



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113050339 B

(45) 授权公告日 2022.05.27

(21) 申请号 202110272733.0

(22) 申请日 2021.03.13

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113050339 A

(43) 申请公布日 2021.06.29

(73) 专利权人 山东师范大学  
地址 250014 山东省济南市文化东路88号

(72) 发明人 刘永雷 陈亚红 王飞 余佳益  
梁春豪 蔡阳健

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

专利代理师 闫圣娟

(51) Int. Cl.  
G02F 2/00 (2006.01)  
H04B 10/548 (2013.01)

(56) 对比文件  
US 3697149 A, 1972.10.10

US 2005100344 A1, 2005.05.12

CN 112204902 A, 2021.01.08

JP 2019161246 A, 2019.09.19

CN 111665639 A, 2020.09.15

CN 111338091 A, 2020.06.26

CN 109407351 A, 2019.03.01

CN 106569369 A, 2017.04.19

CN 102255664 A, 2011.11.23

CN 111010239 A, 2020.04.14

卢兴园. 部分相干照明下的相位恢复方法及应用研究进展.《中国激光》.2020,

王飞. 部分相干光束经过湍流大气传输研究进展.《物理学报》.2018,

余佳益. 特殊关联结构部分相干光束大气传输研究进展.《量子电子学报》.2020,

卢芳. 高斯-谢尔模型阵列光束在湍流大气中的空间相干性.《红外与激光工程》.2015,

审查员 张卓宁

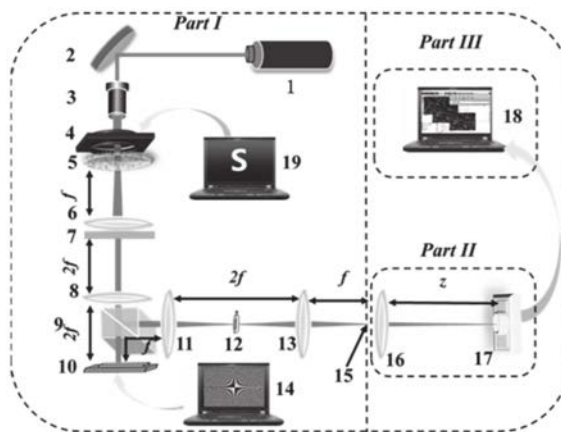
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于部分相干光束的信息编解码方法及装置

(57) 摘要

本公开提供了一种基于部分相干光束的信息编解码方法及装置,所述方案通过在加载信息后的相干结构中引入了一个交叉相位(CP: Cross-phase)结构,来对加载信息后的相干结构进行调控,然后进行远场传输,通过调控CP强度因子,远场被破坏或者演变后相干结构能够恢复到光源处的相干结构,最终在远场测量相干结构信息就等同于测量光源处的相干结构信息;在已知相干结构信息后进行信息解码实现将隐藏在光源处的相干结构中的信息进行恢复;所述方法及装置简单,能够方便快速的将物体信息进行隐藏,传输及高效的在远场解码恢复,大大提高了信息传输的有效性、可靠性和安全性。



1. 一种基于部分相干光束的信息编解码方法,其特征在于,包括:

获取待传输的物体信息,所述获取待传输的物体信息,包括以下步骤:利用激光发射器输出的激光通过反射镜到达扩束器;经扩束器扩束后的激光经空间光调制器加载物体图像信息全息片;

利用部分相干光束的相干结构对所述物体信息进行编码,所述利用部分相干光束的相干结构对所述物体信息进行编码,包括以下步骤:将加载有物体信息的激光照射到旋转的毛玻璃前表面,带有物体信息的光束穿过毛玻璃前表面,经过准直透镜和高斯振幅滤波片将物体信息加载到部分相干光束的相干结构里面,实现物体信息的编码;

在加载物体信息后的部分相干光束的相干结构中引入交叉相位结构,所述在加载物体信息后的部分相干光束的相干结构中引入交叉相位结构,包括以下步骤:将加载有物体信息的部分相干光束通过薄透镜成像到空间光调制器,通过空间光调制器将交叉相位结构引入到部分相干光束的相干结构中;

在部分相干光束的远场传输过程中,实时调控交叉相位因子,通过实时调控交叉相位因子,远场被破坏或者演变后的相干结构能够恢复到光源处的相干结构,最终在远场测量相干结构信息等同于测量光源处的相干结构信息,在已知相干结构信息后进行信息解码实现将隐藏在光源处的相干结构中的信息进行恢复;

测量远场获得的部分相干光束的相干结构信息,基于所述相干结构信息解码相干结构信息中隐藏的物体信息,所述解码过程为:通过强度关联后测量接收面的相干度的模,然后调用相位恢复算法进行解码,实现远场实现隐藏的物体信息的恢复。

