



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103314276 B

(45)授权公告日 2016.08.10

(21)申请号 201080070059.8

(22)申请日 2010.12.22

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2013.05.09

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2010/070585 2010.12.22

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02012/084040 EN 2012.06.28

(73)专利权人 奥姆尼森股份公司  
地址 瑞士莫尔日

(72)发明人 塞巴斯蒂安·佛罗奇

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 谢顺星 张晶

(51)Int.Cl.

G01D 5/353(2006.01)

G01L 1/24(2006.01)

G01K 11/32(2006.01)

(56)对比文件

CN 101852627 A,2010.10.06,

CN 101476948 A,2009.07.08,

EP 0887624 A2,1998.12.30,

US 2010/0014071 A1,2010.06.21,

JP 特开2007-33183 A,2007.02.08,

审查员 王先泉

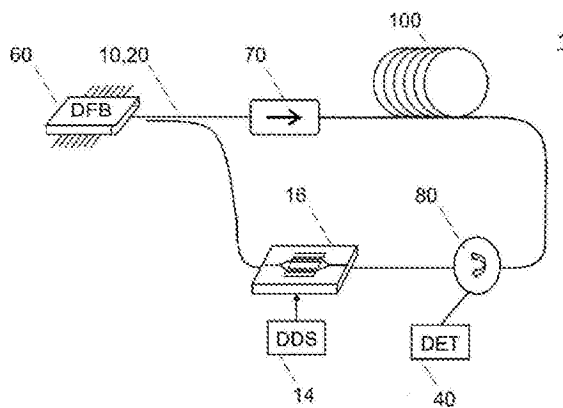
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54)发明名称

布里渊光电测量方法和设备

(57)摘要

本发明涉及一种布里渊光电测量方法,该方法包括在光纤(100)中提供信号(s1)的步骤,其中,所述信号(s1)是时间-频率编码的。时间-频率编码的信号可以是光学泵频信号,其包括码字序列,每个码字包括至少两个光脉冲,码字的每个光脉冲示出不同的频率。本发明还涉及一种在这样的方法中使用的对应装置。



1. 一种布里渊光电测量方法,所述方法包括:

对信号进行时间-频率编码以提供时间-频率编码的第一信号(S1),所述时间-频率编码的第一信号(S1)包括至少两个码字,每个码字包括至少两个脉冲或两个码字母,码字的每个码字母或脉冲结合不同的频率;

在光纤(100)中提供所述时间-频率编码的第一信号(S1);

响应于所述时间-频率编码的第一信号(S1)测量所述光纤。

2. 如权利要求1所述的布里渊光电测量方法,其还包括下述步骤:

-限定至少两个码字,每个码字包括至少两个码字母,码字的每个码字母结合不同的频率,

-使用所限定的至少两个码字构建编码矩阵(S),

-使用所述编码矩阵(S)对所述信号进行时间-频率编码,

-测量响应于所述信号的光纤,

-构建所述编码矩阵(S)的逆矩阵( $S^{-1}$ ),

-基于所述测量和所述逆矩阵,对所述光纤响应进行解码。

3. 如权利要求1所述的布里渊光电测量方法,还包括:若所述信号(s1)包括两个或多个波长,则对所述两个或多个波长中的每一个进行时间-频率编码。

4. 如权利要求1所述的布里渊光电测量方法,所述方法还包括以下步骤:

-在沿着光纤的第一方向上传输时间-频率编码的第一信号(s1),

-在沿着光纤的第二方向上传输第二信号(s2),使得所述时间-频率编码的第一信号(s1)和所述第二信号在光纤内相互作用,且形成组合信号,

-在一个或多个探测点探测光纤,以测量所述组合信号,以便测量受激布里渊效应。

5. 如权利要求1所述的布里渊光电测量方法,所述方法还包括以下步骤:

在沿着光纤的第一方向上传输时间-频率编码的第一信号(s1),

在一个或多个探测点探测光纤(100),以测量向后散射信号,以便测量受激布里渊效应。

6. 如权利要求4所述的方法,所述方法还包括下述步骤:基于所测量的组合信号的一个或多个特征确定光纤中的不规则性。

7. 一种适合用在布里渊光电测量方法中的光电测量装置,所述装置包括:当在布里渊光电测量方法中实施时,用于对第一信号(s1)进行时间-频率编码的装置以便使所述信号包括至少两个码字,每个码字包括至少两个脉冲或两个码字母,码字的每个码字母或脉冲结合不同的频率;传输器,其适用于在光纤(100)中提供时间-频率编码的第一信号(s1);以及测量装置,其配置为响应于所述时间-频率编码的第一信号(S1)测量所述光纤。

8. 如权利要求7所述的光电测量装置,其还包括:

-计算装置,其适用于限定至少两个码字,每个码字包括至少两个码字母,码字的每个码字母结合不同的频率,所述计算装置还适用于使用所限定的至少两个码字构建编码矩阵(S),并且适用于计算所述编码矩阵(S)的逆矩阵( $S^{-1}$ );

-频率发生器,其适用于通过使用所述编码矩阵(S)对所述第一信号进行时间-频率编码;

-传输器,其适用于在基于布里渊效应的光学系统的光纤中提供所述时间-频率编码的

第一信号(s1);

- 测量装置,其适用于测量响应所述时间-频率编码的第一信号(s1)的光纤;
- 解码器,其适用于基于所述测量和所述逆矩阵( $S^{-1}$ )对所述光纤响应进行解码。

9.如权利要求8所述的光电测量装置,其特征在于,所述频率发生器设置成用于对包括两个或更多波长的信号的所述两个或更多波长中的每一个进行时间-频率编码。

10.如权利要求7所述的光电测量装置,其特征在于,所述光电测量装置适于用在受激布里渊光电测量方法中,所述装置还包括:

传输器,其适用于在沿着光纤的第一方向上传输时间-频率编码的第一信号(s1);

传输器,其适用于在沿着光纤的第二方向上传输第二信号(s2),使得所述时间-频率编码的第一信号(s1)和所述第二信号在光纤内相互作用,且形成组合信号;

适用于在一个或多个探测点探测光纤以测量组合信号的装置。

11.如权利要求7所述的光电测量装置,其特征在于,所述光电测量装置适于用在自发布里渊光电测量方法中,所述装置还包括:

传输器(60,14,16),其适用于在沿着光纤(100)的第一方向上传输时间-频率编码的第一信号(s1);

探测器(40),其适用于在一个或多个探测点探测光纤(100),以测量向后散射的信号。

12.如权利要求8所述的光电测量装置,其特征在于,所述频率发生器被布置为以等于码字母的持续时间的速率改变频率。

13.如权利要求12所述的光电测量装置,其特征在于,所述持续时间为纳秒级。

14.如权利要求7所述的光电测量装置,其包括:

-光源(60),其设置成提供第一信号;

-频率发生器,其设置成对所述第一信号进行时间-频率编码以提供时间-频率编码的第一信号(s1),所述频率发生器包括电光调制器(16)和直接数字合成器(14);

-光纤(100),其设置成接收所述时间-频率编码的第一信号(s1);

-循环器(80)和光探测器(40),其设置成测量由所述时间-频率编码的第一信号(s1)在光纤(100)中生成的向后辐射信号。

15.如权利要求14所述的光电测量装置,其还包括:

