



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106068678 B

(45)授权公告日 2019.10.25

(21)申请号 201580008576.5

(72)发明人 C.P.M.J.巴格根 R.里伊特曼

(22)申请日 2015.02.06

P.H.J.M.范沃图伊森

(65)同一申请的已公布的文献号

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

申请公布号 CN 106068678 A

代理人 孙之刚 景军平

(43)申请公布日 2016.11.02

(51)Int.Cl.

H05B 37/02(2006.01)

(30)优先权数据

H04L 1/08(2006.01)

14155275.2 2014.02.14 EP

H03M 5/12(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2016.08.12

(56)对比文件

(86)PCT国际申请的申请数据

CN 102726123 A, 2012.10.10,

PCT/EP2015/052460 2015.02.06

JP 2007097071 A, 2007.04.12,

(87)PCT国际申请的公布数据

JP 2007171364 A, 2007.07.05,

W02015/121154 EN 2015.08.20

CN 103430626 A, 2013.12.04,

(73)专利权人 飞利浦灯具控股公司

审查员 孙肇杰

地址 荷兰埃因霍温

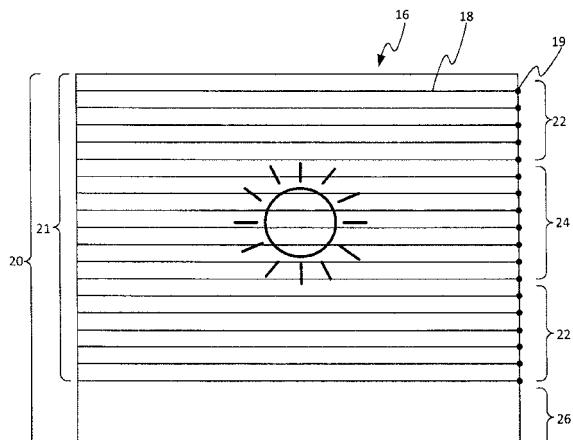
权利要求书3页 说明书26页 附图15页

(54)发明名称

编码光

(57)摘要

编码光信号嵌入到从光源发射的可见光中，以便由通过顺序地曝光每一个帧的多个行(18, 24)而捕获帧(16)的滚动快门相机接收，相机具有曝光时间，其中在曝光时间内曝光每一行。编码光信号根据格式而格式化，其中编码光信号包括至少一个消息，并且消息以使得能够实现以下过程的时序重复多次：当从比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的行(24)来获取编码光信号的样本，并且消息长于所述数目的行时，消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到。



## 1. 一种用于编码光的设备(2),包括:

用于基于控制器输出控制光源(10)以将编码光信号嵌入到从光源(10)发射的可见光中的驱动器(8),以用于由通过顺序地曝光每一个帧(16)的多个行(18)而捕获帧的滚动快门相机(12)来接收,相机具有作为曝光每一行的时间的曝光时间;以及

配置为生成控制器输出以根据格式来生成编码光信号的控制器(6),其中编码光信号包括至少一个消息,并且消息以使得能够实现以下过程的时序重复多次:当从比相机(12)在每一个帧中曝光的基本上更少数目的所述行获取编码光信号的样本并且消息长于所述数目的行时,消息的不同部分由相机(12)在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到;其中:

消息具有比一个帧长的持续时间;并且

消息包括包含不同数据内容的一个或多个分组,其中消息的每一个分组跟随有分组间空闲时段,并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

2. 权利要求1所述的设备(2),其中消息重复使得整个消息将在所述多个帧之上看到。

3. 权利要求1所述的设备(2),其中分组间空闲时段大于或等于曝光时间或者曝光时间的最大预期值。

4. 权利要求1或3所述的设备(2),其中消息间空闲时段选择成获取所述时序,其中消息的不同部分由相机(12)在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到。

5. 权利要求1-3中任一个所述的设备(2),其中曝光时间小于或等于(1/30)s,小于或等于(1/60)s,或者小于或等于(1/120)s。

6. 权利要求1-3中任一个所述的设备(2),其中至少一个消息由每一消息的至少三个分组形成。

7. 权利要求1-3中任一个所述的设备(2),其中每一个分组具有小于或等于17位长、小于或等于12位长、或者小于或等于9位长的长度。

8. 权利要求7所述的设备(2),其中分组长度为9位,其包括内容字节和同步位。

9. 权利要求1-3中任一个所述的设备(2),其中控制器(6)配置为根据三值曼彻斯特调制编码方案对编码光信号编码,其中信号的数据位通过映射到三值曼彻斯特符号而表示。