2. 一种基于部分相干光束的信息编解码装置,其特征在于,包括激光发射器,所述激光器发射器发出的激光通过反射镜到达扩束器,经扩束器扩束后的激光通过第一空间光调制器加载物体信息,加载物体信息后的激光穿过旋转的毛玻璃,顺序经过准直透镜和高斯振幅滤波片产生加载物体信息的部分相干光束,所述部分相干光束通过薄透镜将部分相干光束成像到第二空间光调制器,其中,第二空间光调制器引入交叉相位结构到部分相干光束中;

经第二空间光调制器调制的部分相干光束经过透镜组到达光源面;到达光源面的部分相干光束通过薄透镜到达电荷耦合元件,通过所述电荷耦合元件获得拍摄的散斑,将所述散斑送入PC机进行相干度测量并进行解码获得隐藏的物体信息。

3. 如权利要求2所述的一种基于部分相干光束的信息编解码装置,其特征在于,所述透镜组包括第一薄透镜和第二薄透镜,所述第一薄透镜与第二薄透镜之间设置有用滤出一级衍射光斑的圆孔径。

4. 如权利要求2所述的一种基于部分相干光束的信息编解码装置,其特征在于,所述部分相干光束通过薄透镜将部分相干光束成像到第二空间光调制器,其中,高斯振幅滤波片到薄透镜 $L_2$ 及薄透镜 $L_2$ 到第二空间光调制器的距离均为2倍 $f$ , $f$ 为250mm。

5. 如权利要求2所述的一种基于部分相干光束的信息编解码装置,其特征在于,所述经第二空间光调制器调制的部分相干光束经过透镜组到达光源面,具体包括:反射的引入交叉相位结构的相干光束经过分束器,然后通过透镜 $L_3$ 和透镜 $L_4$ 组成的4倍 $f$ 光学系统到达光源面。

## 一种基于部分相干光束的信息编解码方法及装置

### 技术领域

[0001] 本公开属于信息编解码技术领域,尤其涉及一种基于部分相干光束的信息编解码方法及装置。

### 背景技术

[0002] 本部分的陈述仅仅是提供了与本公开相关的背景技术信息,不必然构成在先技术。

[0003] 严格来说自然界中的任何光场或多或少都伴随着随机涨落,这些光场被称作部分相干光场。对部分相干光束振幅、相位、偏振及相干结构等自由度调控可以控制及操控光束传输特性,以实现光束整形,光束自分裂,自聚焦,自重建等物理效应,并且能够降低复杂环境中湍流等介质引起的负面作用,在微粒操控,自由空间光通信,图像分辨增强,光成像等领域有着重要的应用。由于部分相干光场具有丰富的自由度及显示出来许多新奇的传输特性,近年来,对部分相干光场进行调控及应用研究受到了持续的研究与关注。研究发现,通过预设部分相干光束相干结构将物体信息编码到部分相干光束的相干结构中可以实现信息加密与解密。

[0004] 近年来,使用光束特性,包括光束振幅,相位,偏振及相干结等自由度,进行信息传输在多种应用领域受到了广泛的研究。然而发明人发现,由于光束衍射效应,光束经过自由空间衍射效应后,光束特性发生改变,信息存在丢失的风险,特别是经过复杂介质如大气湍流,随机散射甚至是障碍物遮挡给信息传输带来重大挑战。尽管近年来多种改进方案,如波前感知,自适应光学,深度学习等方案应用于信息传输,然而这些方案需要复杂的光学系统或者较长的处理时间。另外由于对相干结构这一新的自由度的广泛研究,目前研究人员已经提出了多种通过部分相干光束相干结构进行信息加密的方案,这些方法可以归纳为,通过Gori真实光束构建方案,物体信息与对应的编码相干结构构成一对傅里叶变换关系。通过测量光源相干结构,包括振幅和相位信息,就能够解密出被隐藏的物体信息。但上述加密方案仅仅加载到光束的相干结构中,在已知相干结构信息后进行解密的,信息并没有经过传输;将信息编码到相干结构并进行远场传输后,相干结构受到不可避免的光束衍射效应,相干结构受到了很大破坏,导致物体信息丢失。因此,使用经过远场传输以后的信息再进行解码被加载到相干结构中的物体信息受到了严重的挑战。同时,如果想要对物体信息编码到部分相干光束的相干结构中,进行远场传输后再进行解码,现有技术是无法实现的。