-光学信号处理器(10),其设置成从光源(60)接收光;

-光学滤波路由(20),其设置成接收由光学信号处理器(10)输出的信号。

16.如权利要求14所述的光电测量装置,其还包括选自以下组中的至少一个:在光纤(100)中的光纤布拉格光栅;A/D数字处理装置,其设置成接收用于测量光纤(100)中向后辐射的探测器的输出;混合器,其设置成将所述时间-频率编码的第一信号(s1)射入所述光纤(100)。

## 布里渊光电测量方法和设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种光电测量方法和装置。特别地,但不限制地,本发明涉及一种光电测量方法和装置,其可以用于监测工程结构的物理特性。

### 背景技术

[0002] 在很多应用领域中,如管道、电力电缆或海底,已知使用测量设备连续监测结构和/或功能参数。测量设备也可用于土木工程方面,且特别用在大尺寸结构的建筑领域中。

[0003] 测量设备通常用于控制各结构随时间的温度或应变趋势,即,由应力导致的各个结构的变形或伸长的几何测量,和限定沿着各个结构纤维的拉伸或压缩量。更详细地,这些测量设备适用于给出局部自然信息,且因此作为时间函数,其可用于监测与待监测的工程结构的多个部分和/或部件相关的温度或应变,且提供该结构的裂缝、地层移动、变形等方面的信息。

[0004] 在用于监测工程或建筑结构的状态的测量设备中,基于光纤的光电装置具有很大的意义。特别地,这些设备通常包括电子测量装置,设置有光纤探头,其通常为几十千米的量级。使用中,光纤稳定地联接至工程结构的部分或部件,且保持基本接触,所述结构的各物理参数应被监测。例如,该光纤可沿油管的管延伸,或其可以嵌入建筑物的混凝土柱中,使得其可以被用于显示这些结构的应变或者温度的局部趋势。换句话说,这些光电装置包括光纤传感器,即,使用光纤作为传感元件的传感器。光纤传感器可以是:

[0005] 一点传感器,其中,仅沿着光纤的一个位置对温度和/或应变敏感;

[0006] 一准分布式传感器或多路复用传感器,其中,一些点传感器通过光纤相互连接,且通过使用针对每个传感器的光的不同波长沿着光纤的长度多路复用;或

[0007] 一分布式或完全分布式传感器,其中,光纤为长的非中断线性传感器。

[0008] 这些基于光纤的测量仪器可根据其适于测量的物理量和用于测量这些物理量的物理原理被分成各种类型。

[0009] 当已知为泵(pump)的,波长为 $\lambda_0$ (或频率为 $\nu_0=c/\lambda_0$ ,其中, $c$ 是光速)的强光脉冲,通过光纤传播时,由于光纤内的局部非均质性,少量的入射功率散射在每个方向上。若光纤为单模纤维(SMF),即,光纤仅设计用于携带单一光线(模式),则仅涉及向前和向后的散射,因为在其他方向上散射的光不被引导。向后散射是特别有益的,因为其传播回光纤端部,在该处激光被初始射入到光纤中。

[0010] 散射过程源于材料杂质(瑞利散射),热激发的声波(布里渊散射),或原子或分子振动(拉曼散射)。

[0011] 分布式传感技术依赖于在沿着光纤的不同位置处产生的向后散射信号的分析。

[0012] 一瑞利散射是光脉冲与材料杂质的相互作用。其是石英纤维中的三个向后散射信号中最大的,且具有跟入射光相同的波长。瑞利散射是光时域反射计(OTDR)背后的物理原理。

[0013] 一布里渊散射是光脉冲与热激发的声波(也称为声热子)的相互作用。声波通过弹

性效应,轻微地、局部地且周期性地改变折射率。相应的运动光栅反射回少量的入射光,且由于多普勒效应使其频率(或波长)频变。该频变取决于光纤中的声速,同时,其符号取决于行进的声波的传播方向。因此,在入射光附近的两个不同的频率处产生布里渊散射,称为斯托克斯分量和反斯托克斯分量。在石英纤维中,布里渊频率在10GHz的范围中(在1550nm波长范围中的0.1nm)频变,且取决于温度和应变。

[0014] 拉曼散射是光脉冲与热激发的原子或分子振动(光频声子)的相互作用,且在强度方面是三个向后散射信号中的最小的。拉曼散射呈现在石英纤维中的典型为13THz的大频率频变,对应于1550nm波长下的100nm。拉曼反斯托克斯分量取决于温度,其中,斯托克斯分量对温度几乎不敏感。

[0015] 图1示意性地示出当激光射入光纤中时,在沿着光纤的每个点处产生的向后散射光的频谱。在对应于单模激光波长的波长 $\lambda_0$ 处,较高峰值为瑞利峰值,其源于材料的杂质。所谓的斯托克斯分量和所谓的反斯托克斯分量分别为瑞利峰值右侧和左侧的峰值。反斯托克斯拉曼峰值源于原子或分子的振动,具有取决于温度T的振幅。斯托克斯和反斯托克斯布里渊峰值由热激发的声波产生,具有取决于温度T和应变 $\epsilon$ 的频率。

[0016] 布里渊频变(相对于原始激光的波长位置)是光纤材料的固有物理特性,且提供了关于由光纤经受的应变和温度分布的重要信息。

[0017] 布里渊向后散射光的频率信息可被用于测量沿着光纤的局部温度或应变信息。标准的或特定的单模远程通信光纤或电缆可被用作为传感单元。测量局部温度或应变的技术被称为基于频率的技术,因为温度或应变信息包括在布里渊频率频变中。基于频率的技术固有地比任何基于强度的技术更可靠和更稳定,其基于拉曼效应,其对于衰减的频变、损耗和振动敏感。因此,基于布里渊的技术提供长期稳定性且大程度抗衰减。此外,布里渊散射必须满足非常严格的相位条件,使得相互作用表现为光谱窄共振,导致精确的测量。将光脉冲传播进入光纤且测量向后散射信号的这个过程称为自发布里渊散射(SPBS):其是导致低强度散射的光的弱处理。

[0018] 该布里渊散射过程的特性在于,除了称为泵的产生散射的第一光学信号外,其由称为探头的第二光学信号激励,假定该探头满足特定条件。该特性尤其对于传感应用有益,且可以通过使用相对于泵反向传播的探头而实现。当泵和探头频率(或波长)由布里渊频变精确分开时,最大化激励。在此情况下,从泵传输至探头(或反之亦然,取决于所选择的斯托克斯/反斯托克斯向后散射信号)的能量导致很大增强的向后散射强度,且因此导致更大的信号噪声比(SNR)。这被认为是谐振现象,其中,当满足谐振条件时,即,当泵与探头之间的频率差匹配局部布里渊频率时,以泵为代价发生探头功率的放大

[0019] 在已知的解决方案中,泵由一个或几个纳秒长的光学脉冲构成,且如将讨论的,探头由连续波-CW光构成。

[0020] 基于受激布里渊向后散射(SBS)的光电测量装置已知为布里渊光学时域分析仪或BOTDA,不同于基于自发布里渊散射(SPBS)的布里渊光时域反射计(BODTR)。

