



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104992424 B

(45)授权公告日 2018.05.25

(21)申请号 201510446012.1

(22)申请日 2015.07.27

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104992424 A

(43)申请公布日 2015.10.21

(73)专利权人 北京航空航天大学
地址 100191 北京市海淀区学院路37号

(72)发明人 杨照华 刘保磊

(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 孟卜娟

(51)Int.Cl.
G06T 5/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 104154878 A,2014.11.19,参见对比文
件1的说明书第[0005]-[0053]段.

CN 102710906 A,2012.10.03,说明书第
[0032]-[0041]段.

CN 104154878 A,2014.11.19,参见对比文
件1的说明书第[0005]-[0053]段.

CN 101232625 A,2008.07.30,全文.

CN 101256768 A,2008.09.03,全文.

CN 102547263 A,2012.07.04,全文.

Stephen S. Welsh等.Fast full-color
computational imaging with single-pixel
detectors.《OPTICS EXPRESS》.2013,第21卷(第
20期),第1-7页.

审查员 邹黎君

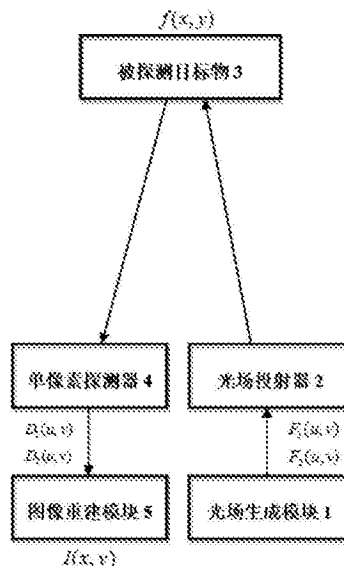
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于离散余弦变换的单像素快速主动
成像系统

(57)摘要

本发明提供了一种能够进行高质量成像的
基于离散余弦变换的单像素快速主动成像系统,
其技术核心为光场生成模块产生的基于二维离
散余弦变换的二维余弦正交结构光场;并将这种
正交结构光场通过光场投射器投向被探测目标,
将目标的像调制;再利用单像素探测器采集调制
后的光场光强信号;在图像重建模块中利用光场
光强信号和二维离散余弦逆变换算法对目标物
体图像进行重建。本发明的优点是结构简单,无
需任何扫描,能够避免成像环境中背景光的干
扰,所利用的数据仅仅为被调制目标的光强信
号,成像速度快,且能够在采集少量光强信号
的情况下进行单像素成像。



CN 104992424 B

1. 一种基于离散余弦变换的单像素快速主动成像系统,其特征在于,包括光场生成模块(1)、光场投射器(2)、被探测目标物(3)、单像素探测器(4)、图像重建模块(5);其中:

光场生成模块(1):生成两组光场信号,并输出到光场投射器,每一空间频率在两组光场信号中都有一个光场与之对应,即每一空间频率对应两个光场信号;

光场投射器(2):根据接收到的两组光场信号将相应的两组光场投射到被探测目标物上;

单像素探测器(4):接收被探测目标物的反射光信号,将光信号转换为电信号,得到对应每一空间频率的两个电信号,并将电信号输出到图像重建模块(5);

图像重建模块(5):根据接收到的电信号重建图像,具体为:将对应同一空间频率的两个电信号相减,得到对应该空间频率的二维离散余弦变换的系数,对全部系数进行二维离散余弦逆变换,从而得到重建的图像;

具体过程如下:(1)每一空间频率 (u, v) 对应两个光场,将被探测目标物的像用一个大小为 $M \times N$ 像素的二维图像 $f(x, y)$ 表示,则所述两个光场分别被表示为:

$$F_1(u, v) = a + b \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right)$$

$$F_2(u, v) = a - b \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right)$$

$$\text{式中, } C(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u=0 \\ 1 & u=1, 2, \dots \end{cases}, \quad C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & v=0 \\ 1 & v=1, 2, \dots \end{cases}, C(u)、C(v) \text{ 是分别随 } u、v \text{ 变化的}$$