### 发明内容

[0005] 本公开为了解决上述问题,提供了一种基于部分相干光束的信息编解码方法及装置,所述方案利用部分相干光束的相干结构实现信息编码,通过在加载信息后的相干结构中引入了一个交叉相位(CP:Cross-phase)结构对加载信息后的相干结构进行调控,能够方便快速的将物体信息进行隐藏、传输,且在远场快速解码恢复,大大提高了信息传输的有效性、可靠性和安全性。

[0006] 根据本公开实施例的第一个方面,提供了一种基于部分相干光束的信息编解码方法,包括:

[0007] 获取待传输的物体信息,所述获取待传输的物体信息,包括以下步骤:利用激光发射器输出的激光通过反射镜到达扩束器;经扩束器扩束后的激光经空间光调制器加载物体图像信息全息片;

[0008] 利用部分相干光束的相干结构对所述物体信息进行编码,所述利用部分相干光束的相干结构对所述物体信息进行编码,包括以下步骤:将加载有物体信息的激光照射到旋转的毛玻璃前表面,带有物体信息的光束穿过毛玻璃前表面,经过准直透镜和高斯振幅滤波片将物体信息加载到部分相干光束的相干结构里面,实现物体信息的编码;

[0009] 在加载物体信息后的部分相干光束的相干结构中引入交叉相位结构,所述在加载物体信息后的部分相干光束的相干结构中引入交叉相位结构,包括以下步骤:将加载有物体信息的部分相干光束通过薄透镜成像到空间光调制器,通过空间光调制器将交叉相位结构引入到部分相干光束的相干结构中;

[0010] 在部分相干光束的远场传输过程中,实时调控交叉相位因子,通过实时调控交叉相位因子,远场被破坏或者演变后的相干结构能够恢复到光源处的相干结构,最终在远场测量相干结构信息等同于测量光源处的相干结构信息,在已知相干结构信息后进行信息解码实现将隐藏在光源处的相干结构中的信息进行恢复;

[0011] 测量远场获得的部分相干光束的相干结构信息,基于所述相干结构信息解码相干结构信息中隐藏的物体信息,所述解码过程为:通过强度关联后测量接收面的相干度的模,然后调用相位恢复算法进行解码,实现远场实现隐藏的物体信息的恢复。

[0012] 进一步的,通过实时调控CP强度因子,远场被破坏或者演变后的相干结构能够恢复到光源处的相干结构,最终在远场测量相干结构信息等同于测量光源处的相干结构信息,在已知相干结构信息后进行信息解码实现将隐藏在光源。

[0013] 根据本公开实施例的第二个方面,提供了一种基于部分相干光束的信息编解码装置,包括激光发射器,所述激光器发射器发出的激光通过反射镜到达扩束器,经扩束器扩束后的激光通过第一空间光调制器加载物体信息,加载物体信息后的激光穿过旋转的毛玻璃,顺序经过准直透镜和高斯振幅滤波片产生加载物体信息的部分相干光束,所述部分相干光束通过薄透镜将部分相干光束成像到第二空间光调制器,其中,第二空间光调制器引入交叉相位结构到部分相干光束中;

[0014] 经第二空间光调制器调制的部分相干光束经过透镜组到达光源面;到达光源面的部分相干光束通过薄透镜到达电荷耦合元件,通过所述电荷耦合元件获得拍摄的散斑,将所述散斑送入PC机进行相干度测量并进行解码获得隐藏的物体信息。

[0015] 进一步的,所述经第二空间光调制器调制的部分相干光束经过透镜组到达光源面,具体包括:反射的引入交叉相位结构的部分相干光束经过分束器,然后通过透镜 $L_3$ 和透镜 $L_4$ 组成的4倍f光学系统到达光源面。

[0016] 与现有技术相比,本公开的有益效果是:

[0017] 本公开所述方案利用部分相干光束的相干结构实现信息编码,通过在加载信息后的相干结构中引入了一个交叉相位(CP:Cross-phase)结构,对加载信息后的相干结构进行调控,然后进行远场传输,通过调控交叉相位因子,远场被破坏或者演变后相干结构能够恢

复到光源处的相干结构,最终在远场测量相干结构信息就等同于测量光源处的相干结构信息;在已知相干结构信息后进行信息解码实现将隐藏在光源处的相干结构中的信息进行恢复;所述方法及装置简单,能够方便快速的将物体信息进行隐藏,传输及高效的在远场解码恢复。大大提高了信息传输的有效性、可靠性和安全性。

[0018] 本公开附加方面的优点将在下面的描述中部分给出,部分将从下面的描述中变得明显,或通过本公开的实践了解到。

### 附图说明

[0019] 构成本公开的一部分的说明书附图用来提供对本公开的进一步理解,本公开的示意性实施例及其说明用于解释本公开,并不构成对本公开的不当限定。

[0020] 图1为本公开实施例二中所述的基于部分相干光束的信息编解码装置结构图;