10. 如权利要求1所述的设备(2),其中控制器(6)配置为根据三值曼彻斯特调制编码方案对编码光信号编码,其中信号的数据位通过映射到三值曼彻斯特符号而表示,其中消息间空闲时段具有所述符号中的至少4个的持续时间。

11. 如权利要求10所述的设备(2),其中每一个分组是所述符号中的19个长,分组间空闲时段具有所述符号中的33个的持续时间,并且消息间空闲时段具有所述符号中的5个的持续时间。

12. 权利要求9所述的设备(2),其中控制器(6)配置为对编码光信号进行编码,其中所述符号的符号速率为1kHz、2kHz或4kHz。

13. 权利要求1-3中任一个所述的设备(2),其中控制器(6)配置为经由返回信道从相机(12)接收曝光时间的指示,并且基于曝光时间适配消息的格式。

14. 权利要求13所述的设备(2),其中控制器(6)配置为通过选择一个或多个参数使得消息的不同部分由相机(12)在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到而执行所述适配,一个或多个参数包括:分组间空闲时段、消息间空闲时段、每一消息的分组数目和/或符号

速率。

15. 权利要求14所述的设备(2),其中控制器(6)配置为通过在所述参数的多个不同预定组合之间选择而适配格式。

16. 权利要求1-3中任一个所述的设备(2),其中所述数目的行小于或等于每一个帧的行的14%。

17. 一种用于编码光的系统,包括任一项前述权利要求所述的设备、光源和相机(12);相机(12)相对于光源定位使得从比相机在每一个帧中所曝光的基本上更少数目的行获取所述样本并且消息长于所述数目的行。

18. 一种用于编码光的方法,包括:

控制光源以将编码光信号嵌入到从光源发射的可见光中,编码光信号包括至少一个消息;

在通过顺序地曝光每一个帧的多个行而捕获帧的滚动快门相机(12)处接收光,相机(12)具有作为曝光每一行的时间的曝光时间;以及

从比相机(12)在每一个帧中曝光的基本上更少数目的所述行来获取编码光信号的样本,消息长于所述数目的行;其中:

编码光信号根据格式而生成,其中消息以使得消息的不同部分由相机(12)在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到的时序而重复多次;

消息具有比一个帧长的持续时间;并且

消息包括包含不同数据内容的一个或多个分组,其中消息的每一个分组跟随有分组间空闲时段,并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

19. 一种其上存储计算机可执行指令的计算机可读存储介质,所述指令当由包括用于基于控制器输出控制光源的驱动器的计算设备执行时,使得所述计算设备实施以下操作:

基于到驱动器(8)的控制器输出来控制光源以将编码光信号嵌入到从光源发射的可见光中,以便由通过顺序地曝光每一个帧的多个行而捕获帧的滚动快门相机(12)接收,相机(12)具有作为曝光每一行的时间的曝光时间;以及

生成用于输出给驱动器(8)的控制器输出以便根据格式而生成编码光信号,其中编码光信号包括至少一个消息,并且消息以使得能够实现以下过程的时序重复多次:当从比相机(12)在每一个帧中曝光的基本上更少数目的行来获取编码光信号的样本,并且消息长于所述数目的行时,消息的不同部分由相机(12)在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到;其中

消息具有比一个帧长的持续时间;并且

消息包括包含不同数据内容的一个或多个分组,其中消息的每一个分组跟随有分组间空闲时段,并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

20. 一种嵌入到从光源发射的可见光中的编码光信号,以便由通过顺序地曝光每一个帧的多个行而捕获帧的滚动快门相机(12)接收,相机(12)具有作为曝光每一行的时间的曝光时间;其中:

编码光信号根据格式而格式化,其中编码光信号包括至少一个消息,并且消息以使得能够实现以下过程的时序重复多次:当从比相机(12)在每一个帧中曝光的基本上更少数目的行来获取编码光信号的样本,并且消息长于所述数目的行时,消息的不同部分由相机