系数; $x、y$ 是空间坐标, x 取 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 y 取 $0 \sim N-1$ 之间的整数; a 是光场的平均光强、 b 是对比度, $a、b$ 取正; $u、v$ 分别表示光场横向、纵向的空间频率, u 为 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 v 为 $0 \sim N-1$ 之间的整数;

(2)每一空间频率 (u, v) 对应两个光场,这两个光场 $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$ 被投射到被探测目标物时,单像素探测器接收到相应光强信号的响应值并分别表示为 $D_1(u, v)$ 、 $D_2(u, v)$, $F(u, v)$ 表示对应于空间频率 (u, v) 的二维离散余弦变换的系数,根据公式:

$$F(u, v) = D_1(u, v) - D_2(u, v)$$

即获得被探测目标物图像对应于空间频率 (u, v) 的二维离散余弦变换的系数;

(3)根据以下公式对二维离散余弦变换的系数进行二维离散余弦逆变换,从而得到重建的图像,

$$I(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N}。$$

一种基于离散余弦变换的单像素快速主动成像系统

技术领域

[0001] 本发明涉及单像素主动成像领域,具体地,涉及使用基于离散余弦变换的单像素快速主动成像系统。

背景技术

[0002] 在成像系统中,根据有无照明光源,分为主动成像和被动成像两种成像方式。被动成像的主要特征在于成像系统本身不具备光源,成像系统收集目标物体本身的辐射光或其反射的环境光进行成像。主动成像是指采用人造光学辐射源对目标物体进行照明,并利用成像系统采集来自目标物体的部分辐射光进行成像。

[0003] 单像素相机于2006年由美国RICE大学的研究人员提出(参见文献1,Duarte M F, Davenport M A, Takhar D, et al. Single-pixel imaging via compressive sampling [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2008, 25 (2) : 83.), 是一种与传统成像技术有着本质不同的新型成像方法,有可能突破经典成像模型在一些特殊成像领域的局限性。它最大的特点是不需要大面积的CCD阵列,在接收系统仅具有一个像素的情况下即可成像。由于接收系统较为简单,单像素成像技术能够大大降低成像系统的规模、成本和复杂度,同时还适用于传统方法无法拍摄的非可见光领域,可见单像素相机是一种具有较大应用潜力新型成像技术。

[0004] 单像素成像技术是压缩感知技术(参见文献2、3、4, [2] Donoho D L. Compressed sensing [J]. Information Theory, IEEE Transactions on, 2006, 52 (4) : 1289-1306.; [3] Candès E J. Compressive sampling [C]. Proceedings of the international congress of mathematicians. 2006, 3: 1433-1452.; [4] Candès E J, Romberg J, Tao T. Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information [J]. Information Theory, IEEE Transactions on, 2006, 52 (2) : 489-509.) 在成像领域的重要应用。利用压缩采样原理,只需要单个像素的探测器就可以实现整幅图像的获取,大大降低了图像的存储和传输数据量,提高了成像灵活性。压缩感知的本质是对有用信息进行采集而抛弃无用信息,使得信号的采集效率更高,克服了奈奎斯特定律的限制,把信号压缩与采样合并进行,所要求的信号投影测量数据量远远小于传统采样方法所获的数据量。

[0005] 尽管对单像素成像技术的研究已经有近十年的研究,但其成像效果仍然不能尽如人意,远远低于目前传统光学成像系统的水平。传统的基于热光源的经典关联特性的单像素鬼成像技术利用激光束通过毛玻璃产生随机散斑光场,最近几年发展起来的单像素计算鬼成像技术利用计算机输入随机矩阵到数字微镜器件(DMD)产生随机散斑光场,但这两种方法产生的光场都不能用确定的数学函数解析表达,其图像重建算法基于相关统计数学模型上,而不具有严格解析表达的数学模型基础。这两种方法在重建具有较高质量的图像时需要目标物体进行多达几万次以上的测量,测量次数多,成像时间长。

[0006] 基于以上背景,本发明提出一种能够进行快速高质量成像的基于单像素探测器的

快速主动成像系统。

发明内容

[0007] 为了解决现有技术存在的上述问题,本发明提供了一种能够进行高质量成像的基于离散余弦变换的单像素快速主动成像系统,结构简单,无需任何扫描,能够避免成像环境中背景光的干扰,所利用的数据仅仅为被调制目标的光强信号,成像速度快,且能够在采集少量光强信号的情况下进行单像素成像。