[0021] 图2为本公开实施例二中所述的FPR算法示意图;

[0022] 1.532nm激光(Nd:YAG);2.反射镜;3.扩束器;4.第一空间光调制器(SLM1);5.旋转的毛玻璃(RGGD);6.薄透镜(L1);7.高斯振幅滤波片(GAF);8.薄透镜(L2);9.分束器(BS);10.第二空间光调制器(SLM2);11薄透镜(L3);12.圆孔径(CA);13.薄透镜(L4);14.电脑(PC1);15.光源面;16.薄透镜(L5);17.电荷耦合元件(CCD);18.电脑(PC2);19.电脑(PC3);

### 具体实施方式

[0023] 下面结合附图与实施例对本公开做进一步说明。

[0024] 应该指出,以下详细说明都是例示性的,旨在对本公开提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语具有与本公开所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

[0025] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本公开的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0026] 在不冲突的情况下,本公开中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0027] 实施例一:

[0028] 本实施例的目的是提供一种基于部分相干光束的信息编解码方法。

[0029] 一种基于部分相干光束的信息编解码方法包括:

[0030] 获取待传输的物体信息;

[0031] 利用部分相干光束的相干结构对所述物体信息进行编码;

[0032] 在加载物体信息后的部分相干光束的相干结构中引入交叉相位结构;

[0033] 在部分相干光束的远场传输过程中,实时调控交叉相位因子;

[0034] 测量远场获得的部分相干光束的相干结构信息,基于所述相干结构信息解码相干结构信息中隐藏的物体信息。

[0035] 具体的,为了便于理解,以下结合附图对本公开所述方案进行详细说明:

[0036] 本公开旨在利用部分相干光束的相干结构实现信息编码,通过对加载信息后的相干结构进行调控,即在加载信息后的相干结构中引入了一个交叉相位(CP:Cross-phase)结

构,然后进行远场传输,通过调控交叉相位因子,远场被破坏或者演变后相干结构能够恢复到光源处的相干结构,最终在远场测量相干结构信息就等同于测量光源处的相干结构信息。在已知相干结构信息后进行信息解码实现将隐藏在光源处的相干结构中的信息进行恢复。

[0037] (一) 基本原理

[0038] 首先,通过理论推导,光源处,一种谢尔模型的部分相干光束(SMPCBs)在引入交叉相位(CP)结构后的交叉谱密度(CSD)表示为:

$$[0039] \quad J_0(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \tau(\mathbf{r}_1) \tau^*(\mathbf{r}_2) \mu_0(\Delta \mathbf{r}) \exp[iu(x_1 y_1 - x_2 y_2)], \quad (1)$$

[0040] 其中,  $\mathbf{r}_i = (x_i, y_i)$ ,  $i=1, 2$  定义光源处的任意两个位置矢量,  $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2$  是光源面两个位置矢量差运算,  $\tau(\mathbf{r})$  是一复值函数,用来描述光强项  $I(\mathbf{r}) = |\tau(\mathbf{r})|^2$ ;  $\mu_0(\Delta \mathbf{r})$  定义部分相干光束的相干结构,最后一项  $\exp(iu x y)$  定义交叉相位结构(CP),  $u$  是CP结构强度因子。

[0041] 根据Gori真实构建部分相干光束的条件,光源处的交叉谱密度(CSD)可以表示为

$$[0042] \quad J_0(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \int P(v) H(\mathbf{r}_1, v) H(\mathbf{r}_2, v) d^2 v, \quad (2)$$

[0043] 其中,  $P(v)$  定义任意非负函数,  $H(\mathbf{r}, v)$  可以是任意函数。  $H(\mathbf{r}, v)$  表示为

$$[0044] \quad H(\mathbf{r}, v) = \exp\left[-\frac{\mathbf{r}^2}{4w_0^2}\right] \exp[-ik\mathbf{r} \cdot \mathbf{v}] \exp[-iuxy], \quad (3)$$

[0045] 其中,  $\lambda$  定义波长,  $k=2\pi/\lambda$  定义波数,由于光强项与我们的工作无关,  $\tau(\mathbf{r}) = \exp(-\mathbf{r}^2/4\omega_0^2)$  (光斑宽度  $\omega_0=1\text{mm}$ ) 在此不作考虑。因此相干结构与非负函数  $P(v)$  的关系表示为

$$[0046] \quad \mu_0(\Delta \mathbf{r}) = \text{FT}[P(v)] \quad (4)$$

[0047] 其中, FT 定义傅里叶变换运算;

