光雪崩二极管,固态光电倍增管,超导单光子探测器等。

[0053] 压缩算法模块 14 采用下列任意一种算法实现压缩感知:贪心重建算法、匹配跟踪算法 MP、正交匹配跟踪算法 OMP、基跟踪算法 BP、LASSO、LARS、GPSR、贝叶斯估计算法、magic、IST、TV、StOMP、CoSaMP、LBI、SP、l1\_ls、smp 算法、SpaRSA 算法、TwIST 算法、l<sub>0</sub> 重建算法、l<sub>1</sub> 重建算法、l<sub>2</sub> 重建算法等,稀疏基可采用离散余弦变换基、小波基、傅里叶变换基、梯度基、gabor 变换基等;通过使用上述压缩算法模块重构出偏折后的光强分布图像。

[0054] 具体的,所述数字微阵列反射镜 11 与单点光电探测器 13 之间需同步,数字微阵列反射镜 11 中的微镜阵列每翻转一次,单点光电探测器 13 在该翻转时间间隔内累计探测到达所有光强,实现光电信号采集转换,然后送到对应的压缩算法模块 14。

[0055] 纹影测量成像方法实施例

[0056] 本实施例纹影测量成像方法包括:

[0057] 步骤 1、光源 1 输出光信号,经过第一聚焦透镜 2 聚焦后,通过狭缝光阑 3 滤除杂散背景光;

[0058] 步骤 2,经过第一准直透镜 4 扩束准直后,入射到流场观测区域 6;

[0059] 步骤 3,由所述流场观测区域 6 出射的光束经第二聚焦透镜 8 汇聚后,经刀口 9 在第二聚焦透镜 8 的焦点处切割光源像,把光线受流场的扰动转变为记录平面上的光强分布;

[0060] 步骤 4,经第二准直透镜 10 准直后入射到数字微阵列反射镜 11,对光场进行随机调制;

[0061] 步骤 5,经汇聚透镜 12 汇聚后入射到单点光电探测器 13,所述单点光电探测器 13 将转换得到的电信号输送至压缩算法模块 14;



[0062] 步骤 6, 压缩算法模块 14 通过对图像的纹影计算方法计算出观测流场的结构分布。

[0063] 上述步骤 2 中: 经过第一准直透镜 4 扩束准直后的光束经第一反射镜 5 反射后入射到流场观测区域 6。

[0064] 上述步骤 3 中, 由所述流场观测区域 6 出射的光束经第二反射镜 7 反射至所述第二聚焦透镜 8 汇聚。

[0065] 上述步骤 4 中, 入射的成像光信号通过系列光学变换后, 传输到数字微阵列反射镜上, 数字微阵列反射镜通过加载随机矩阵 A 对其反射光进行光强调制;

[0066] 上述步骤 5 中, 所述单点光电探测器组在对应的数字微阵列反射镜每次翻转的时间间隔内同时采样, 并将单点光电探测器转换后的数值作为最终的测量值  $y$ ; 所述二值随机测量矩阵 A 测量值  $y$  与一起作为压缩算法模块的输入;

[0067] 上述步骤 6 中, 选取合适的稀疏基使得成像  $x$  能由最少量的系数表示, 通过压缩感知算法进行信号重建偏折后的光强分布图像; 在对纹影法测量数据处理时, 首先计算纹影图的照度或对比度, 其次测量出仪器光刀刀口的位移量, 然后再计算出被测火焰在垂直于光刀刀口移动方向上的密度变化或密度值。

[0068] 以上是对本发明的基于压缩感知的纹影测量成像系统的总体结构的描述, 下面对其中各个部件的具体实现做进一步的描述。

[0069] 所述数字微阵列反射镜单元能将信息加载于一维或二维的光学数据场上, 是实时光学信息处理、自适应光学和光计算等现代光学领域的关键器件, 这类器件可在随时间变化的电驱动信号或其他信号的控制下, 改变空间上光分布的振幅或强度、相位、偏振态以及波长, 或者把非相干光转化成相干光。其种类有很多种, 主要有数字微镜器件(Digital Micro-mirror Device, 简称 DMD)、毛玻璃、液晶光阀等, 这里所用到的调制为包括振幅调制在内的光强调制。