[0021] 基于BOTDA的光电测量装置通常执行频域分析和时域分析。

[0022] 频域分析:在布里渊频率频变中对温度/应变信息进行编码。相对于泵扫描探头,同时监测向后散射信号的强度,允许发现布里渊增益峰值,且由此发现对应的布里渊频变,从该布里渊频变可以计算出温度或应变。

[0023] 这可以通过使用两个光源实现,即,激光器或信号光源,通过激光器或信号光源产生泵频信号和探头信号。在此情况下,光调制器(典型地,远程通信部件)用于以受控的方式扫描探头频率。

[0024] 一、时域分析:由于泵的脉冲性,泵/探头的相互作用在不同时间在沿着光纤的不同位置处发生。对于任何给定的位置,探头信号与泵相互作用的部分在等于两倍于从光纤输入至特定位置的行进时间的时间延迟后达到检测器。因此,相对于时间监测向后散射强度,同时已知光在光纤中的速度,则提供关于发生散射的位置的信息。

[0025] 基于BOTDA的典型商业光电测量装置利用1m的空间分辨率(等效于30000不同的独立传感器)测量30km的光纤上的温度/应变。温度方面的分辨率典型小于1K。该限制由光纤线性损耗且存在的其它非线性效应给定,其它非线性效应屏蔽禁止功率增加以弥补该损耗的相互作用。

[0026] 然而,提供具有100KM量程以及米级空间分辨率的光电测量装置是重要的。提出的解决方案中的大部分是不满足的,因为它们需要复杂的远程供电硬件,这不是吸引人的解决方案。

[0027] 使用脉冲序列的智能编码可以提高信号噪声比,而保留所有其他测量特征(测量时间、空间分辨率和温度精度)。利用标准光纤损耗,这已经对应于在50km光纤上的测量温度/应变。该示例基于称为SIMPLEX的编码,通常用在工程的其他领域中。实施这样的编码不要求改变装置的硬件,仅改变驱动该装置的软件和大量增加计算,使得其可以被看成以非常低的附加成本的升级。然而,SIMPLEX码是有效的,若其由“归零”(RZ)信号构成,“归零”(RZ)信号比限制其实用性的“非归零”(NRZ)信号更加难以管理。

[0028] 为了改进所需信号的信号噪声比,已知强度编码在基于SBS的技术中使用的第一和第二电磁辐射信号。然而,这样的编码不能提供令人满意的解决方案,因为所需信号的信号噪声比仍未明显提高。因此,对温度和变形所实施测量的空间分辨率和精度仍然是显著折衷的。

[0029] W010058438A描述了一种测量光电设备,其用于基于受激布里渊散射监测结构的物理特性。在此情况下,该设备包括光源,用于发射沿着光纤在相反的方向上传播的第一和第二辐射。该设备基于时间编码信号(Simplex)。

[0030] GB2243210涉及分布式光纤传感器,其使用受激布里渊向后散射(SBS),来测量温度,应变和影响光向后散射的频率或相位或振幅的任何外部参数。

[0031] FR2710150涉及一种用于测量布里渊散射的装置,其设计用于产生在光纤的一端射入的泵频信号和测试信号。在光纤中的布里渊散射的值允许确定光纤外的物理参数。该文献仅描述了信号时间编码。

[0032] EP0887624涉及光纤扭曲测量系统(即,装置和方法),其用来测量被测量光纤,该系统通过交替地连接布里渊频移彼此不同的两种光纤被构造。这里,该系统顺序地向被测量光纤提供光脉冲,同时改变它们的光频,使得布里渊向后散射光束从被测量光纤输出。起初,该系统向非扭曲状态的被测量光纤提供具有预定光频的光脉冲,使得设备产生初始数据,该初始数据表示从被测量光纤输出的布里渊向后散射光的光强与时间相关的变量;然后,该系统测量与时间相关的变量的波形,该波形表示从提供有预定光频的光脉冲的被测量光纤输出的布里渊向后散射光的光强。通过将被测量的与时间相关的波形与初始数据进

行比较,该系统确定是否在被测量光纤中发生扭曲。此后,该系统根据布里渊频移之间的关系区分扭曲的种类对应于扩张或紧缩,其在被测量的与时间有关变量的波形上关于检测点和它的相邻点被分别计算。

[0033] US2010/014071的频率扫描光时域反射计技术包括在多个光载波频率发射多个询问脉冲到光纤中。作为在发射脉冲和检测反向散射信号间的时间的函数,针对每一个询问脉冲,检测瑞利反向散射信号。可以检查在每一个光频的时间分辨的瑞利反向散射信号从而确定沿着光纤长度的物理参数的分布。

[0034] 因此,鉴于以上描述,用于同时测量工程或建筑结构的局部温度或局部应变随时间变化的可用光电测量方法和设备的问题是,其当前以不令人满意的方式解决,且其对于本申请人来说是有趣的挑战,本申请人的目的为提供一种测量设备,其同时是有效的、经济的且可靠的。

[0035] 需要改进光电测量的效率,对应于增大具有已知空间分辨率的量程,或换言之,保持该量程和增大空间分辨率。

[0036] 本发明的目的在于,消除或减轻上述缺点中的一个或多个。

## 发明内容

[0037] 根据本发明的第一方面,提出布里渊光电测量方法,该方法包括在光纤中提供信号的步骤,其中,所述信号是时间-频率编码的。

[0038] 在一个实施例中,时间频率编码的信号可以由两个或更多个波长构成,每一个都是时间频率编码的。

[0039] 根据本发明的方法适用于BOTDA系统以及BOTDR系统。在这两种情况下,时间-频率编码的信号是泵频信号。在BOTAD系统中,探头信号不是时间-频率编码。

[0040] 在本文中“时间-频率编码的”信号表示包括码字序列的信号,每个码字包括至少两个脉冲或码字母,码字的每个脉冲或码字母表示不同频率。

[0041] 事实上,每个码字母是脉冲信号,具有振幅、频率和时距。振幅可以是零或固定值,在下文中标准化为1;频率对于每个脉冲是不同的,如将描述的;并且在一个优选实施例中,时距是纳秒级的。包括至少两个码字母的码字不必须是“归零”(RZ)信号。

[0042] 根据一个实施例,根据本发明的方法还包括以下步骤:

[0043] -限定至少两个码字,每个码字包括至少两个码字母,码字的每个码字母结合不同的频率;

[0044] -使用所限定的至少两个码字构建编码矩阵S;

[0045] -使用所述编码矩阵S对信号进行时间-频率编码;

[0046] -基于布里渊效应(BOTDA和BOTDR)在光学系统的光纤中提供所述信号;

[0047] -测量响应所述信号的光纤,构建对应的所测量的矩阵S';

[0048] -构建所述编码矩阵(S)的逆矩阵( $S^{-1}$ );

[0049] -基于所述测量和所述逆矩阵,对所述光纤响应进行解码。

[0050] 因为用在光电测量方法中的泵频信号是时间-频率编码的,其相对于未编码或强度编码的信号更容易区别噪声;因此实现了更高的信号噪声比。由于更高的信号噪声比,实现了改进的空间分辨率,并且增加了在其上可以测量和监测温度或应力条件的距离。