[0008] 本发明的技术方案如下:基于离散余弦变换的单像素快速主动成像系统,包括光场生成模块(1)、光场投射器(2)、被探测目标物(3)、单像素探测器(4)、图像重建模块(5);其中:

[0009] 光场生成模块(1):生成两组光场信号,并输出到光场投射器,每一空间频率在两组光场信号中都有一个光场与之对应,即每一空间频率对应两个光场信号;

[0010] 光场投射器(2):根据接收到的两组光场信号将相应的两组光场投射到被探测目标物上;

[0011] 单像素探测器(4):接收被探测目标物的反射光信号,将光信号转换为电信号,得到对应每一空间频率的两个电信号,并将电信号输出到图像重建模块(5);

[0012] 图像重建模块(5):根据接收到的电信号重建图像,具体为:将对应同一空间频率的两个电信号相减,得到对应该空间频率的二维离散余弦变换的系数,对全部系数进行二维离散余弦逆变换,从而得到重建的图像。

[0013] 本发明的原理:通过光场投射器向被探测目标物投射两组光场,其光场的独特之处是由光场生成模块产生的基于二维离散余弦变换的二维余弦正交结构光场,利用单像素探测器采集由该光场调制被探测目标物后发出的光强信号来获得二维离散余弦变换频谱系数,在图像重建模块中利用二维离散余弦逆变换算法对目标物的像进行重建。

[0014] 将被探测目标物的像用一个大小为 $M \times N$ 像素的二维图像 $f(x, y)$ 表示,利用光场投射器分别向被探测目标物投射两组二维余弦正交结构光场,两组光场分别可以被表示为:

$$[0015] \quad F_1(u, v) = a + b \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right)$$

$$[0016] \quad F_2(u, v) = a - b \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right)$$

$$[0017] \quad \text{式中, } C(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u=0 \\ \frac{1}{2} & u=1, 2, \dots \end{cases}, \quad C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & v=0 \\ \frac{1}{2} & v=1, 2, \dots \end{cases}, \quad C(u)、C(v) \text{ 是分别随 } u、v \text{ 变}$$

化的系数,下同; $x、y$ 是空间坐标, x 取 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 y 取 $0 \sim N-1$ 之间的整数; a 是光场的平均光强、 b 是对比度, $a、b$ 取正; $u、v$ 分别表示光场横向、纵向的空间频率,其中 u 为 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 v 为 $0 \sim N-1$ 之间的整数。

[0018] 每一组空间频率 (u, v) 对应于两个余弦正交结构光场 $F_1(u, v)$ 和 $F_2(u, v)$,分别照射目标物体,用单像素探测器依次分别接收这两个来自目标物体的光强信号 $D_1(u, v)、D_2(u, v)$,则 $F(u, v) = D_1(u, v) - D_2(u, v)$ 即为被探测目标物对应于空间频率 (u, v) 下的二维离散余

弦变换系数。由于成像环境中存在背景光的干扰,将其视为加性噪声,并且在成像过程中为一常数 e ,则光强信号 $D_1(u, v)$ 、 $D_2(u, v)$ 中均含有背景光干扰 e ,经过公式 $F(u, v) = D_1(u, v) - D_2(u, v)$ 处理后,背景光干扰 e 被减去,所以本发明能够避免成像环境中背景光的干扰。由于单像素探测器无需任何扫描,能够大大提高采集信号的速度,也相应的节省了整个成像时间。

[0019] 将以上公式表示各个空间频率的光场依次照射目标物体,并依次采集记录单像素探测器的响应值,即可根据其响应值获得被探测目标物的离散余弦变换谱 $F(u, v)$,通过相应的算法依据公式:

$$[0020] \quad I(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N}$$

[0021] 对 $F(u, v)$ 进行二维离散余弦逆变换,重建目标物体的图像 $I(x, y)$ 。重建目标物体所使用的数据仅仅为单像素探测器采集到的光强信号,因此本发明能够大大减少实验数据的存储量,减轻了系统的存储、传输压力。

[0022] 本发明的理论依据如下:

[0023] 大小为 $M \times N$ 的二维图像的离散余弦变换和离散余弦逆变换分别由如下两式表示:

[0024]

$$F(u, v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (1)$$

[0025]

$$I(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (2)$$

[0026] 式中, $C(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & u=0 \\ 1 & u=1, 2, \dots \end{cases}$, $C(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & v=0 \\ 1 & v=1, 2, \dots \end{cases}$, $C(u)$ 、 $C(v)$ 是分别随 u 、 v 变

化的系数,下同; x 、 y 是空间坐标, x 取 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 y 取 $0 \sim N-1$ 之间的整数; u 、 v 是光场横向、纵向的空间频率,其中 u 为 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 v 为 $0 \sim N-1$ 之间的整数。其中, $f(x, y)$ 是被变换的二维图像, $F(u, v)$ 是对应于频率 (u, v) 的二维离散余弦变换系数, $I(x, y)$ 是经过二维离散余弦逆变换恢复出的图像。

[0027] 在二维离散余弦变换公式(1)中, $f(x, y)$ 的系数是一个含有正数、负数和零的二维矩阵。为了能够利用光场投射器投射出该矩阵所表示的图样,可以在该系数中引入了一个直流分量如下表示:

[0028]

$$F_1(u, v) = a + b \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right) \quad (3)$$

[0029]

$$F_2(u, v) = a - b \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right) \quad (4)$$

[0030] 式中: a 是直流分量,代表光场的平均光强,并且 a 大于 b ; b 是交流分量,代表光场的

对比度。

[0031] 可以看出,两组光场 $F_1(u, v)$ 、 $F_2(u, v)$ 分别代表两组频率相同的图样,但灰度信息正好相反。根据公式(3)、(4)可以推导出,二维图像的离散余弦变换系数可由下式得出:

$$[0032] \quad F(u, v) = (F_1(u, v) - F_2(u, v)) / (2 \cdot b) \quad (5)$$

[0033] 由于该系数与 $F(u, v) = D_1(u, v) - D_2(u, v)$ 则成一定的比例关系,并不影响实际计算,为了方便起见,可用该式代替(5)式得到离散余弦变换系数,将其代入离散余弦逆变换公式(2)即可恢复出原二维图样。

[0034] 本发明的优点在于:

[0035] (1) 本发明系统采用单像素探测器来获取信息,结构简单,探测灵敏度高,无需任何扫描,成像速度快,且能够避免成像环境中背景光的干扰。

[0036] (2) 本发明重建图像所利用的数据仅仅为目标的光强信号,极大地减小了系统的存储、传输压力,大大减小了成像时间。

[0037] (3) 离散余弦变换具有较好的“能量集中”特性,使得本发明能够在采集少量光强信号的情况下进行单像素成像。

附图说明

[0038] 图1是基于离散余弦变换的单像素快速主动成像系统原理图;

[0039] 图2是余弦正交图样的四组示例;

[0040] 图3是被探测目标物原图;

[0041] 图4是实施例1获得的目标物归一化后的二维余弦变换频谱;

[0042] 图5是实施例1重建的图像结果;

[0043] 图6是实施例1在较少投影次数的重建图像结果。

具体实施方式

[0044] 下面结合附图和实施例对本实用新型进一步说明。

[0045] 在图1中,光场投射器2将光场生成模块1生成的两组不同空间频率的余弦正交结构光场投射到目标物体3上,由单像素探测器4对光强信号进行采集并将数据传输到图像重建模块5中进行处理。

[0046] 图2是四组代表不同空间频率的投影示例。

[0047] 实施例1

[0048] 被探测目标物由二维离散化的像素表示,大小为一个 $M \times N$ 的矩阵。被探测目标物的二维离散余弦变换也由一个大小为 $M \times N$ 二维离散化的像素矩阵表示,其中每一个元素都是对应于特定空间频率 $F(u, v)$ 的离散余弦变换系数, u 为 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 v 为 $0 \sim N-1$ 之间的整数。光场投射器将每一个频率对应的两组余弦正交结构光场投射到被探测目标物上,单像素探测器接收到相应的光强信号,将两组信号相减得到探测目标物的二维离散余弦变换系数。利用二维离散余弦逆变换对所得到的二维离散余弦变换系数进行处理即可恢复出表示被探测目标物的二维离散化像素矩阵。

