



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106019307 A
(43)申请公布日 2016.10.12

(21)申请号 201610330690.6

(22)申请日 2016.05.18

(71)申请人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路37号
申请人 北京航天自动控制研究所

(72)发明人 杨照华 刘保磊 余远金 祁振强

(74)专利代理机构 北京君恒知识产权代理事务
所(普通合伙) 11466
代理人 张璐 黄启行

(51)Int.Cl.
G01S 17/89(2006.01)

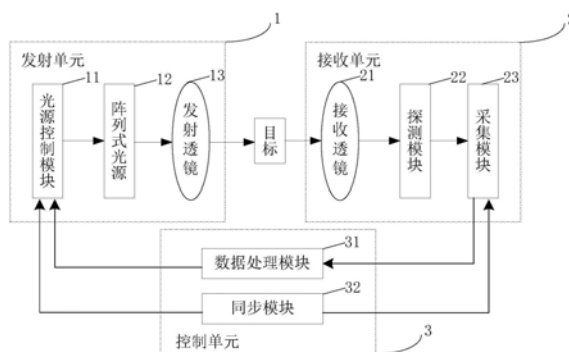
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

一种基于阵列光源的单像素成像系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于阵列光源的单像素成像系统及方法,包括:光源控制模块、阵列式光源、发射透镜、接收透镜、探测模块、采集模块及数据处理模块;其中,数据处理模块向光源控制模块发送光源控制信号;光源控制模块根据光源控制信号控制阵列式光源发光;发射透镜采集阵列式光源的发射光,将其投射到目标;接收透镜采集目标的反射光,将其聚集到探测模块;探测模块对接收光进行光电转换生成光强响应信号;采集模块将光强响应信号发送到数据处理模块;数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号进行关联运算,获得目标图像。本发明能够以较低的成本实现精确的单像素成像,具有较大的实用价值。



1. 一种基于阵列光源的单像素成像系统,其特征在于,包括:包含光源控制模块、阵列式光源与发射透镜的发射单元,包含接收透镜、探测模块与采集模块的接收单元,及包含数据处理模块和同步模块的控制单元;其中,

数据处理模块向光源控制模块发送光源控制信号;光源控制模块根据接收的光源控制信号控制阵列式光源发光;发射透镜采集阵列式光源的发射光,将其投射到目标;接收透镜采集目标的反射光,将其聚集到探测模块;探测模块对接收光进行光电转换生成光强响应信号;采集模块采集光强响应信号并将其发送到数据处理模块;数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号进行关联运算,获得目标图像。

2. 如权利要求1所述的系统,其特征在于,所述控制单元还包括:

同步模块,用于向光源控制模块及采集模块发送同步信号,使光源控制信号与光强响应信号同步。

3. 如权利要求2所述的系统,其特征在于,所述探测模块为单像素光强探测器,所述发射透镜为凸透镜或透镜组,所述接收透镜为凸透镜或透镜组。

4. 如权利要求3所述的系统,其特征在于,所述阵列式光源包括M*N个面积相等的子光源;其中,M、N皆为大于1的正整数,分别表示子光源横、纵向的数目。

5. 如权利要求4所述的系统,其特征在于,所述光源控制信号为矩阵信号 $R_i(x, y)$;其中, x, y 分别为子光源的横、纵坐标, $x \leq M, y \leq N; i$ 为不大于L的正整数;L为光源控制信号总数。

6. 如权利要求5所述的系统,其特征在于,数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号利用公式1进行关联运算:

$$G(x, y) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [(S_i - \langle S_i \rangle) R_i(x, y)] = \langle S_i R_i(x, y) \rangle - \langle S_i \rangle \langle R_i(x, y) \rangle \quad \text{公式 1}$$

其中, $G(x, y)$ 为重建的目标图像; S_i 为与 $R_i(x, y)$ 对应的光强响应信号; $\langle \rangle$ 表示对时间的系综平均, $\langle S_i \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (S_i)$, $\langle R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [R_i(x, y)]$, $\langle S_i R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [S_i R_i(x, y)]$ 。

7. 一种基于阵列光源的单像素成像方法,其特征在于,包括:

数据处理模块向光源控制模块发送光源控制信号;光源控制模块根据接收的光源控制信号控制阵列式光源发光;发射透镜采集阵列式光源的发射光,将其投射到目标;接收透镜采集目标的反射光,将其聚集到探测模块;探测模块对接收光进行光电转换生成光强响应信号;采集模块采集光强响应信号并将其发送到数据处理模块;数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号进行关联运算,获得目标图像;其中,

所述探测模块为单像素光强探测器,所述发射透镜为凸透镜或透镜组,所述接收透镜为凸透镜或透镜组。

8. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,所述方法还包括:

向光源控制模块及采集模块发送同步信号,使光源控制信号与光强响应信号同步。

9. 如权利要求8所述的方法,其特征在于,所述阵列式光源包括M*N个面积相等的子光源;以及所述光源控制信号为矩阵信号 $R_i(x, y)$;其中,

M、N皆为大于1的正整数,分别表示子光源横、纵向的数目; x, y 分别为子光源的横、纵坐标, $x \leq M, y \leq N; i$ 为不大于L的正整数;L为光源控制信号总数。

10. 如权利要求9所述的方法,其特征在于,数据处理模块对光强响应信号及光源控制

信号利用公式1进行关联运算：

$$G(x, y) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [(S_i - \langle S_i \rangle) R_i(x, y)] = \langle S_i R_i(x, y) \rangle - \langle S_i \rangle \langle R_i(x, y) \rangle \quad \text{公式 1}$$

其中, $G(x, y)$ 为重建的目标图像; S_i 为与 $R_i(x, y)$ 对应的光强响应信号; $\langle \rangle$ 表示对时间的系综平均, $\langle S_i \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (S_i)$, $\langle R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [R_i(x, y)]$, $\langle S_i R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [S_i R_i(x, y)]$ 。

一种基于阵列光源的单像素成像系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及主动光学成像领域,尤其涉及一种基于阵列光源的单像素成像系统及方法。

背景技术

[0002] 光学成像是获取信息的基本途径之一,目前的光学成像系统主要由光学系统与图像传感器(如电荷耦合元件CCD、互补金属氧化物半导体CMOS等)组成。随着CCD及CMOS的不断发展,成像质量与空间分辨率越来越高。但是,目前的图像传感器由于工艺的限制无法进一步提高性能,过多的像素点会造成单个像素尺寸的减少,进而产生感光面减少、噪声增加等不利因素。

[0003] 强度关联成像技术是近年来快速发展的一种新型成像技术。与传统光学成像方式不同,强度关联成像采用的探测器为不具有空间分辨能力的单像素探测器或桶探测器,因此又被称作单像素成像。具体而言,激光束经过空间光调制器后被调制成特定的动态散斑,之后照射到目标上,由单像素探测器或桶探测器采集目标的光强涨落信息,通过关联算法对动态散斑和光强信息进行关联,即可得到目标的图像信息。强度关联成像方式独特新颖,具有非定域性、超分辨和宽光谱特性,在遥感、光学加密和生物医学等领域具有巨大的潜在应用前景。

[0004] 现有的强度关联成像系统需要采用空间光调制器对光场进行调制,且需要光学器件对激光束进行准直扩束,这在一定程度上增加了成像系统的成本,不利于系统的集成,限制了强度关联成像技术的实际应用。

[0005] 因此,亟需一种不依赖空间光调制器及准直扩束器件的单像素成像系统及方法,以解决上述问题。

发明内容

[0006] 本发明提供了一种基于阵列光源的单像素成像系统及方法,能够在摒弃成本较高的空间光调制器及准直扩束器件的前提下,实现精确的强度关联成像。本发明不需要高灵敏度、强空间分辨能力的探测器,利用单像素探测器即可记录图像信息,适于弱光背景环境下的成像。同时,本发明成本较低、集成较易,在工程应用中具有较强的实用价值。

[0007] 本发明一方面提供一种基于阵列光源的单像素成像系统,包括:包含光源控制模块、阵列式光源与发射透镜的发射单元,包含接收透镜、探测模块与采集模块的接收单元,及包含数据处理模块和同步模块的控制单元;其中,