[0051] 有利地,在没有增加采集时间且具有最小硬件支出的情况下,实现了改进的信号噪声比。

[0052] 有利地,根据本发明的方法最小化温度/应力测量中的可能频变。此外,由于编码频率的宽范围,相对于单频率编码,即,Simplex编码,允许更低的信号损耗。

[0053] 此外,相比于已知解决方案,码字的长度L越长,编码增益越高。如将讨论的,因为矩阵S呈现对称性,即,一些子矩阵M的旋转,该对称性允许在解码之后最小化噪声。

[0054] 根据一个实施例,适用于设置成测量受激布里渊效应(BOTDA)的光学系统的根据本发明的方法,还包括以下步骤:

[0055] -在沿着光纤的第一方向上传输第一信号,其中,所述第一信号是时间-频率编码的信号;

[0056] -在沿着光纤的第二方向上传输第二信号,使得第一和第二信号在光纤内相互作用,形成组合信号;

[0057] -在一个或多个探测点探测光纤,以测量该组合信号。

[0058] 根据另一个实施例,适用于设置成测量自发布里渊效应(BOTDR)的光学系统的根据本发明的方法,还包括以下步骤:

[0059] -在沿着光纤的第一方向上传输第一信号,其中,所述第一信号是时间-频率编码的信号,

[0060] -在一个或多个探测点探测光纤,以测量该向后辐射信号。

[0061] 根据本发明的方法,可以基于所测量的组合信号的一个或多个特征确定光纤中的不规则性。通过探测光纤,可以测量组合信号的时间编码的信号分量和频率编码的信号分量。然后,基于测量的频率编码的信号分量确定共振条件。

[0062] 本发明还涉及一种光电测量装置,其适于用在布里渊光电测量方法中,该装置包括:当在布里渊光电测量方法中实施时,用于对被提供在光纤中的信号进行时间-频率编码的装置。

[0063] 根据本发明的装置包括频率发生器,其适用于使用从限定至少两个码字开始构建的编码矩阵S对信号进行时间-频率编码,每个码字包括至少两个码字母,码字的每一个码字母结合不同的频率。

[0064] 在一个实施例中,频率发生器被布置用于以等于码字母的持续时间的速率改变频率,其可以是纳秒级的。

[0065] 有利地,根据本发明的装置典型地允许具有已知量程(50km)的1m的空间分辨率,或直至具有已知空间分辨率(5m)的100km量程。

[0066] 所述方法的空间分辨率取决于码字母的时长,所述码字母形成时间-频率编码的信号。

## 附图说明

[0067] 现在,参照附图,仅通过示例的方式描述本发明的一个实施例,其中:

[0068] 图1示出射入单模光纤中的光的向后散射光分量的视图。

[0069] 图2是示出光纤的示意图,其中,使用根据本发明的光电测量装置实施根据本发明的光电测量方法,适用于BOTDA。



- [0070] 图3是示出根据本发明的光电测量装置的一个示例的示意图,其适用于BOTDA。
- [0071] 图4是示出根据本发明的光电测量装置的一个示例的示意图,其适用于BOTDR。
- [0072] 图5是具有长度 $L=5$ 的编码的可能码字的一个示例。
- [0073] 图6是图5所示的第一码字的一个示例。
- [0074] 图7是从图5所示的码字开始构建的编码矩阵5的一个示例。
- [0075] 图8为流程图,示出使用根据本发明的光电测量装置测量光纤的温度和应变变化时所涉及的步骤。

### 具体实施方式

- [0076] 图2示意性地示出光纤100,其中,使用根据本发明的光电测量装置1实施根据本发明的光电测量方法。
- [0077] 图2涉及BOTDA。然而,根据本发明的方法和装置不限制于BOTDA,也可以用于BOTDR,且通常用于基于布里渊效应的任何光学系统。
- [0078] 装置1包括光源,例如激光器,其在确定的波长下运行,例如1550nm。接着是光学信号处理器10,其被布置成产生是时间-频率编码的第一信号 $s_1$ 或泵,以及第二信号 $s_2$ 或探头。在另一实施例中,两个光源,例如两个激光器,分别产生 $s_1$ 和 $s_2$ 。
- [0079] 波分复用(WDM)滤波器20分开 $s_1$ 和 $s_2$ 。在一个优选实施例中,两个 $1 \times N$ 开关30可管理 $N$ 个通道,其中, $N$ 是大于1(例如2)的整数。
- [0080] 在一个实施例中,光纤100包括两个光纤—返回光纤和传感光纤—通过连接器或通过编结而相互连接,每个光纤连接至每个开关30的通道 $ch_1$ 或 $ch_2$ 。
- [0081] 光探测器(PD)40被布置用于测量作为时间函数的向后散射探头信号 $s_2'$ ,其由快速A/D数字处理器50数字化且处理。
- [0082] 在一个优选实施例中,光源为激光DFB(分布反馈)。
- [0083] 光学信号处理器10可允许对第一信号 $s_1$ 或泵进行时间-频率编码。光电测量装置可包括频率发生器,其适用于使用编码矩阵 $S$ 对所述信号进行时间-频率编码。
- [0084] 在一个实施例中,频率发生器可包括:作为光源的DFB激光器60,由RF源驱动的电光调制器(EOM)16,混合器,以及直接数字合成器14(DDS);该DDS可连接至用于处理所述码字的FPGA。
- [0085] 调制器16可被偏置从而在抑制载波方案中运行,使得在通过使用例如光纤布拉格光栅(FBG)抑制更高或更低的边频带之后,取决于布里渊损耗/增益设置调制的更低或更高的边频带可用作为泵频信号 $s_1$ 。在一个实施例中,放大器,例如掺饵光纤放大器(EDFA),可用于放大 $s_1$ 。
- [0086] 来自相同光源60的光用于合成第二信号 $s_2$ 或探头。该装置可包括绝缘体(70),其用于允许仅在一个方向上传输第二信号 $s_2$ 。光学循环器80允许管理 $s_1$ 和 $s_2$ 的方向。
- [0087] 光电测量装置可包括测量装置,其用于测量响应所述信号的光纤。该测量装置可以是光探测器(PD)40,其被布置用于探测作为时间函数的向后散射探头信号 $s_2'$ 。
- [0088] FPGA或DDS为计算装置的示例,其适用于限定至少两个码字或序列,每个码字包括至少两个码字母,码字的每一个码字母可结合不同的频率,且用于通过使用所限定的至少两个码字构建编码矩阵 $S$ 。

[0089] 图3示出根据本发明的BOTDA系统的简化示例。本发明也可用于如图4所示的BOTDR系统。根据本发明的该实施例,测量装置包括:光源60,由RF源驱动的电光调制器(EOM)16,混合器,以及直接数字合成器14(DDS),该DDS被布置成将时间-频率编码的信号(s1)射入光纤100,如上所述。光学循环器80和光检测器(PD)40被布置成,测量在光纤100中由自发布里渊向后散射产生的向后散射信号。

[0090] 时间-频率码字的长度“L”,即,其码字母的数量,等于可用于时间-频率编码的信号的频率数量。在一个优选实施例中,L是素数(prime number)。在另一个实施例中,这些频率中的一个可最多两次出现在码字中。