[0048] 为了获得CP结构对SMPCB相干结构的调控影响,我们选取余弦高斯关联谢尔摸光束(CGCSM)作为实例进行解析表达式推导。

[0049] 在光源处,CGCSM的相干结构表示为

$$[0050] \quad \mu_0(\Delta \mathbf{r}) = \cos\left(\frac{n\sqrt{2\pi}\Delta x}{\delta_0}\right) \cos\left(\frac{n\sqrt{2\pi}\Delta y}{\delta_0}\right) \exp\left(-\frac{\Delta \mathbf{r}^2}{2\delta_0^2}\right), \quad (5)$$

[0051] 其中,  $n$  是光束阶数,  $\delta_0$  定义光束相干长度。在傍轴近似下,自由空间光束传输可以借助广义惠更斯-菲涅尔原理,表示为

$$J(\boldsymbol{\rho}_1, \boldsymbol{\rho}_2) = \frac{k^2}{4\pi^2 B^2} \exp\left[-\frac{ikD}{2B}(\boldsymbol{\rho}_1^2 - \boldsymbol{\rho}_2^2)\right] \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} J_0(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) \exp\left[-\frac{ikA}{2B}(\mathbf{r}_1^2 - \mathbf{r}_2^2)\right] \exp\left[\frac{ik}{B}(\mathbf{r}_1 \cdot \boldsymbol{\rho}_1 - \mathbf{r}_2 \cdot \boldsymbol{\rho}_2)\right] d\mathbf{r}_1 d\mathbf{r}_2$$

[0052]

(6)

[0053] 其中,  $\boldsymbol{\rho}_i = (\rho_{xi}, \rho_{yi})$ ,  $i=1, 2$  定义远场处的任意两个位置矢量,  $A, B$  和  $D$  为光学系统传输矩阵元。本实施例中的光学系统选择透镜聚焦系统,具体就是一焦距为  $f$  的聚焦透镜放置在光源面,并且假设透镜和接收面的距离为  $z$  ( $0 < z < f$ )。相应的该光学系统的矩阵元表示为

$$[0054] \quad \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-z/f & z \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

[0055] 带入Eq. (5) 进入Eq. (1) 然后再带入Eq. (6) 进行直接积分, 我们得到了光束传播到接收面处的CSD函数。

$$\begin{aligned}
 J(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) &= \frac{\sqrt{(1-h^2)k^2\alpha_0^2}}{2B^2C_1} \exp\left[\frac{ikD}{2B}(\mathbf{p}_1^2 - \mathbf{p}_2^2)\right] \exp\left[\frac{k^2\alpha_0^2}{2B^2}(\Delta\rho_x^2 + \Delta\rho_y^2)\right] \exp\left[\frac{k^2}{2B^2C_1}(\rho_{xy}^2 + \rho_{yx}^2 + 2h\rho_{yx}\rho_{xy})\right] \exp\left(-\frac{a^2}{C_1}\right) \\
 [0056] \quad &\times \left\{ \exp\left[\frac{iak}{BC_1}(\rho_{xy} + h\rho_{yx})\right] \cos\left[\frac{ak}{BC_1}(\rho_{yx} + h\rho_{xy}) + \frac{ia^2h}{C_1}\right] + \exp\left[-\frac{iak}{BC_1}(\rho_{xy} + h\rho_{yx})\right] \cos\left[\frac{ak}{BC_1}(\rho_{yx} + h\rho_{xy}) - \frac{ia^2h}{C_1}\right] \right\}.
 \end{aligned} \tag{8}$$

[0057] 其中,  $a = n\sqrt{2\pi}/\delta_0$ ,  $\Omega^2 = 1/4\omega_0^2 + 1/\delta_0^2$ ,  $h = 2Auk\omega_0^2/[B(\Omega^2 + \omega_0^2u^2 +$

[0058]  $A^2k^2\omega_0^2/B^2)]$ ,  $C_1 = (\Omega^2 + \omega_0^2u^2 + A^2k^2\omega_0^2/B^2)(1-h^2)$ ,

[0059]  $\rho_{xy} = i\rho_{sx} + A\omega_0^2k\Delta\rho_x/B - u\omega_0^2\Delta\rho_y$ ,

[0060]  $\rho_{yx} = i\rho_{sy} + A\omega_0^2k\Delta\rho_y/B - u\omega_0^2\Delta\rho_x$ 。

[0061] 如果光束传输到远场, 即透镜聚焦面, 其光学系统矩阵变为

$$[0062] \quad \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & f \\ -1/f & 1 \end{pmatrix}. \tag{9}$$

