

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102879098 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 16

(21) 申请号 201210360920. 5

(22) 申请日 2012. 09. 19

(71) 申请人 南京理工大学

地址 210094 江苏省南京市玄武区孝陵卫
200 号

(72) 发明人 李建欣 朱日宏 孟鑫 沈华
郭仁慧 马骏 陈磊 何勇
孙大旺 姚良涛 周伟 朱荣刚
王小锋

(74) 专利代理机构 南京理工大学专利中心
32203

代理人 朱显国

(51) Int. Cl.

G01J 3/45(2006. 01)

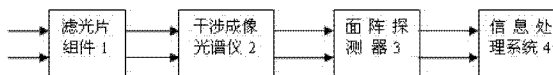
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

窄带高光谱的快速干涉成像方法及装置

(57) 摘要

一种窄带高光谱的快速干涉成像方法及装置, 本方法第一步, 根据探测波段和选用的带通滤光片计算出干涉成像光谱仪干涉信息的压缩采样频率; 第二步, 利用计算得到的采样频率对干涉信息进行压缩采样; 第三步, 对压缩采样后的干涉信息进行傅里叶变换, 获取目标探测波段内的光谱信息。本装置利用该方法对窄带波段目标进行成像光谱探测, 包括共轴设置的滤光片组件, 干涉成像光谱仪、面阵探测器和与之连接的信号处理系统。本发明解决了现有干涉高光谱成像装置在探测窄带波段时存在的计算冗余的问题, 可以实现窄带波段的快速干涉成像光谱探测。



1. 一种窄带高光谱的快速干涉成像方法分为以下几步,其特征在于:

1) 根据探测波段 $\sigma_L \sim \sigma_R$ 和选用的带通滤光片计算出干涉成像光谱仪干涉信息的压缩采样频率 σ_{cs} ;

设目标共有 N 个非重叠的窄带光谱 $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2 \cdots \Delta\sigma_N$, 且满足:

$$\sigma_{L1} < \sigma_{R1} \leq \sigma_{L2} < \sigma_{R2} \cdots \leq \sigma_{LN} < \sigma_{RN}$$

上式中, σ_{Ln} 为第 n 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的低波数点; σ_{Rn} 为第 n 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的高波数点, 其中 $n=1, 2, \cdots, N$; 对干涉信息进行对偶化延拓处理后, 复原光谱信息的一个周期内存在 $2N$ 个光谱谱段; 各个探测谱段边沿光谱值从左往右依次命名如下:

$$\begin{aligned} \sigma_{1L} &= -\sigma_{RN}, \sigma_{1R} = -\sigma_{LN}; \\ \sigma_{2L} &= -\sigma_{R(N-1)}, \sigma_{2R} = -\sigma_{L(N-1)}; \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$\sigma_{2NL} = -\sigma_{LN}, \sigma_{2NR} = -\sigma_{RN};$$

上式中, σ_{xL} 为 $2N$ 个光谱谱段中从左往右数第 x 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的低波数点; σ_{xR} 为第 x 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的高波数点, 其中 $x=1, 2, \cdots, 2N$; 为准确复原 N 个窄带光谱信息, 要保证 $2N$ 个谱段经过平移后两两不重叠, 即由于 $2N$ 个谱段为中心对称分布, 只需要满足 $N+(N-1)+\cdots+1+N(N-1)/2$ 个不等式; 其中前 $N+(N-1)+\cdots+1$ 个不等式保证中心对称线两侧谱段不出现重叠, 后面的 $N(N-1)/2$ 个不等式保证中心线同一侧的谱段不出现重叠; 共有 N^2 个不等式, 简化表达式如下:

$$\frac{\sigma_{qR} - \sigma_{pL}}{n_{qp} + 1} \leq \sigma_{cs} \leq \frac{\sigma_{qL} - \sigma_{pR}}{n_{qp}} \quad (1)$$

其中,

$$0 \leq n_{qp} \leq \left(\frac{\sigma_{qL} - \sigma_{pR}}{\sigma_{sm}} \right)$$

$$\sigma_{sm} = \sum_{p=1}^N \Delta\sigma_p$$

$$p=1, 2, \cdots, N$$

$$q=p+1, p+2, \cdots, 2N-p+1$$

其中 σ_{sm} 为探测光谱波段带宽之和, 由上式中 N^2 个约束不等式可得到压缩采样频率 σ_{cs} 的取值范围, 选取其中的波数为采样频率, 配以符合要求的多带通窄带滤光片, 可对多个非重叠窄带光谱的干涉信息进行压缩采样; 在给定探测光谱的范围, 由公式 1 可得到干涉信息的压缩采样频率 σ_{cs} ;