[0091] 在一个优选实施例中,每个码字包括与矩阵S的零相等的频率结合的至少一个码字母,该零对应于布里渊增益为零的频率:换言之,与在每个码字中使用的矩阵S的不同于零的频率结合的码字母的数量等于L-1。该零的存在对矩阵S求逆是非常有用的,然后计算 $S^{-1}$ 。

[0092] 每个码字母为脉冲信号,具有振幅、频率和时距。该振幅可以是零或固定值,在下文中标准化为1;频率对于每个脉冲是不同的;以及在一个优选实施例中,时距是纳秒级的。包括至少两个码字母的码字不必须是“归零”(RZ)信号。“非归零”(NRZ)信号比RZ信号容易管理。

[0093] 图5是具有长度L=5编码的可能码字或序列的示例。表达式“Pos[1],Pos[2],...,Pos[5]”表示形成码字的码字母或脉冲的时间位置,用于给出时间级别。特别地,Pos[5]时间上在Pos[4]之后,Pos[4]时间上在Pos[3]之后,等等。

[0094] 若采取图5所示的表的第一行,将获取图6所示的第一码字,其由五个码字母构成:

[0095] -在Pos[1]有对应于频率f1的第一码字母;

[0096] -在Pos[2]有对应于频率f2的第二码字母;

[0097] -在Pos[3]有对应于频率f4的第三码字母;

[0098] -在Pos[4]有对应于频率f2的第四码字母;

[0099] -在Pos[5]有对应于布里渊增益为0的第五码字母。

[0100] 时间-频率码字的长度“L”(在此情况下L=5),即,其码字母的数量,等于频率(f1至f5)的数量,其可以用于时间-频率编码的信号。在此情况下,这些频率中的一个可最多两次出现在码字中。例如,在图6的码字中,频率f2出现两次,即在Pos[2]和Pos[4]处。

[0101] 每个码字包括结合对应于零布里渊增益的频率的至少一个码字母。该零的存在用于对矩阵S求逆,且然后计算 $S^{-1}$ 。

[0102] 通过以下述方式垂直旋转每个时间位置Pos[1]至Pos[4]的频率获取在图5的行2至5处的码字,即,每个码字2至5包括具有相同频率的最多两个码字。例如,关于Pos[1],列C1,第一码字在该位置具有频率f1,第二码字在该位置具有频率f2,第三码字在该位置具有频率f3,第四码字在该位置具有频率f4并且第五码字在该位置具有频率f5。

[0103] 通过旋转列C1以及在图5中所示的后续列从码字1至5获取后续的码字6至10。相同的情况适用于码字11至15,等等。

[0104] 图7为从图5的码字开始构建的编码矩阵S的一个示例。

[0105] 有利地,编码矩阵S包括 $L \times L$ 个不同的子矩阵M,即,L个子矩阵M,每个子矩阵M根据旋转标准在矩阵S中被放置L次。

[0106] 每个子矩阵M的维数为 $L \times L$ 。第一子矩阵M的第一行表示第一码字的第一码字母。在图7所示的示例中,第一子矩阵M1的第一行为 $[1,0,0,0,0]$ ,表示在位置Pos[1]中,码字母的频率为第一频率 $f_1$ 。第二子矩阵M2的第一行(未示出)为 $[0,1,0,0,0]$ ,表示在位置Pos[2]中,码字母的频率为第二频率 $f_2$ 。第三子矩阵M3的第一行(未示出)为 $[0,0,0,1,0]$ ,表示在位置Pos[3]中,码字母的频率为第四频率 $f_4$ ,等等。

[0107] 矩阵S的第一行为表示图6所述的码字的矩阵。

[0108] 从如图7所示的子矩阵L的不同旋转而得到矩阵S。

[0109] 码字L越长,矩阵S越大。此外,L越长,编码增益相比于已知解决方案越高,且因为矩阵S呈现子矩阵M旋转的对称性,该对称性允许在解码之后最小化噪声。

[0110] 光电测量装置可包括解码器(未示出),其适用于基于该测量和逆矩阵 $S^{-1}$ 对光纤响应解码。

[0111] 图8为流程图,示出使用根据本发明的光电测量装置测量光纤的温度和应变时所涉及的步骤。

[0112] 在开始之后,设置编码长度L(1000)。然后,设置不同的序列或码字(步骤2000)。然后,在时域中,对于光纤的整个长度获取光纤响应(步骤3000)。该获取对应于记录作为时间函数的探头强度,将该信息转换成距离信息(距离处理和映射),且计算沿着光纤的每个位置处布里渊增益。通过执行重复获取向后散射信号而构建光纤响应,从而构建表示所测量的光纤响应的矩阵 $S'$ (步骤4000)。重复步骤2000至4000,直至完成矩阵(步骤5000)。然后,通过使用逆矩阵 $S^{-1}$ 对该矩阵进行解码(步骤6000)。若多于一次地测量光纤点,则解码包括对这些测量进行平均。然后,在沿着光纤的每个位置处计算布里渊频率分布图,即,计算布里渊频率频变(步骤7000)。在步骤8000,通过使用光纤标准温度或应力数据系数,布里渊频率分布图被转换成应变或温度分布图(步骤9000)。最后,存储温度或应力分布图,且可用于进一步监测处理(步骤10000)。

[0113] 编码最优化涉及对子矩阵M旋转组合的研究,最小化方差(标准偏差)。在一个优选实施例中,编码的增益等于 $(L/2)^{(1/2)}$ 。

[0114] 在不偏离在所附的权利要求书中限定的本发明的范围的情况下,本领域技术人员清楚,可对本发明所描述的实施例进行各种修改和变型。尽管结合具体优选实施例描述了本发明,应理解,要求保护的本发明不应被不适当地限制于这样的具体实施例。