[0049] 利用本发明采用单像素探测器对一目标物进行主动成像。实验方案如图1所示。光场生成模块和图像重建模块为计算机,光场投射器为数字投影仪(BenQ MS513P),单像素探

测器为无透镜的面阵CCD (Basler acA1600-20um)。光场投射器将计算机产生的余弦正交结构光场(如图2所示)投射到被探测目标物上,数字投影仪与被探测目标物的距离(2m)与数字投影仪的焦距(2m)相等。余弦正交光场为 64×64 像素(即 $M=64, N=64$),像素位深为8,即灰度范围为0至255,光场的平均光强 a 为127.5,对比度 b 为127.5。 u, v 分别表示余弦正交结构光场横向和纵向的空间频率,其中 u 为 $0 \sim M-1$ 之间的整数、 v 为 $0 \sim N-1$ 之间的整数。被探测目标物也用 64×64 像素表示,目标物体的像素点坐标用 x, y ,表示, x 取 $0 \sim M-1$ 之间的整数, y 取 $0 \sim N-1$ 之间的整数。单像素探测器对目标物进行探测,所收集到的光强信息经USB接口传输到图像重建模块中。

[0050] 图像重建算法主要依据为公式:

$$[0051] \quad I(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u) C(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} F(u, v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N}$$

[0052] 单像素探测器采集到光强信号经过处理后,得到被探测目标图像的离散余弦变换系数(如图3所示)。经过计算机重建后的图像如图4所示。如上所述,在 u 取 $0 \sim 31$ 之间的整数、 v 为 $0 \sim 31$ 之间的整数情况下,将相应的二维离散余弦变换系数(系数总数占图3的25%,即投影总数是图3的25%)输入图像重建模块重建图像如图5所示,该图像的质量与图4相比有一定的下降。

[0053] 提供以上实施例仅仅是为了描述本发明的目的,而并非要限制本发明的范围。本发明的范围由所附权利要求限定。不脱离本发明的精神和原理而做出的各种等同替换和修改,均应涵盖在本发明的范围之内。

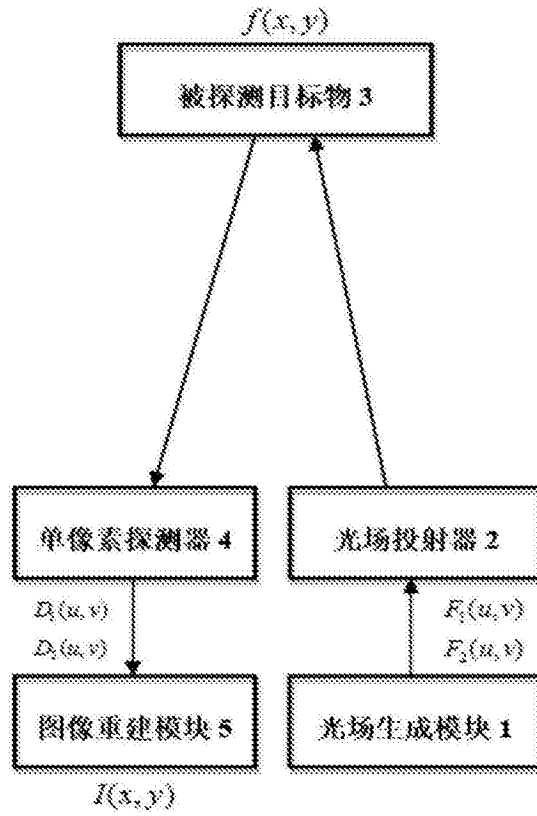


图1

| $F(u,v)$ | $F_1(u,v)$ | $F_2(u,v)$ |
|----------------------|------------|------------|
| $u = 2$ $v = 5$ | | |
| $u = 4$ $v = 5$ | | |
| $u = 9$ $v = 9$ | | |
| $u = 21$ $v = 14$ | | |

图2

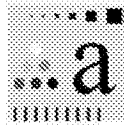


图3

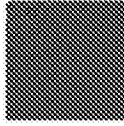


图4

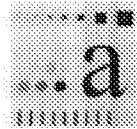


图5



图6