[0008] 数据处理模块向光源控制模块发送光源控制信号;光源控制模块根据接收的光源控制信号控制阵列式光源发光,产生随时间变化的光强度二值分布的空间二维光场;发射透镜采集阵列式光源的发射光,将其投射到目标;接收透镜采集目标的反射光,将其聚集到探测模块;探测模块对接收光进行光电转换生成光强响应信号;采集模块采集光强响应信号并将其发送到数据处理模块;同步模块用于向光源控制模块及采集模块发送同步信号,

使光源控制信号与光强响应信号同步;数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号进行关联运算,获得目标图像。

[0009] 优选的,所述阵列式光源包括M*N个面积相等的子光源;其中,M、N皆为大于1的正整数,分别表示子光源横、纵向的数目。

[0010] 优选的,所述探测模块为单像素光强探测器,所述发射透镜为凸透镜或透镜组,所述接收透镜为凸透镜或透镜组。

[0011] 优选的,所述第i次光源控制信号为矩阵信号 $R_i(x, y)$;其中,x、y分别为子光源的横、纵坐标, $x \leq M, y \leq N$;i为不大于L的正整数;L为光源控制信号总数。

[0012] 优选的,数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号利用公式1进行关联运算,恢复出目标图像,即完成单像素成像:

$$[0013] \quad G(x, y) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [(S_i - \langle S_i \rangle) R_i(x, y)] = \langle S_i R_i(x, y) \rangle - \langle S_i \rangle \langle R_i(x, y) \rangle \quad \text{公式 1}$$

[0014] 其中, $G(x, y)$ 为重建后的目标图像; S_i 为与 $R_i(x, y)$ 对应的第i次光强响应信号; $\langle \cdot \rangle$ 表示对时间的系综平均, $\langle S_i \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (S_i)$, $\langle R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [R_i(x, y)]$, $\langle S_i R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [S_i R_i(x, y)]$ 。

[0015] 优选的,数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号利用压缩感知算法进行运算,获得目标图像。

[0016] 优选的,利用压缩感知算法进行运算具体为:假设观测目标本身是稀疏的,将其拉伸为一个列向量x,再将阵列式光源控制模块中的每个二维矩阵 $R_i(x, y)$ 同样拉伸成一行,作为测量矩阵A中的第i行,则经过L次调制,将有L个测量值对应L个方程,将测量值组成一个测量向量y,即可联立成欠定方程组 $y = Ax$ 。若物体图像本身不是稀疏的,则可在某个基 Ψ 下稀疏表示,则方程组变为 $y = A\Psi x'$ 。通过求解该方程组即可重构出原图像,这里的重构算法可采用贪婪算法、匹配跟踪算法MP和正交匹配算法OMP等压缩感知重构算法来实现。采用压缩感知算法重建图像时,测量矩阵的选取一般需要满足UUP/RIP准则,假设信号x是k-sparse的,令 $k \subset \{1, 2, \dots, M \cdot N\}$,定义 A_T 为从A中抽出列标落在集合T中的所有列组成的 $L \times |T|$ 子矩阵, δ_k 是A的k-受限等距常数。则对于 $\{1, 2, \dots, M \cdot N\}$ 的所有子集合和相应位置上的系数向量 $v = \{x_j\}_{j \in T}$,且 $|T| \leq k$, A_T 需满足:

$$[0017] \quad 1 - \delta_k \leq \frac{\|A_T v\|_2^2}{\|v\|_2^2} \leq 1 + \delta_k$$

[0018] 本发明另一方面提供一种基于阵列光源的单像素成像方法,包括:

[0019] 数据处理模块向光源控制模块发送光源控制信号;光源控制模块根据接收的光源控制信号控制阵列式光源发光;发射透镜采集阵列式光源的发射光,将其投射到目标;接收透镜采集目标的反射光,将其聚集到探测模块;探测模块对接收光进行光电转换生成光强响应信号;采集模块采集光强响应信号并将其发送到数据处理模块;数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号进行关联运算,获得目标图像;其中,所述探测模块为单像素光强探测器,所述发射透镜为凸透镜或透镜组,所述接收透镜为凸透镜或透镜组。