[0063] CSD函数可以进一步化简, 其相干结构退化为

$$[0064] \quad \mu_f(\Delta\rho) = \cos\left(\frac{n\sqrt{2\pi}\Delta\rho_x}{\delta_f}\right) \cos\left(\frac{n\sqrt{2\pi}\Delta\rho_y}{\delta_f}\right) \exp\left(-\frac{\Delta\rho^2}{2\delta_f^2}\right), \tag{10}$$

[0065] 其中  $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$  是远场处两个位置矢量差运算,  $\delta_f$  为带有CP结构的CGCSM光束在远场或焦平面处的相干长度, 表示为

$$[0066] \quad \delta_f = (fu/k)\delta_0, \tag{11}$$

[0067] 这里交叉相位因子需要满足下面的条件

$$[0068] \quad u > \max\left\{\sqrt{400\pi n^2/\delta_0^2 - \Omega^2}/\omega_0, \sqrt{10\Omega}/\omega_0\right\}, \tag{12}$$

[0069] 在满足条件Eq. (12) 条件下, 对比公式Eq. (10) 和Eq. (5), 我们得出远场相干结构与光源处的相干结构具有一致的表达形式。因此很好的说明了交叉相位因子在调控远场相干结构中伴有重要的角色。

[0070] 根据Gori构建真实光源的条件, 只需满足P为非负函数, 因此, 我们的结构不局限于CGCSM光束这一种情况, 相应的对任意满足P为非负的物体信息均成立。因此我们可以拓展到任意非负物体P的信息编码到部分相干结构进行传输与解码。

[0071] 为了在远场解码出隐藏在光源处的物体信息, 需要进行相干结构的测量。

[0072] 应用高斯矩理论, 远场处部分相干光束的相干结构可以从光场强度关联得到, 具体表示为

$$[0073] \quad |\gamma(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)| = \sqrt{g^2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) - 1}, \tag{13}$$

[0074] 其中  $g^2(\rho_1, \rho_2)$  为部分相干光束的强度关联, 表示为,

$$[0075] \quad g^2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = \frac{\langle I(\mathbf{p}_1)I(\mathbf{p}_2) \rangle}{\langle I(\mathbf{p}_1) \rangle \langle I(\mathbf{p}_2) \rangle}, \tag{14}$$

[0076] 其中,  $I(x, y)$  定义接收面的瞬时强度,  $\langle \rangle$  代表系综平均,

[0077] 然而, 通过上述方法测量的相干结构, 从 Eq. (13) 可以发现相干结构的所有相位信息都已经丢失了。因此只能获得相干结构的模。根据 Eq. (4) 从丢失相位信息的相干结构的模是恢复不出来隐藏在相干结构中的物体信息的。

[0078] 这里我们在已知远场相干度模的信息后, 采用 Fienup 相位恢复 (FPR) 算法迭代出相干结构的相位信息进而实现物体信息解码恢复。

[0079] 图2为相位恢复算法的具体流程, 所述算法起始于任意初始猜测物体  $P_1(x, y)$ , 然后进行四步运算, 在第  $k$  次迭代表示为

$$\begin{aligned}
 & \text{step1: } \mu_k(u, v) = FT\{P_k(x, y)\} \\
 & \text{step2: } \theta_k(u, v) = \arg\{\mu_k(u, v)\} \\
 & \text{step3: } \mu'_k(u, v) = |\mu_m| e^{i\theta_k(u, v)} \\
 & \text{step4: } P'_k(x, y) = IFT\{\mu'_k(u, v)\}.
 \end{aligned} \quad (15)$$

[0081] 其中,  $P_k(x, y)$  表示第  $k$  次迭代时的物体信息,  $FT$  代表傅里叶变换运算,  $IFT$  代表逆傅里叶变换运算,  $\mu_k$  表示第  $k$  次迭代的傅里叶频谱信息。  $\arg$  表示取相位运算。  $\theta_k$  表示第  $k$  次迭代时的傅里叶频谱相位信息,  $|\mu_m|$  表示测量得到的或者是已知的 DOC 的模,  $\mu'_k$  表示第  $k$  次迭代的新得到估计傅里叶频谱,  $P'_k$  表示第  $k$  次迭代的新得到估计物体。

[0082] 我们在第三步使用上述强度关联测量相干度的方法, 来得到 DOC 的模。算法判决条件要求物体是实值非负。在我们构建真实光源条件的情况下, 物体信息  $P$  是一实值非负函数是满足算法判决条件的。我们定义  $\Gamma$  为  $P_k(x, y)$  违背约束条件的点; 对违背约束的点我们首先采用混合输入输出算法处理违背约束的点, 表示为

$$P_{k+1}(x, y) = \begin{cases} P'_k(x, y) & \text{for } (x, y) \notin \Gamma \\ P'_k(x, y) - \beta P'_k(x, y) & \text{for } (x, y) \in \Gamma. \end{cases} \quad (16)$$