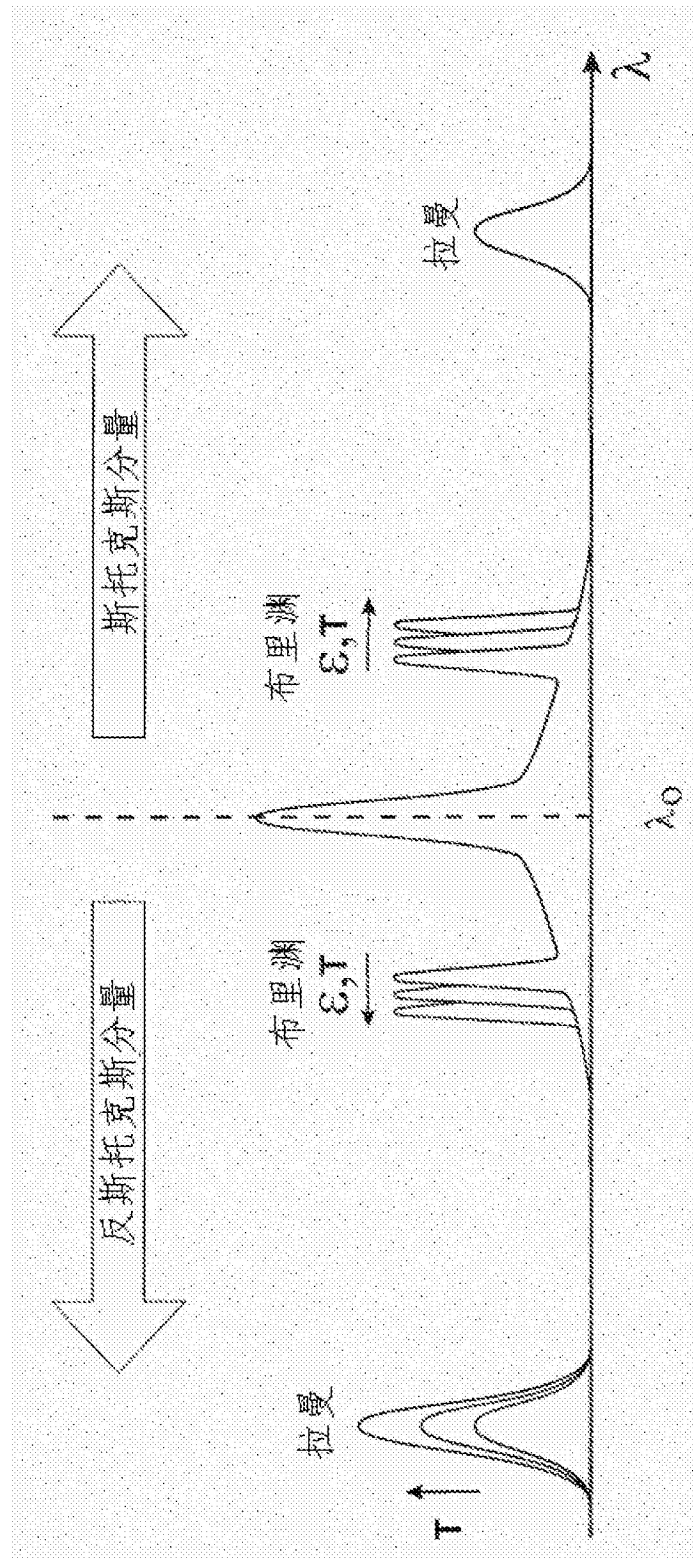


图1

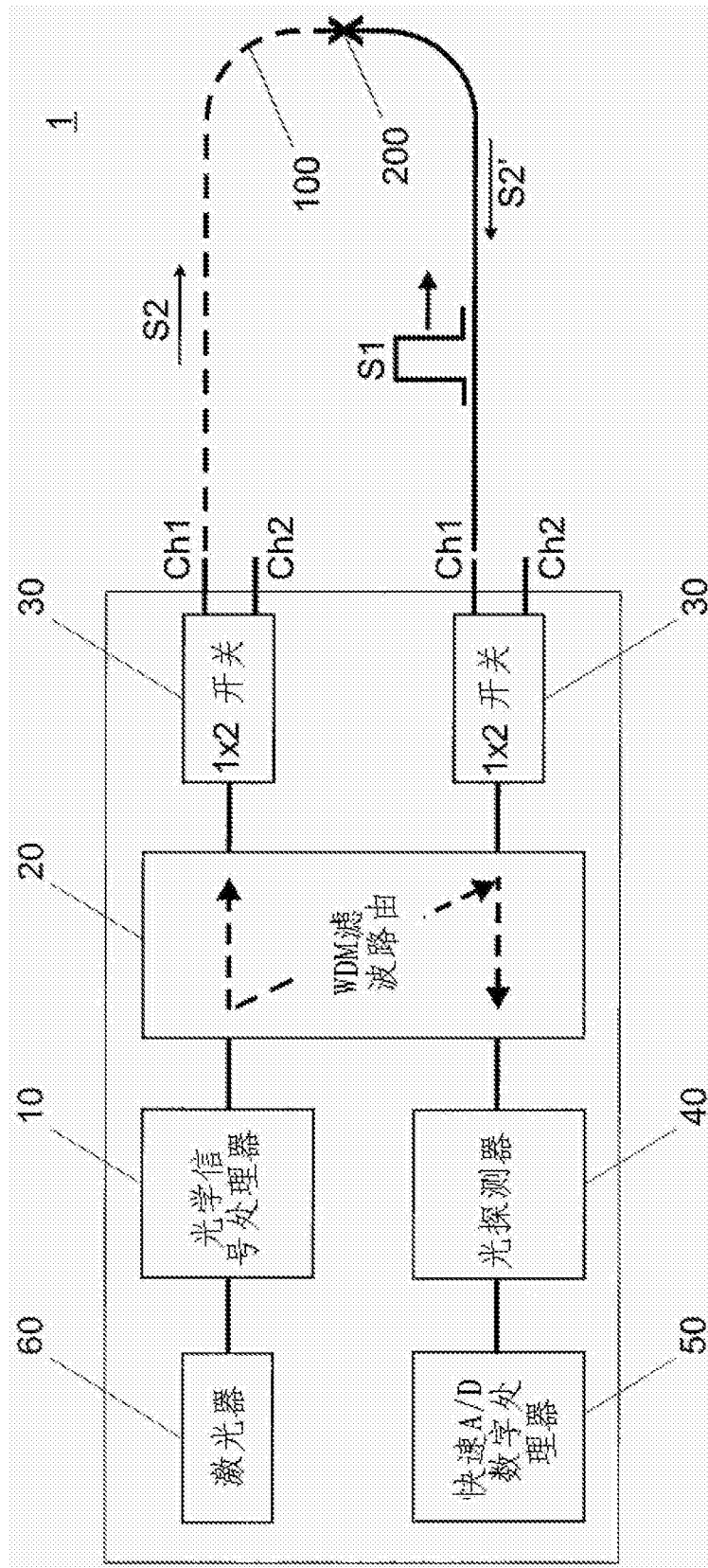


图2

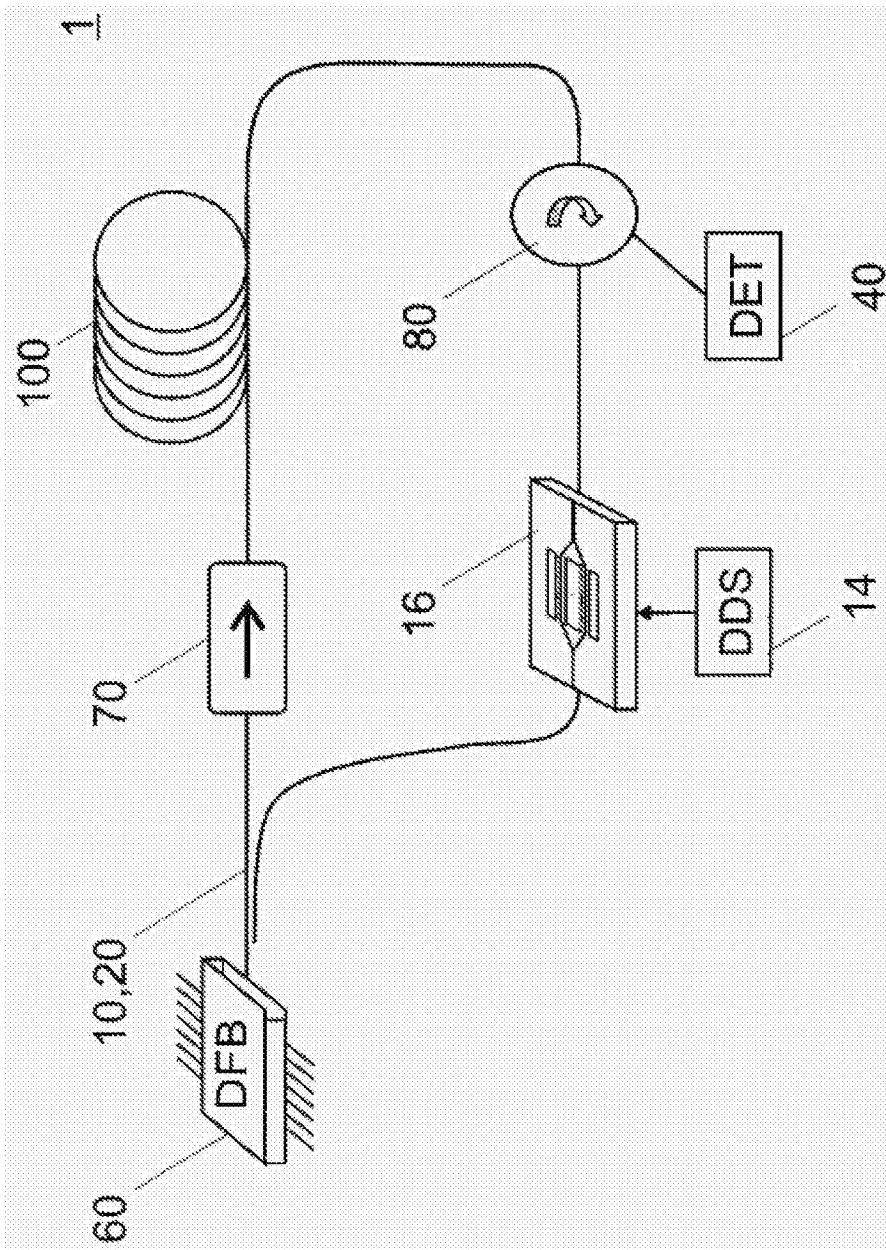


图3

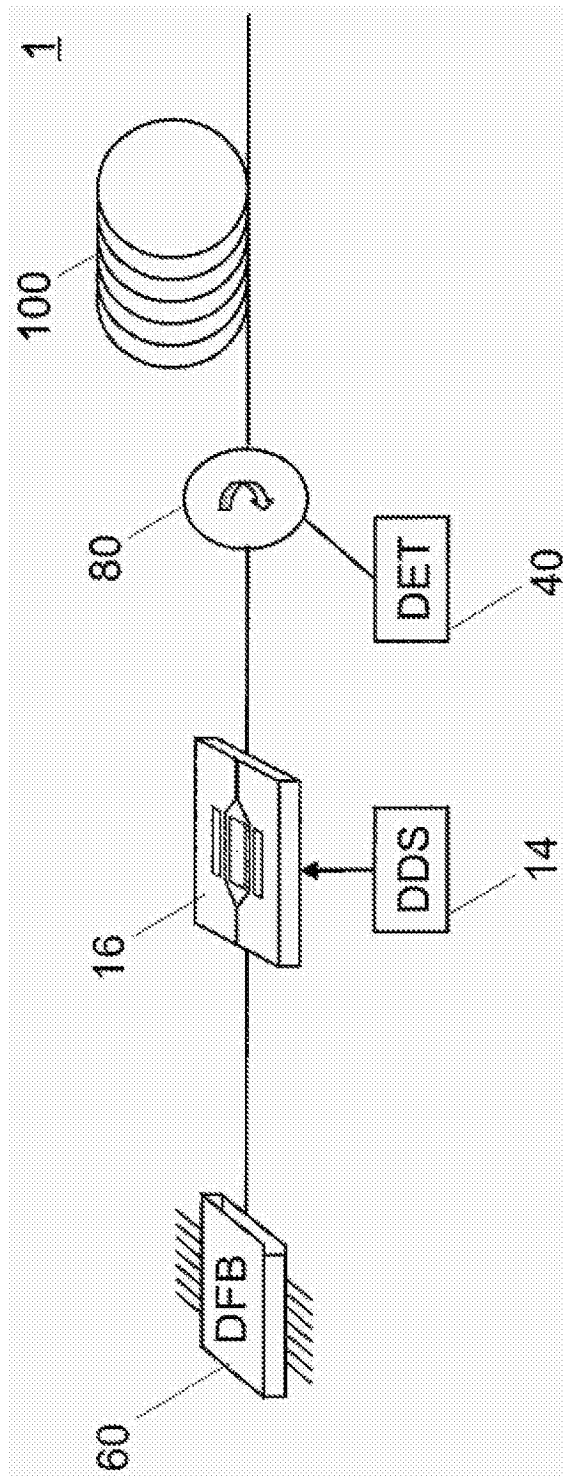


图4

序列	Pos[1]	Pos[2]	Pos[3]	Pos[4]	Pos[5]
1	1.	2.	4.	2.	0.
2	2.	3.	5.	3.	0.
3	3.	4.	1.	4.	0.
4	4.	5.	2.	5.	0.
5	5.	1.	3.	1.	0.
6	0.	1.	2.	4.	2.
7	0.	2.	3.	5.	3.
8	0.	3.	4.	1.	4.
9	0.	4.	5.	2.	5.
10	0.	5.	1.	3.	1.
11	2.	0.	1.	2.	4.
12	3.	0.	2.	3.	5.
..	..	..	..	..	..