(12) 在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到；其中  
消息具有比一个帧长的持续时间；并且  
消息包括包含不同数据内容的一个或多个分组，其中消息的每一个分组跟随有分组间  
空闲时段，并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

## 编码光

### 技术领域

[0001] 本公开涉及嵌入在光源发射的光中的编码光信号的通信。

### 背景技术

[0002] 编码光是指其中将数据调制到由光源发射的可见光照中的技术,例如由基于LED的照明器发射。因而,除提供光照(出于该目的,光源可能已经存在于环境中)之外,光源还充当能够向编码光的适合接收器传送数据的传送器。调制典型地在对于人类视力而言不可感知的足够高频率下执行,即因此用户仅感知到总体光照并且没有调制到该光照中的数据的影响。以此方式,可以说是将数据嵌入到来自光源的光中。

[0003] 编码光可以使用在数个应用中。例如,一个应用是从照明器向用于控制该照明器的远程控制单元提供信息,例如提供区分该照明器与远程单元可以控制的其它这样的照明器的标识符,或者提供关于照明器的状态信息(例如,以报告错误、警报、温度、操作时间等)。在一个这样的示例中,远程控制单元可以包括具有内置相机的移动用户终端,诸如智能手机或平板。在终端运行适当应用的情况下,用户可以将相机定向在照明器处并且由此检测编码到来自该照明器的光中的标识符。在给定其看向的照明器的标识符的情况下,终端然后可以通过发送回返回信号(例如经由RF)来控制该照明器。

[0004] 在另一应用中,编码光可以用于向用户提供信息,例如提供用于使用在调试中的照明器的标识符,或者使得能够提供位置相关信息。例如,室内和/或室外环境中的每一个照明器(例如,在办公综合楼的房间和走廊中和/或校园的道路中)可以布置为发射嵌入有在该环境内标识它的相应标识符的光。如果用户具有装备有相机的移动终端,以及用于检测编码光的相关联应用,则终端可以检测光照其当前位置的照明器的标识符。这然后可以用于通过在将标识符映射到照明器的位置的位置数据库中查找当前位置来帮助用户导航环境。可替换地或者附加地,这可以用于查找与用户的当前位置相关联的信息,诸如展现博物馆的特定房间的信息。例如,查找可以经由互联网或者终端能够访问的本地网络来执行,或者从用户终端上的本地数据库来执行。可替换地,信息可以直接编码到来自一个或多个照明器的光中。一般而言,编码光的可应用性不受限制。

[0005] 借助于诸如幅度键控或者频移键控之类的技术而将数据调制到光中,其中调制性质(例如频率幅度)用于表示信道符号。调制典型地涉及将数据位(有时候称为用户位)映射到这样的信道符号上的编码方案。示例是常规曼彻斯特代码,其是二值代码,其中值0的用户位被映射到以低-高脉冲形式的信道符号上,并且值1的用户位被映射到以高-低脉冲形式的信道符号上。另一示例是最近开发的三值曼彻斯特代码,其在国际专利申请公开号W02012/052935中描述。

[0006] 三值曼彻斯特现在形成现有技术的部分并且因而对于技术人员而言是已知的,但是出于完整性而再次在这里总结。在传送器处,要传送的每一个数据位被映射到以相应单元脉冲形式的信道符号。根据该方案,存在两个可能的单元,以正和负“帽”函数的形式,如在图5中所示。映射到值1的数据位的脉冲示出在图5的左手侧上,并且映射到值0的数据位

的脉冲示出在图5的右手侧上。数据位是要传送的实际信息的位,有时候称为“用户数据”(即便不是明确地由用户创建)。数据位时段在图5中标记为 $T_D$ ,其中利用竖直虚线示出用户位时段之间的边界。

[0007] 每一个单元脉冲包括比数据位时段小的时间长度 $T_C$ 的初级信道时段的序列。每一个初级信道时段仅仅传达编码光可以采取的初级水平之一(一个三值曼彻斯特符号),并且单独地不足以传达数据而没有调制到复合信道符号中。此处,长度 $T_D$ 的每一个脉冲是可以使用所讨论的编码方案运送的信息内容的最小或者最基础的单元。