[0084] 其中,  $\beta$  是一反馈参数用来控制算法收敛特性, 当  $P_{k+1}(x, y)$  计算后, 他可以用作  $(k+1)^{\text{th}}$  迭代的起始点。算法在现代计算机进行单次迭代只需几微秒,

[0085] 另外, 接着采用错误减少方法来处理违背约束的点

$$P_{k+1}(x, y) = \begin{cases} P'_k(x, y) & \text{for } (x, y) \notin \Gamma \\ 0 & \text{for } (x, y) \in \Gamma \end{cases} \quad (17)$$

[0087] 在实际迭代运算中, 最佳的迭代参数可以选择为  $\beta$  以 0.05 为步长, 从 2 变化到 0。对每一个  $\beta$  值进行 10 迭代, 接着运行 100 错误减少算法来减少恢复信息背景噪声。

[0088] 通过计算恢复信息与已知物体信息的自关联的平方差, 可以用来监控算法的收敛水平。表示为

$$E_k^2 = \left[ |FT(P'_k)| - |FT(P)| \right]^2, \quad (18)$$

[0090] (二) 具体方案

[0091] 本公开所述方案包括三个部分, Part I 实现信息编码到相干结构里面, Part II 和 Part III 分别是实现信息传输, 数据处理 (包括相干结构测量及 FPR 算法恢复)。如图 1 所示, 首先一束波长 532nm 激光从 Nd:YAG 激光器发射, 通过反射镜 (M) 到达扩束器 (BE), 然后到达空间光调制器 1 (SLM1); SLM1 用于加载图像信息 “S” 的全息片, 然后照射到旋转的毛玻璃前



表面 (RGGD)。带有图像信息的光束穿过RGGD,经过一准直透镜 ( $L_1$ ) 和一高斯振幅滤波片 (GAF) 来实现物体信息加载到SMPCBs相干结构里面。产生的SMPCB通过一焦距为 $f$ 的薄透镜 ( $L_2$ ) 构成 $2f$ 成像系统将产生的带有隐藏图像信息的SMPCBs成像到空间光调制器2,其中GAF到 $L_2$ 和 $L_2$ 到SLM2距离都是 $2f$ 。我们通过SLM2引入CP到SMPCB。从SLM2,反射的带有CP结构的SMPCBs经过 (BS) 然后通过透镜 $L_3$ 和 $L_4$ 组成的 $4f$ 光学系统到达光源面,其中圆孔径用来滤出一级衍射光斑。通过控制SLM2上的全息片可以控制CP结构强度因子 $u$ 。

[0092] 第二部分,通过薄透镜 $L_5$ 可以测量任意位置 $z$ 处的相干度,相干度测量是通过CCD拍摄的散斑送入PC3。

[0093] 第三部分,通过强度关联后测量接收面的相干度的模,然后调用FPR算法。进行解码进而实现远场实现光源处相干结构隐藏的图像信息恢复。

[0094] 实施例二:

[0095] 本实施例的目的是一种基于部分相干光束的信息编解码装置。

[0096] 如图1所示,一种基于部分相干光束的信息编解码装置,包括激光发射器,所述激光器发射器发出的激光通过反射镜到达扩束器,经扩束器扩束后的激光通过第一空间光调制器加载物体信息,加载物体信息后的激光穿过旋转的毛玻璃,顺序经过准直透镜和高斯振幅滤波片产生加载物体信息的部分相干光束,所述部分相干光束通过薄透镜将部分相干光束成像到第二空间光调制器,其中,第二空间光调制器引入交叉相位结构到部分相干光束中;

[0097] 经第二空间光调制器调制的部分相干光束经过透镜组到达光源面;到达光源面的部分相干光束通过薄透镜到达电荷耦合元件,通过所述电荷耦合元件获得拍摄的散斑,将所述散斑送入PC机进行相干度测量并进行解码获得隐藏的物体信息。

[0098] 进一步的,所述透镜组包括第一薄透镜和第二薄透镜,所述第一薄透镜与第二薄透镜之间设置有用于滤出一级衍射光斑的圆孔径。

[0099] 进一步的,所述部分相干光束通过薄透镜将部分相干光束成像到第二空间光调制器,其中,高斯振幅滤波片到薄透镜 $L_2$ 及薄透镜 $L_2$ 到第二空间光调制器的距离均为 $2$ 倍 $f$ , $f$ 为 $250$ mm。