[0020] 优选的,所述方法还包括:向光源控制模块及采集模块发送同步信号,使光源控制信号与光强响应信号同步。

[0021] 优选的,所述阵列式光源包括M*N个面积相等的子光源;以及所述光源控制信号为矩阵信号 $R_i(x,y)$;其中,

[0022] M、N皆为大于1的正整数,分别表示子光源横、纵向的数目;x、y分别为子光源的横、纵坐标, $x \leq M, y \leq N$;i为不大于L的正整数;L为光源控制信号总数。

[0023] 优选的,数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号利用公式1进行关联运算:

$$[0024] \quad G(x,y) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [(S_i - \langle S_i \rangle) R_i(x,y)] = \langle S_i R_i(x,y) \rangle - \langle S_i \rangle \langle R_i(x,y) \rangle \quad \text{公式 1}$$

[0025] 其中, $G(x,y)$ 为重建的目标图像; S_i 为与 $R_i(x,y)$ 对应的光强响应信号; $\langle \rangle$ 表示对时间的系综平均, $\langle S_i \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (S_i)$, $\langle R_i(x,y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [R_i(x,y)]$, $\langle S_i R_i(x,y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [S_i R_i(x,y)]$ 。

[0026] 由上述技术方案可知,本发明不需要空间光调制器及准直扩束器件,以较低的成本即可实现精确的强度关联成像。同时,系统成本较低、结构简单、实用性强,适于弱光背景环境下成像。

附图说明

[0027] 图1是本发明的基于阵列光源的单像素成像系统示意图;

[0028] 图2是本发明的光源控制信号第一示例图;

[0029] 图3是本发明的光源控制信号第二示例图;

[0030] 图4是本发明实施例获得的单像素光强探测器输出信号;

[0031] 图5是本发明实施例中对双缝物体的单像素成像结果;

[0032] 图6是本发明的基于阵列光源的单像素成像方法示意图。

具体实施方式

[0033] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下参照附图并举出优选实施例,对本发明进一步详细说明。然而,需要说明的是,说明书中列出的许多细节仅仅是为了使读者对本发明的一个或多个方面有一个透彻的理解,即便没有这些特定的细节也可以实现本发明的这些方面。

[0034] 本发明考虑到现有的强度关联成像系统需要采用空间光调制器对光场进行调制,且需要光学器件对激光束进行准直扩束,由此增加了成像系统的成本,不利于系统的集成,限制了强度关联成像技术的实际应用。

[0035] 针对于此,本发明采用阵列式光源及其控制模块进行信号光的发射,避免了空间光调制器及准直扩束器件的使用,由此节约了成本,拓展了系统使用范围。同时,本发明利用单像素探测器采集光强信息,系统成本较低、结构简单、实用性强,适于弱光背景环境下成像。

[0036] 图1示出了本发明的基于阵列光源的单像素成像系统示意图,参见图1,所述系统包括发射信号光的发射单元1、对目标反射光进行接收及探测的接收单元2与进行控制及数据处理的控制单元3。

[0037] 进一步,发射单元1包括光源控制模块11、阵列式光源12与发射透镜13;接收单元2包括接收透镜21、探测模块22与采集模块23;控制单元3包括数据处理模块31。

[0038] 具体地,所述系统按照如下过程运行:数据处理模块31向光源控制模块11发送光源控制信号;光源控制模块11接收光源控制信号,并根据光源控制信号控制阵列式光源12产生变化的光场;发射透镜13采集阵列式光源12的发射光,将其投射到目标;接收透镜21采集目标的后向反射光,将其聚集到探测模块22的感光面;探测模块22对接收光进行光电转换生成光强响应信号;采集模块23采集光强响应信号并将其发送到数据处理模块31;控制单元3还包括同步模块32,用于向光源控制模块11及采集模块23发送同步信号,使光源控制模块11发送的光源控制信号与采集模块23采集的光强响应信号在时序上一一对应。数据处理模块31对光强响应信号及光源控制信号进行关联运算,获得目标图像。由上述过程可知,本发明不需要空间光调制器及准直扩束器件,即可实现精确的强度关联成像,系统成本较低,易于集成,实用性强,适于在弱光背景下工作。