2) 利用压缩采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样;

利用压缩采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样, 采样后的干涉信息为:

$$I_{cd} = I_D(\Delta) \cdot \sum \delta(\Delta - m \delta \Delta) \quad (2)$$

上式中 I_{cd} 为压缩采样后的干涉信息; $I_D(\Delta)$ 为按照 Nyquist 定理采样得到的干涉信息; $\delta(\Delta)$ 为克隆尼克函数; Δ 为光程差; m 为压缩采样倍数, $m = \sigma_s / \sigma_{cs}$, 其中 σ_s 为 Nyquist 采样频率;

3) 对压缩采样后的干涉信息进行傅里叶变换, 获取目标在探测波段内的光谱信息; 干涉信息和光谱信息之间存在傅里叶变换对的关系, 即:

$$I(\Delta) = FT^{-1}[B(\sigma)] \quad (3)$$

$$B(\sigma) = FT[I(\Delta)]$$

上式中, FT 、 FT^{-1} 分别表示傅里叶变换及傅里叶逆变换, $B(\sigma)$ 为目标物点的光谱信息, $I(\Delta)$ 为采集的干涉信息, σ 为波数, 其中 $\sigma = 1/\lambda$;

压缩采样后复原的光谱信息满足:

$$B_p(\sigma) = DFT[I_{cd}] \quad (4)$$

上式中, DFT 表示离散傅里叶变换。

2. 根据权利要求 1 所述的一种窄带高光谱的快速干涉成像方法, 其特征在于: 按照采样频率 σ_{cs} 对干涉成像光谱仪获取的干涉信息进行等间隔采样, 其它位置的数据置 0。

3. 根据权利要求 1 所述的一种窄带高光谱的快速干涉成像方法, 其特征在于: 为避免产生新的相位误差, 按照采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样后干涉信息中包含干涉光强幅度最大值点。

4. 一种窄带高光谱的快速干涉成像装置, 该装置包括滤光片组件(1)、干涉成像光谱仪(2)、面阵探测器(3)和信号处理系统(4), 其特征在于: 干涉成像光谱仪(2)位于滤光片组件(1)和面阵探测器(3)之间, 面阵探测器(3)与信号处理系统(4)相连; 探测目标发射或者反射的光通过滤光片组件(1)消除杂散光后进入干涉成像光谱仪(2), 引入干涉信息; 随后从干涉成像光谱仪 2 出来的光被面阵探测器(3)接收, 得到带有光谱信息和目标二维空间图像信息的干涉信息; 接收到的干涉信息在经过信号处理系统(4), 按照由公式 4 计算得到的采样频率对干涉信息进行压缩采样, 对压缩采样后的干涉信息进行傅里叶变换处理, 复原探测波段的光谱信息。

5. 根据权利要求 4 所述的一种窄带高光谱的快速干涉成像装置, 其特征在于: 滤光片组件(1)中的带通滤光片需要满足在探测波段 $\sigma_L \sim \sigma_R$ 内光谱透过率值大于等于 t_m 。

6. 根据权利要求 4 所述的一种窄带高光谱的快速干涉成像装置, 其特征在于: 根据探测环境的不同干涉成像光谱仪(2)可以选用时间调制型、空间调制型或者时空调制型干涉成像光谱仪。

7. 根据权利要求 4 所述的窄带高光谱的快速干涉成像装置, 其特征在于: 信号处理系统(4)利用采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样, 复原探测窄带波段内的光谱信息。

8. 根据权利要求 4 所述的窄带高光谱的快速干涉成像装置, 其特征在于: 滤光片组件(1)、干涉成像光谱仪(2)、面阵探测器(3)共轴设置。

窄带高光谱的快速干涉成像方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学探测目标方法及装置,特别是一种能够快速同时获得目标空间二维图像信息和目标各点光谱信息的新的窄带高光谱的快速干涉成像方法及装置。

背景技术

[0002] 干涉成像光谱技术是上世纪 80 年代发展起来的新型探测技术,利用干涉信息与光谱信息之间的傅里叶变换关系来复原目标的光谱信息,并且获取目标的二维空间信息。