[0100] 进一步的,所述经第二空间光调制器调制的部分相干光束经过透镜组到达光源面,具体包括:反射的引入交叉相位结构的部分相干光束经过分束器,然后通过透镜 $L_3$ 和透镜 $L_4$ 组成的 $4$ 倍 $f$ 光学系统到达光源面。

[0101] 上述实施例提供了一种基于部分相干光束的信息编解码方法及装置可以实现,具有广阔的应用前景。

[0102] 以上所述仅为本公开的优选实施例而已,并不用于限制本公开,对于本领域的技术人员来说,本公开可以有各种更改和变化。凡在本公开的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本公开的保护范围之内。

[0103] 上述虽然结合附图对本公开的具体实施方式进行了描述,但并非对本公开保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本公开的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本公开的保护范围以内。

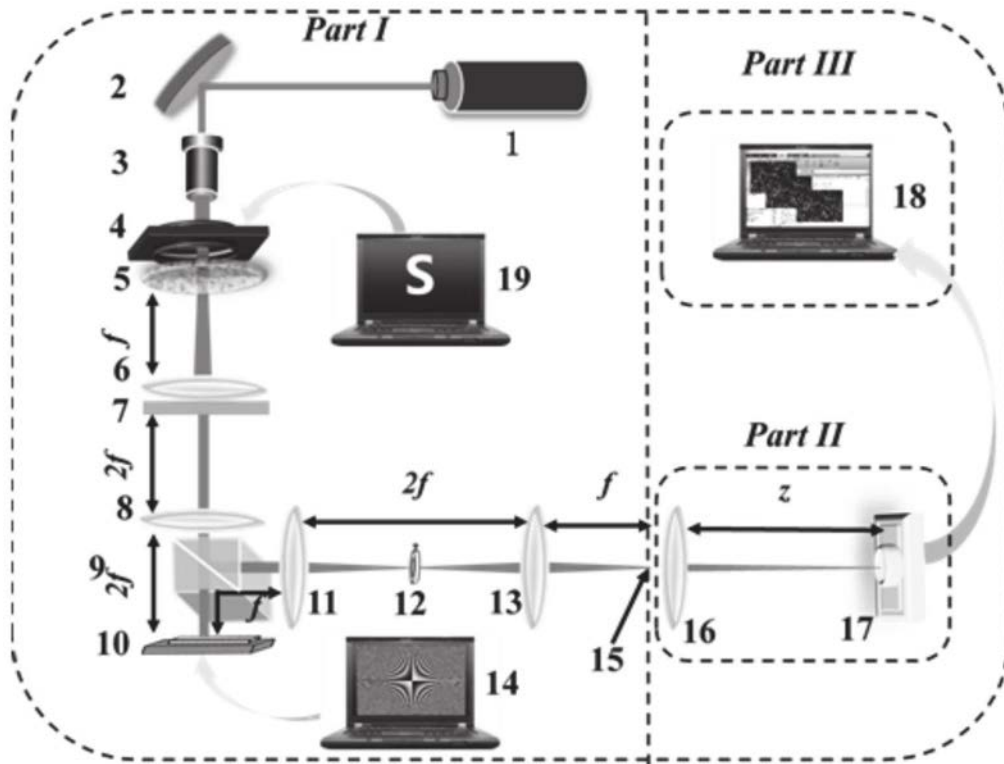


图1

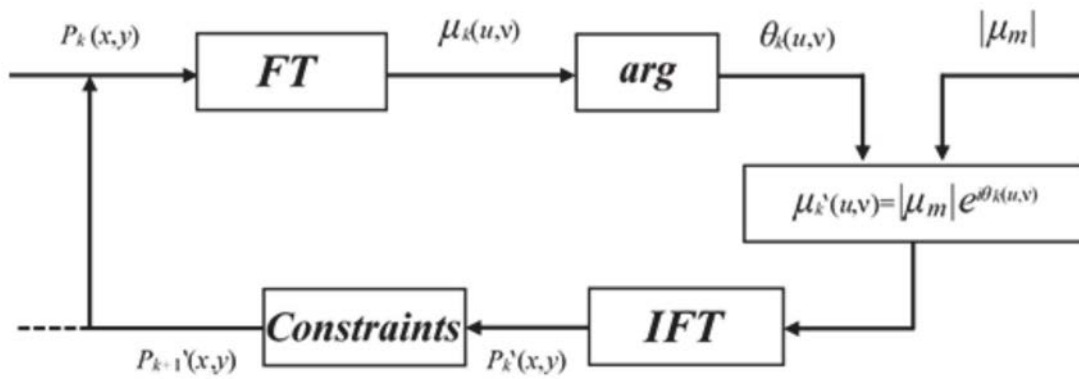


图2