C1

图5



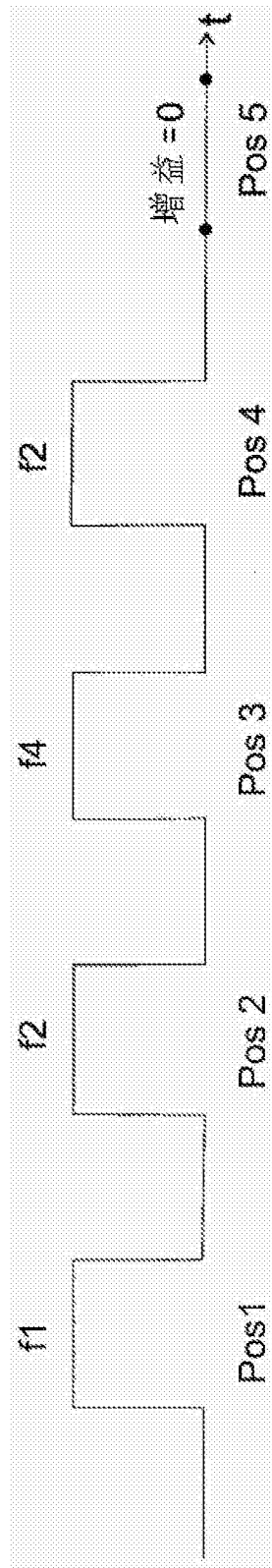


图6

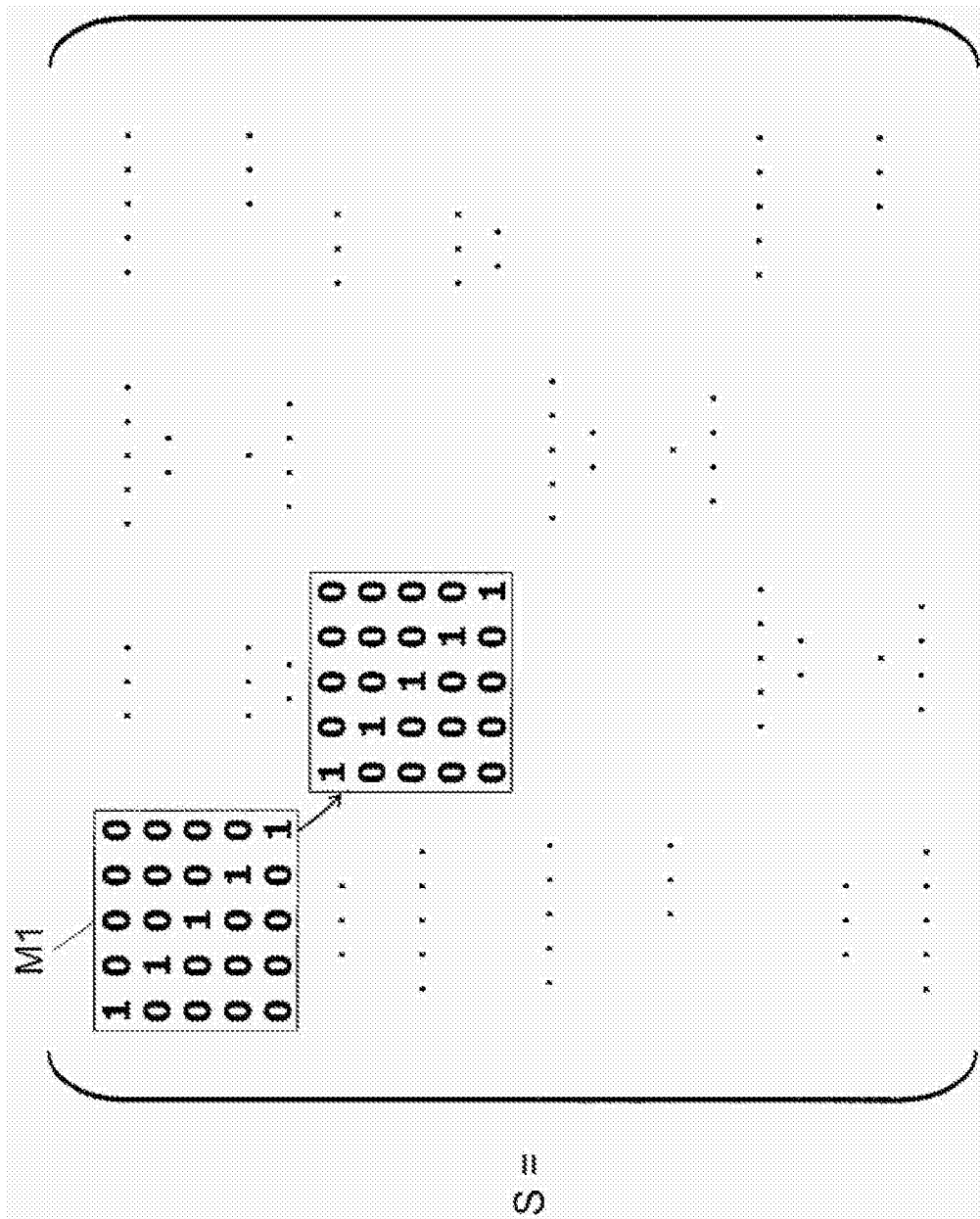


图7

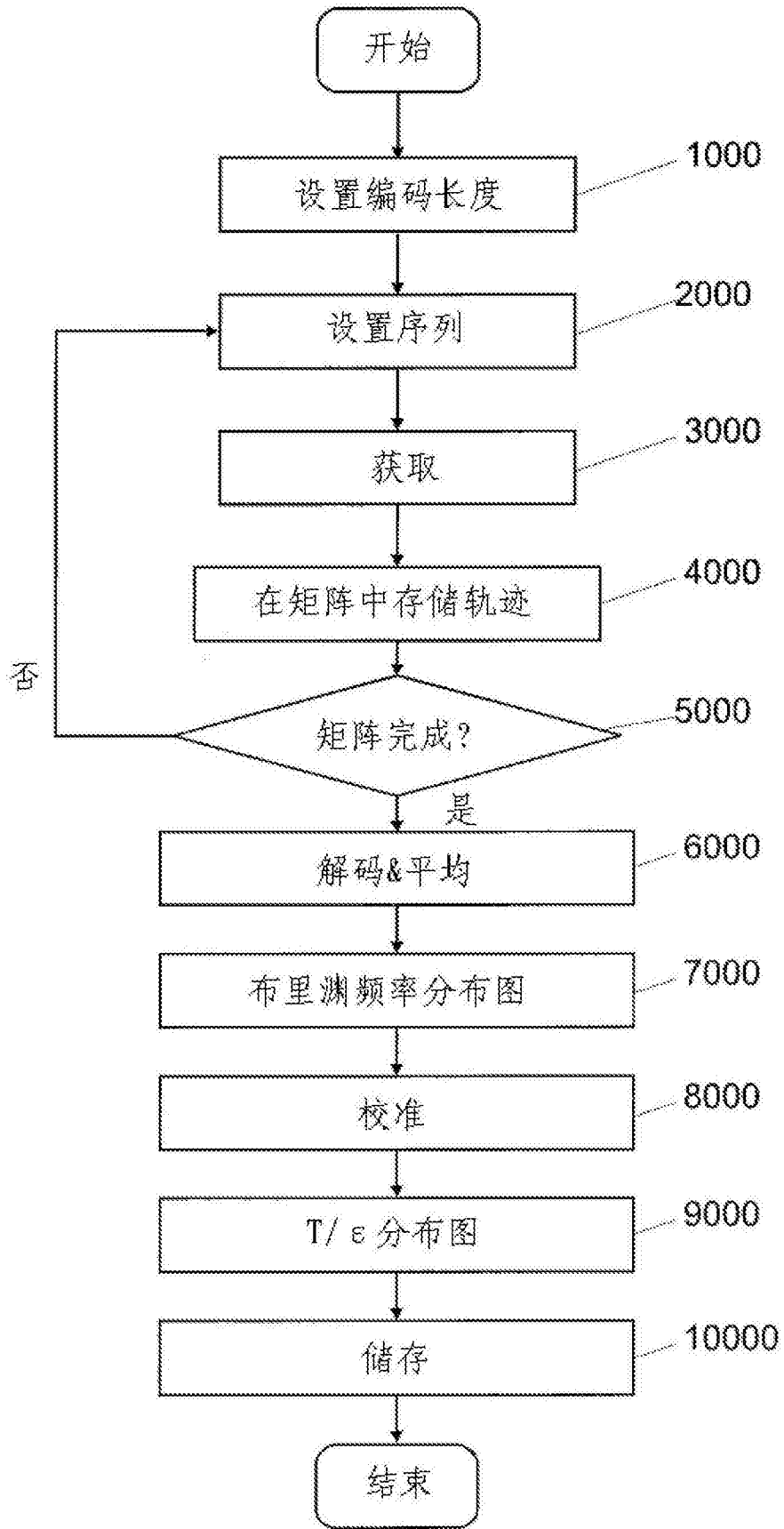


图8