[0008] 在三值曼彻斯特代码中,每一个单元帽函数包括时间长度 $T_C$ 的三个初级信道时段的序列,每一个是数据位时段 $T_D$ 的长度的一半( $T_D=2T_C$ )。用于相应数据位的三个初级时段邻接,其中三个中的中间者位于相应数据位时段的中心处,使得相邻的第一个和第三个初级信道时段通过任一侧的初级信道时段 $T_C$ 的一半而分别跨骑数据位时段的开始和结束边界。

[0009] 对于值1的数据位,这被映射到在图5的左边示出的正帽函数。正帽函数包括:定心在相应数据位时段的开始(较早)边界上的高度- $\frac{1}{2}$ 的第一初级信道时段,接着是定心在相应数据位时段上的高度+1的第二(中间)初级信道时段,接着是定心在相应数据位时段的结束(较晚)边界上的高度- $\frac{1}{2}$ 的第三初级信道符号。“高度”在该阶段处可以以任何适当的术语表示,诸如无量纲数字值(最终要由调制信号性质表示,例如幅度或频率)。

[0010] 对于值0的数据位,这被映射到在图5的右边示出的负帽函数。负帽函数包括:定心在相应数据位时段的开始(较早)边界上的高度+ $\frac{1}{2}$ 的第一初级信道时段,接着是定心在相应数据位时段上的高度-1的第二(中间)初级信道时段,接着是定心在相应数据位时段的结尾(较晚)边界上的高度+ $\frac{1}{2}$ 的第三初级信道时段。

[0011] 为了创建要传送的编码位流,以其相应位时段的时间而偏移地将相邻用户位的帽函数添加到彼此。因为帽函数跨数据位时段之间的边界重叠,所以函数在相邻数据位之间的重叠区中添加。也就是说,帽函数沿边界结合,所以一个数据位时段的较早边界 $A_n$ 与前一相邻数据位时段的较晚位边界 $A_{n+1}$ 结合,其中信号的高度是在两个相邻脉冲重叠的情况下总和。在图6中示出时域中的信道符号的所得序列的示例。

[0012] 在两个相邻数据位具有值1的情况下,这意味着高度- $\frac{1}{2}$ 的两个重叠初级信道时段相加为高度-1。在两个相邻数据位具有值0的情况下,高度+ $\frac{1}{2}$ 的两个重叠初级信道时段相加为高度+1。在两个相邻数据位具有不同值的情况下,高度+ $\frac{1}{2}$ 和- $\frac{1}{2}$ 的两个重叠初级信道时段相加为0。因而在编码流中,每一个用户位时段(每一个单元脉冲)在值1的用户位夹于值1的两个相邻用户位之间时采取矩形波的正脉冲的形式,或者在值0的用户位夹于值0的两个相邻用户位之间时采取矩形波的负脉冲的形式,或者在相邻用户位中的至少一个不同时采取具有笔直边缘的一个或四个可能配置的非均匀脉冲的形式。

[0013] 在等同变形中,数据位值0和1向正和负帽函数的映射可以颠倒。

[0014] 所得信号(例如图6的信号)然后被转换成由传送光源输出的信号的调制性质中的变化(例如,根据幅度或频率来表示)。例如,初级信道符号-1可以由低光输出水平表示,初级信道符号+1可以由高输出光水平表示,并且初级信道符号0可以由高和低之间的中间光水平来表示。

[0015] 三值曼彻斯特代码可以是有利的,因为其在数据位改变值时提供比传统曼彻斯特代码更平缓的转变,并且导致在诸如电源噪声之类的干扰可能发生的情况下低频附近更多

地抑制的频域中的频谱。然而,本公开的可应用性不限于三值曼彻斯特,并且在其它实施例中,可以使用适当编码方案的其它示例,例如常规(二值)曼彻斯特代码,或者常规二值或三值行代码。

[0016] 在其中来自光源的光要使用滚动快门相机(诸如在移动电话设备中通常找到的便宜相机)捕获的应用中使用编码光越来越多地受到关注。滚动快门相机一次一个地逐行扫描图像的行(典型地以最小18k行/秒)。因为在时间上顺序地记录各行,并且光中的代码还可能在时间上顺序地变化,所以涉及附加处理。典型地,行上的样本“集成”或“浓缩”到每行的单个值中。每一行因而在不同的时刻处捕获信号的样本,从而使得能够重构编码光信号。