[0003] 在军事侦察、农产品检验、污染物监测等领域需要探测目标窄带(探测谱段的最大波数与最小波数之差远小于中心波数)谱段内的高光谱成像信息。利用干涉成像光谱仪对目标进行窄带高光谱成像探测具有高光通量、高光谱分辨率、高目标分辨率等优点。

[0004] 在数据处理过程中要对干涉信息进行采样,目前普遍使用的采样方法是按照 Nyquist 定理对干涉信息进行采样,该方法可以复原从零频到最大探测波数的光谱。但当探测谱段为窄带光谱时,低于最小探测波数的复原光谱都是无用信息,这导致后期傅里叶变换的数据量的增加,进而影响光谱的复原效率。此外,对于像面干涉成像光谱仪,冗余数据不但会增加探测时间和数据量,而且增加对存储设备、传输设备等硬件的要求。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种窄带高光谱的快速干涉成像方法及装置,对干涉成像光谱仪获取的干涉信息进行压缩采样,实现窄带干涉高光谱的快速探测,以解决干涉高光谱成像方法在探测窄带波段光谱时存在的计算数据冗余的问题。

[0006] 技术方案

[0007] 为了达到上述发明目的,本发明采用以下方法及装置予以实现。

[0008] 窄带高光谱的快速干涉成像方法及装置。

[0009] 第一步,根据探测波段 $\sigma_L \sim \sigma_R$ 和选用的带通滤光片计算出干涉成像光谱仪干涉信息的压缩采样频率 σ_{cs} 。

[0010] 第二步,利用压缩采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样。

[0011] 第三步,对压缩采样后的干涉信息进行傅里叶变换,获取目标在探测波段内的光谱信息。

[0012] 该装置利用该方法对窄带波段目标进行成像光谱探测,包括共轴设置的滤光组件(1)、干涉成像光谱仪(2)、面阵探测器(3),面阵探测器(3)与信号获取与处理系统(4)相连接。

[0013] 发明效果

[0014] 本发明的窄带高光谱的快速干涉成像方法及装置与现有其他方法相比,优势在于:

[0015] 1、具备干涉成像光谱技术的优点:

[0016] (1)、面阵探测器之前器件为全光器件,无声光、电光调制、方法简单实用。

- [0017] (2)、采用该发明方法的探测装置内无任何运动部件。
 [0018] (3)、具有高目标分辨率、高通量、多通道的优点。
 [0019] 2、能够对窄波段的光谱信号进行快速探测,提高干涉成像光谱探测的效率。

附图说明

- [0020] 图 1 为实现本发明方法的装置结构示意图
 [0021] 图 2 为利用本发明方法及装置对窄波段光谱探测的结果,探测波段为两个不重合窄波段。

具体实施方式

- [0022] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步说明。
 [0023] 窄带高光谱的快速干涉成像方法主要包括以下几个过程：
 [0024] 1、根据探测波段 $\sigma_L \sim \sigma_R$ 和选用的带通滤光片计算出干涉成像光谱仪干涉信息的压缩采样频率 σ_{cs} 。
 [0025] 设目标共有 N ($1, 2, 3, \dots$) 个非重叠的窄带光谱 $\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2 \dots \Delta\sigma_N$, 且满足：
 [0026] $\sigma_{L1} < \sigma_{R1} \leq \sigma_{L2} < \sigma_{R2} \dots \leq \sigma_{LN} < \sigma_{RN}$
 [0027] 上式中, σ_{Ln} 为第 n 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的低波数点; σ_{Rn} 为第 n 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的高波数点 ($n=1, 2, \dots, N$); 对干涉信息进行对偶化延拓处理后, 复原光谱信息的一个周期内存在 $2N$ 个光谱谱段。各个探测谱段边沿光谱值从左往右依次命名如下：

$$[0028] \quad \sigma_{1L} = -\sigma_{RN}, \sigma_{1R} = -\sigma_{LN};$$

$$[0029] \quad \sigma_{2L} = -\sigma_{R(N-1)}, \sigma_{2R} = -\sigma_{L(N1)};$$

[0030] .

[0031] .