[0039] 较佳地,在本发明实施例中,阵列式光源12包括 $M*N$ 个面积相等的子光源;其中, M 、 N 皆为大于1的正整数,分别表示子光源横、纵向的数目。光源控制信号为矩阵信号 $R_i(x,y)$;其中, x 、 y 分别为子光源的横、纵坐标, $x \leq M$ 、 $y \leq N$; i 为不大于 L 的正整数; L 为光源控制信号总数。

[0040] 在本发明优选实施例中,光源控制模块11根据光源控制信号及同步模块32发送的同步信号独立控制各子光源的开启与关闭,产生时序变化的二维二值化光场。

[0041] 作为一个优选方案,数据处理模块31对光强响应信号及光源控制信号利用公式1进行关联运算,获得目标图像:

$$[0042] \quad G(x,y) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [(S_i - \langle S_i \rangle) R_i(x,y)] = \langle S_i R_i(x,y) \rangle - \langle S_i \rangle \langle R_i(x,y) \rangle \quad \text{公式 1}$$

[0043] 其中, $G(x,y)$ 为目标图像; S_i 为与 $R_i(x,y)$ 对应的光强响应信号; $\langle \rangle$ 表示对时间的系综平均。

[0044] 具体地:

$$[0045] \quad \langle S_i \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (S_i)$$

$$[0046] \quad \langle R_i(x,y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [R_i(x,y)]$$

$$[0047] \quad \langle S_i R_i(x,y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [S_i R_i(x,y)]$$

[0048] 另外,数据处理模块31还可以对光强响应信号及光源控制信号利用压缩感知算法进行运算,重建出目标图像,完成单像素成像。

[0049] 在本发明优选实施例中,探测模块22为单像素光强探测器。可见本发明不需要面探测器,只需一个点探测器即可成像,在不适合或不能采用体积较大的面探测器时具有重要的应用价值。上述单像素光强探测器可以是光电二极管、光电倍增管、单光子探测器或光电池等。

[0050] 较佳地,发射透镜13为凸透镜或透镜组,接收透镜21为凸透镜或透镜组。采集模块23为数据采集卡,根据同步模块32发送的同步信号采集光强响应信号。为了避免失真,采集模块23的采集速率大于光源控制模块11的调制频率。

[0051] 在本发明的优选实施例中,阵列式光源采用包含 $64*32$ 个子光源的单色LED阵列,

发射透镜为焦距为25mm的凸透镜,光源控制信号及光强响应信号的数量 $L=1000$,接收透镜为焦距为35mm的凸透镜,探测模块采用光电池。如上设置的单像素成像系统对长度为15mm、缝宽为5mm、缝间距为6mm的反射型双缝成像。

[0052] 图2、3分别示出了上述实施例的两种二值化光源控制信号。图4示出了上述实施例的1000个光强响应信号,图中横坐标是采集点序号,纵坐标为信号电平。图5为本发明对上述反射型双缝所成的像(中间的亮点为双缝物体像,存在若干边缘噪点)。可以看到,本发明实现了较为精确的单像素成像,具有较强的实用价值。

[0053] 图6示出了本发明提供的基于阵列光源的单像素成像方法示意图,如图6所示,所述方法按照以下步骤执行:

[0054] 首先,在步骤S1中,数据处理模块向光源控制模块发送光源控制信号;光源控制模块根据接收的光源控制信号控制阵列式光源发光;发射透镜采集阵列式光源的发射光,将其投射到目标。

[0055] 接着,在步骤S2中,接收透镜采集目标的反射光,将其聚集到探测模块;探测模块对接收光进行光电转换生成光强响应信号;采集模块采集光强响应信号并将其发送到数据处理模块。

[0056] 接下来,在步骤S3中,数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号进行关联运算,获得目标图像。