## 发明内容

[0017] 根据本文公开的一个方面,可以提供一种设备,包括:用于基于控制器输入控制光源以将编码光信号嵌入到从光源发射的可见光中的驱动器,以及配置为生成编码光信号的控制器。光将由滚动快门相机接收,滚动快门相机通过顺序地曝光每一个帧的多个行来捕获帧,相机在预确定的时间内曝光每一行。控制器配置为生成控制器输出以根据格式生成编码光信号,其中编码光信号包括至少一个消息并且消息以使得能够实现以下过程的时序而重复多次:当从比相机在每一个帧中所曝光的更少数目的所述行捕获编码光信号的样本并且消息长于所述数目的行时,由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到消息的不同部分。消息具有比一个帧长的持续时间并且包括包含不同数据内容的一个或多个分组。消息的每一个分组跟随有分组间空闲时段,并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

[0018] 在实施例中,消息可以重复使得整个消息将在所述多个帧之上看到。

[0019] 分组间空闲时段可以大于或等于曝光时间或者曝光时间的最大预期值。

[0020] 消息间空闲时段可以选择为获取所述时序,其中消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到。

[0021] 曝光时间可以小于或等于(1/30) s,小于或等于(1/60) s或者小于或等于(1/120) s。

[0022] 至少一个消息可以由每一消息的至少三个分组而形成。

[0023] 每一个分组可以具有小于或等于17位长、小于或等于12位长或者小于或等于9位长的长度。

[0024] 分组长度可以为9位,包括内容字节和同步位。

[0025] 控制器可以配置为使得能够根据三值曼彻斯特调制编码方案对编码光信号进行编码,其中信号的数据位通过映射到三值曼彻斯特符号而表示。

[0026] 消息间空闲时段可以具有所述符号中的至少4个的持续时间。

[0027] 每一个分组可以是所述符号中的19个长,分组间空闲时段可以具有所述符号中的33个的持续时间,并且消息间空闲时段可以具有所述符号中的5个的持续时间。

[0028] 控制器可以配置为在所述符号的符号率为1kHz、2kHz或4kHz的情况下对编码光信号进行编码。

[0029] 控制器可以配置为经由返回信道从相机接收曝光时间的指示,并且基于曝光时间适配消息的格式。

[0030] 控制器可以配置为通过选择一个或多个参数使得消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到来执行所述适配,并且一个或多个参数可以包括:分组间空闲时段、消息间空闲时段、每一消息的分组数目和/或符号速率。

[0031] 控制器可以配置为通过在所述参数的多个不同预确定的组合之间进行选择来适配格式。

[0032] 所述数目的行可以少于或等于每一个帧的行的14%。

[0033] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种系统,包括具有以上特征中的任一个的设备、光源和相机;相机相对于光源定位使得从比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的行获取所述样本并且消息长于所述数目的行。

[0034] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种方法,包括:控制光源以将编码光信号嵌入到从光源发射的可见光中,编码光信号包括至少一个消息;在滚动快门相机处接收光,滚动快门相机通过顺序地曝光每一个帧的多个行而捕获帧,相机在预确定的时间内曝光每一行;以及从比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的所述行获取编码光信号的样本,消息长于所述数目的行;其中编码光信号根据格式生成,其中以使得消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到的时序来使消息重复多次。消息具有比一个帧长的持续时间并且包括包含不同数据内容的一个或多个分组。消息的每一个分组跟随有分组间空闲时段,并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

[0035] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种计算机程序产品,包括体现在计算机可读存储介质上并且配置为以便在执行时实施以下操作的代码:基于到驱动器(8)的控制器输出控制光源以将编码光信号嵌入到从光源发射的可见光中,以由通过顺序地曝光每一个帧的多个行而捕获帧的滚动快门相机来接收,相机在具有曝光时间的预确定时间内曝光每一行,其中在曝光时间内曝光每一行;以及生成输出控制以用于输出给驱动器来根据格式生成编码光信号,其中编码光信号包括至少一个消息并且消息以使得能够实现以下过程的时序重复多次:当从比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的行获取编码光信号的样本并且消息长于所述数目的行时,消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到。消息具有比一个帧长的持续时间并且包括包含不同数据内容的一个或多个分组。消息的每一个分组跟随有分组间空闲时段,并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