[0032] .

$$[0033] \quad \sigma_{2NL} = -\sigma_{LN}, \sigma_{2NR} = -\sigma_{RN};$$

- [0034] 上式中, σ_{xL} 为 $2N$ 个光谱谱段中从左往右数第 x 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的低波数点; σ_{xR} 为第 x 个谱段 $\Delta\sigma_n$ 的高波数点 ($x=1, 2, \dots, 2N$)。为准确复原 N 个窄带光谱信息, 要保证 $2N$ 个谱段经过平移后两两不重叠, 即由于 $2N$ 个谱段为中心对称分布, 只需要满足 $N+(N-1)+\dots+1+N(N-1)/2$ 个不等式; 其中前 $N+(N-1)+\dots+1$ 个不等式保证中心对称线两侧谱段不出现重叠, 后面的 $N(N-1)/2$ 个不等式保证中心线同一侧的谱段不出现重叠。共有 N^2 个不等式, 简化表达式如下：

$$[0035] \quad \frac{\sigma_{qR} - \sigma_{pL}}{n_{qp} + 1} \leq \sigma_{cs} \leq \frac{\sigma_{qL} - \sigma_{pR}}{n_{qp}} \quad (1)$$

[0036] 其中,

$$[0037] \quad 0 \leq n_{qp} \leq \left(\frac{\sigma_{qL} - \sigma_{pR}}{\sigma_{sm}} \right)$$

$$[0038] \quad \sigma_{sm} = \sum_{p=1}^N \Delta\sigma_p$$

[0039] $p=1, 2, \dots, N$

[0040] $q=p+1, p+2, \dots, 2N-p+1$

[0041] 其中 σ_{sm} 为探测光谱波段带宽之和,由上式中 N^2 个约束不等式可得到压缩采样频率 σ_{cs} 的取值范围,选取其中的波数为采样频率,配以符合要求的多带通窄带滤光片,可对多个非重叠窄带光谱的干涉信息进行压缩采样。

[0042] 给定探测光谱的范围,由公式(1)可得到干涉信息的压缩采样频率 σ_{cs} 。

[0043] 2、利用压缩采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样。

[0044] 利用压缩采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样,相当于对按照 Nyquist 采样定理采样的离散干涉信息进行等间隔采样,其它位置的数据置 0。为避免产生新的相位误差,压缩采样后的干涉信息要包含干涉光强幅度最大的点。采样后的干涉信息为:

$$[0045] \quad I_{cd} = I_D(\Delta) \cdot \sum \delta(\Delta - m \delta \Delta) \quad (2)$$

[0046] 上式中 I_{cd} 为压缩采样后的干涉信息; $I_D(\Delta)$ 为按照 Nyquist 定理采样得到的干涉信息; $\delta(\Delta)$ 为克隆尼克(Kronecher)函数; Δ 为光程差; m 为压缩采样倍数, $m = \sigma_s / \sigma_{cs}$, 其中 σ_s 为 Nyquist 采样频率。

[0047] 3、对压缩采样后的干涉信息进行傅里叶变换,获取目标在探测波段内的光谱信息 $B_p(\sigma)$ 。

[0048] 干涉信息和光谱信息之间存在傅里叶变换对的关系,即:

$$[0049] \quad I(\Delta) = FT^{-1}[B(\sigma)] \quad (3)$$

$$[0050] \quad B(\sigma) = FT[I(\Delta)]$$

[0051] 上式中, FT 、 FT^{-1} 分别表示傅里叶变换及傅里叶逆变换, $B(\sigma)$ 为目标物点的光谱信息, $I(\Delta)$ 为采集的干涉信息, σ 为波数($\sigma = 1/\lambda$)。

[0052] 压缩采样后复原的光谱信息满足:

$$[0053] \quad B_p(\sigma) = DFT[I_{cd}] \quad (4)$$

[0054] 上式中, DFT 表示离散傅里叶变换。

[0055] 结合图 1,本发明方法的实现装置,包括共轴设置的滤光片组件 1、干涉成像光谱仪 2、面阵探测器 3 和信号处理系统 4。干涉成像光谱仪 2 位于滤光片组件 1 和面阵探测器 3 之间,面阵探测器 3 与信号处理系统 4 相连。探测目标发出的光束依次通过滤光片组件 1、干涉成像光谱仪 2、面阵探测器 3,面阵探测器 3 将收集到的光信号转变为电信号后进入信息处理系统 4,信息处理系统 4 完成对电信号的处理。