[0070] 本实施例中所采用的 DMD 是包含有成千上万个安装在铰链上的微镜的阵列(主流的 DMD 由  $1024 \times 768$  的阵列构成, 最大可至  $2048 \times 1152$ ), 每一镜片的尺寸为  $14 \mu\text{m} \times 14 \mu\text{m}$  (或  $16 \mu\text{m} \times 16 \mu\text{m}$ ) 并可以通断一个像素的光, 这些微镜皆悬浮着, 通过对每一个镜片下的存储单元都以二进制平面信号进行电子化寻址, 便可让每个镜片以静电方式向两侧倾斜  $10 \sim 12^\circ$  左右(本实施例中取  $+12^\circ$  和  $-12^\circ$ ), 把这两种状态记为 1 和 0, 分别对应“开”和“关”, 当镜片不工作时, 它们处于  $0^\circ$  的“停泊”状态。

[0071] 本发明的优点在于:

[0072] 本发明将压缩感知理论与纹影测量相结合, 创造性的提出稀疏纹影测量方法, 具有高通量、高信噪比、快速灵活的特点, 适宜于常规光强、弱光、微弱光、超微弱光和单光子纹影测量方式, 是一种大动态范围的稀疏纹影测量方法。

[0073] 1) 采用压缩感知与纹影测量相结合可以实现高通量纹影测量, 经典纹影测量技术在火焰、风洞、气流等方面测量过程中信噪比较低, 尤其是在高速、超高速流场测量中环境背景干扰较大, 利用这种高通量特点, 可以提高纹影测量的信噪比。

[0074] 2) 通过这种方法, 采用单光子探测器与稀疏欠采样结合, 实现量子纹影测量方法, 可以实现对远距离流场的物理特征获。

[0075] 3) 稀疏纹影测量是精密光学测量领域的一个重要发展方向, 同时该项技术也可

以广泛应用在与流场相关的其他实验领域中。

[0076] 专业人员应该还可以进一步意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0077] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以用硬件、处理器执行的软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0078] 以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

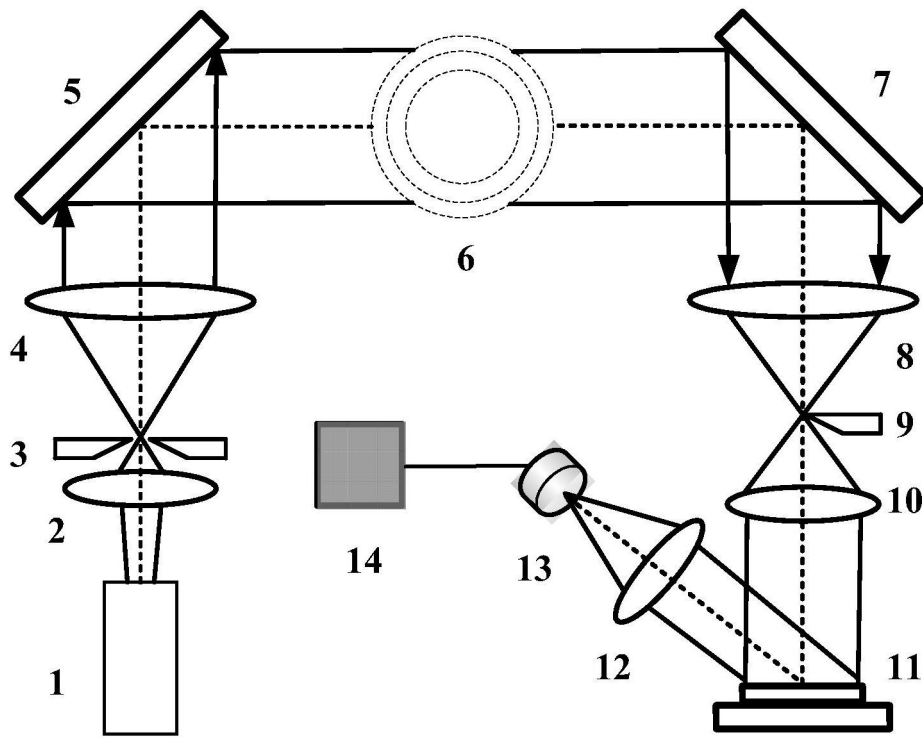


图 1