[0057] 较佳地,探测模块为单像素光强探测器,发射透镜为凸透镜或透镜组,接收透镜为凸透镜或透镜组。

[0058] 在发明优选实施例中,所述方法还包括:向光源控制模块及采集模块发送同步信号,使光源控制信号与光强响应信号同步。

[0059] 在发明优选实施例中,阵列式光源包括 $M \times N$ 个面积相等的子光源;光源控制信号为矩阵信号 $R_i(x, y)$;其中,

[0060] M 、 N 皆为大于1的正整数,分别表示子光源横、纵向的数目; x 、 y 分别为子光源的横、纵坐标, $x \leq M$, $y \leq N$; i 为不大于 L 的正整数; L 为光源控制信号总数。

[0061] 数据处理模块对光强响应信号及光源控制信号利用公式1进行关联运算:

$$[0062] \quad G(x, y) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [(S_i - \langle S_i \rangle) R_i(x, y)] = \langle S_i R_i(x, y) \rangle - \langle S_i \rangle \langle R_i(x, y) \rangle \quad \text{公式 1}$$

[0063] 其中, $G(x, y)$ 为重建的目标图像; S_i 为与 $R_i(x, y)$ 对应的光强响应信号; $\langle \rangle$ 表示对时间的系综平均, $\langle S_i \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (S_i)$, $\langle R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [R_i(x, y)]$, $\langle S_i R_i(x, y) \rangle = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L [S_i R_i(x, y)]$ 。

[0064] 本发明实现了以下技术效果:

[0065] 本本发明实现了以下技术效果:

[0065] (1)不需要面探测器,无须扫描,只需一个点探测器即可成像,在不适合或不能采用体积较大的面探测器时具有极大的应用价值。

[0066] (2)不需要空间光调制器及准直扩束器件,系统成本低,易于集成。

[0067] (3)可采用压缩感知算法重建图像,采样率可以小于香农-奈奎斯特采样极限,避免了大量冗余数据,适用于图像信息量比较大的多光谱、超光谱成像,成像效率高。

[0068] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分步骤是可以通程序来指令相关的硬件来完成,该程序可以存储于一计算机可读取存储介质中,如:

ROM/RAM、磁碟、光盘等。

[0069] 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,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