[0056] 滤光片组件 1 中的带通滤光片需要满足在探测波段 $\sigma_L \sim \sigma_R$ 内光谱透过率值大于等于 t_m 。

[0057] 干涉成像光谱仪 2 可以选用时间调制型、空间调制型或者时空调制型干涉成像光谱仪。

[0058] 信号处理系统 4 利用由(4)式确定的采样频率 σ_{cs} 对干涉信息进行压缩采样,复原探测窄带波段内的光谱信息。

[0059] 本发明方法实现装置的探测步骤为:探测目标发射或者反射的光通过滤光片组件 1 消除杂散光后进入干涉成像光谱仪 2,引入干涉信息。随后从干涉成像光谱仪 2 出来的光被面阵探测器 3 接收,得到带有光谱信息和目标二维空间图像信息的干涉信息。接收到的干涉信息在经过信号处理系统 4,按照由(4)式计算得到的采样频率对干涉信息进行压缩采样,对压缩采样后的干涉信息进行傅里叶变换处理,复原探测波段的光谱信息。

[0060] 结合图 2 所示的应用实例,对本发明作进一步说明。

[0061] 所测两个窄带光谱探测谱段分别为 $1150\sim 1250\text{mm}^{-1}$ 、 $2450\sim 2550\text{mm}^{-1}$,利用公式(1)计算得到的压缩采样频率为 $500\sim 514.2\text{mm}^{-1}$ 。

[0062] 以 512mm^{-1} 波数对目标干涉信息进行采样,复原的光谱如图 2 所示。

[0063] 图中曲线表示压缩采样后复原的光谱,加粗曲线表示目标光谱。在探测谱段内复原光谱与模拟光谱的相似度 $R=0.999$,表明利用本文提出的方法对两个非重叠窄带光谱的干涉信息进行采样,复原光谱具有较高的精确度。

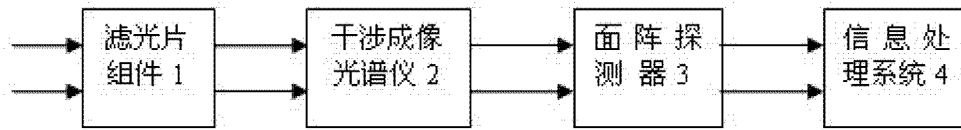


图 1

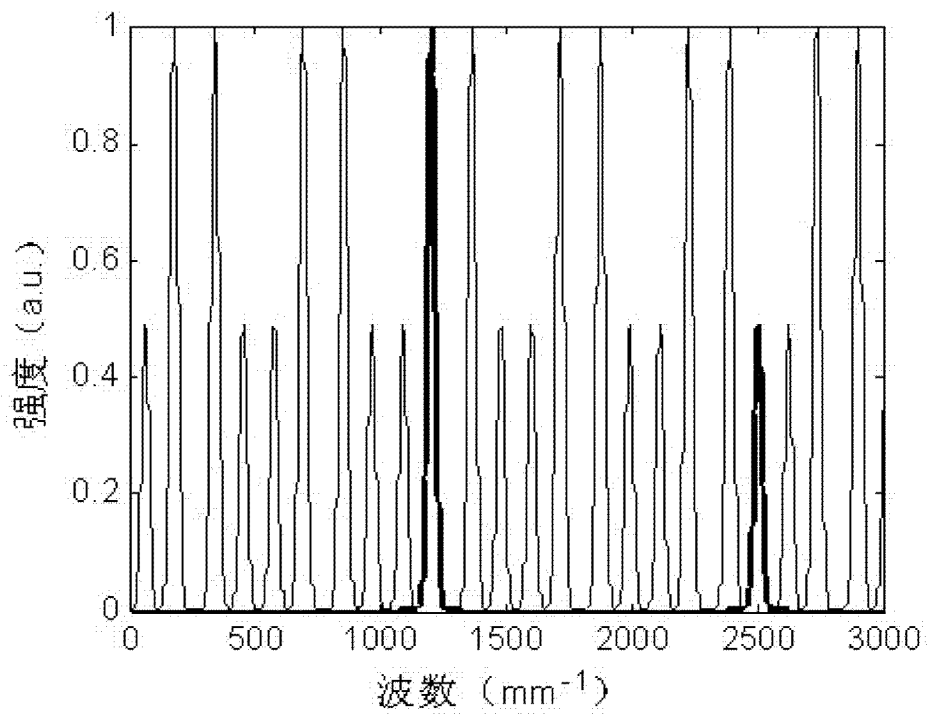


图 2