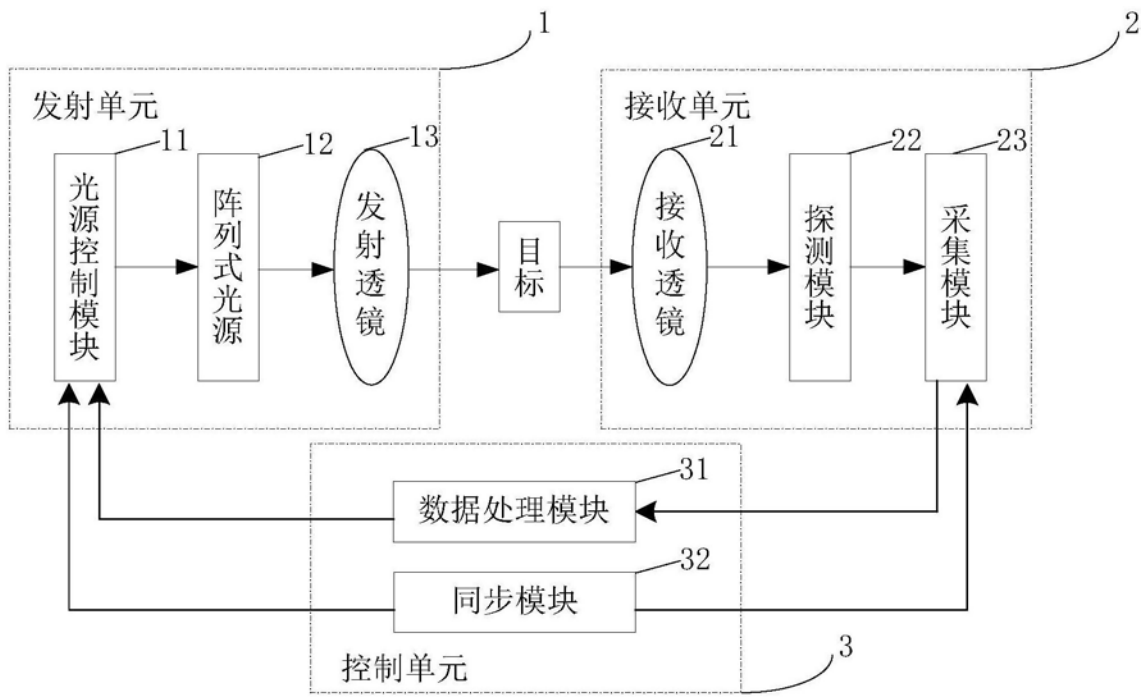


图1



图2



图3

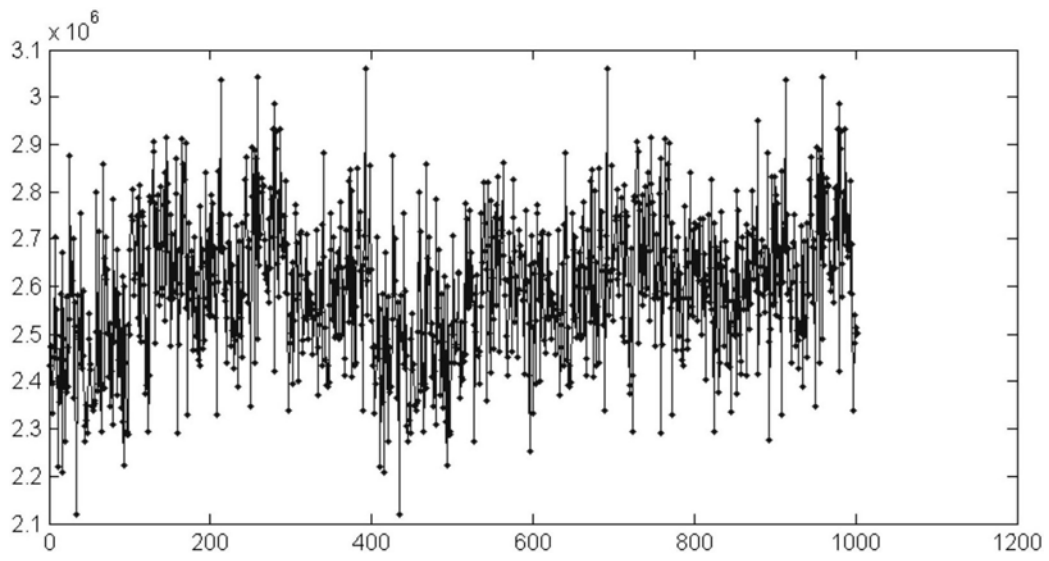


图4



图5

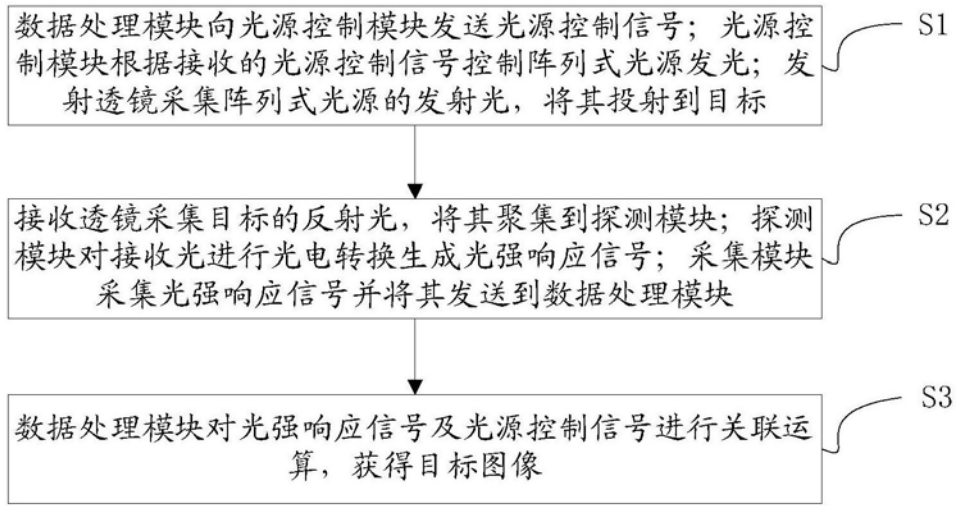


图6