[0036] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种嵌入到从光源发射的可见光中的编码光,以由通过顺序地曝光每一个帧的多个行而捕获帧的滚动快门相机来接收,相机在预确定的时间内曝光每一行,其中:编码光信号根据格式而格式化,其中编码光信号包括至少一个消息并且消息以使得能够实现以下过程的时序重复多次:当从比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的行获取编码光信号的样本并且消息长于所述数目的行时,消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到。消息具有比一个帧长的持续时间并且包括包含不同数据内容的一个或多个分组。消息的每一个分组跟随有分组间空闲时段,并且消息的重复通过与分组间空闲时段不同的消息间空闲时段而分离。

[0037] 在实施例中,方法、计算机程序和/或信号可以依照关于以上设备讨论的任何特征进一步配置。

[0038] 根据本文公开的另一方面,可以提供一种设备,包括:用于从滚动快门相机接收信

号的输入,滚动快门相机通过顺序地曝光每一个帧的多个行来以给定帧速率捕获给定持续时间的帧,信号包括编码光信号;以及信号处理模块,其布置为从数个所述行中的每一个获取编码光信号的相应样本,数个所述行是比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的所述行。编码光信号包括具有比所述数目的行更长的持续时间的消息,并且消息以使得消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到的时序而重复多次。信号处理模块配置为使来自多个不同帧的消息的不同部分时间对准,并且从时间对准部分重新聚集消息。

[0039] 在实施例中,整个消息可以在所述多个帧之上看到。

[0040] 在实施例中,信号处理模块可以配置为基于帧持续时间和消息持续时间来执行所述时间对准。

[0041] 在实施例中,信号处理模块可以配置为通过以下过程执行所述时间对准:确定作为所述消息的长度的整数倍的时序参考时段;以及使每一个连续帧中所接收的消息的部分以帧长度而关于其前一帧偏移,但是卷绕到超出所述时序参考时段的结尾的所述时序参考时段的开头。

[0042] 在实施例中,信号处理模块可以配置为从包括所述数目的行的每一个帧的多个有效行中的每一个来获取相应样本,由此产生具有所述帧持续时间的帧信号;并且偏移通过扩展每一个帧信号以具有时序参考时段的持续时间而执行。

[0043] 所述扩展可以通过向帧信号添加零而执行。

[0044] 信号处理模块可以配置为丢弃一个或多个跳过的帧。

[0045] 信号处理模块可以配置为各自基于所述消息部分的不同相应子集来生成消息的多个重新聚集版本,并且基于消息的所述版本之间的相关性来执行所述设备的时钟与所述编码光信号的时钟之间的同步。

[0046] 所述样本中的每一个可以通过组合相应行的像素值而取得。

[0047] 所述数目的行可以少于或者等于每一个帧的行的14%。

[0048] 所述部分中的每一个可以少于或者等于消息的3%。

[0049] 从其获取所述样本的数目的行可以包括包含过曝的一个或多个像素的行。

[0050] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种接收器,包括具有以上特征中的任一个的设备和相机。

[0051] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种系统,包括接收器和光源;相机相对于光源定位使得所述样本从比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的行来获取并且消息长于所述数目的行。

[0052] 根据本文公开的另一方面,可以提供一种方法,包括:从滚动快门相机接收信号,滚动快门相机通过顺序地曝光每一个帧的多个行来捕获帧,信号包括编码光信号;以及从数个所述行中的每一个获取编码光信号的相应样本,数个所述行是比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的所述行;其中编码光信号包括具有比所述数目的行更长的持续时间的消息,并且消息以使得消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到的时序而重复多次;并且其中方法还包括使来自多个不同帧的消息的不同部分时间对准,并且从时间对准部分重新聚集消息。

[0053] 根据本文公开的另一方面,可以提供一种计算机程序产品,其体现在计算机可读

介质上并且配置为以便在执行时实施以下操作:从滚动快门相机接收信号,滚动快门相机通过顺序地曝光每一个帧的多个行而不惑帧,信号包括编码光信号;以及从数个所述行中的每一个获取编码光信号的相应样本,数个所述行是比相机在每一个帧中曝光的基本上更少数目的所述行;其中编码光信号包括具有比所述数目的行更长的持续时间的消息,并且消息以使得消息的不同部分由相机在所述帧中的多个不同帧中的每一个中看到的时序而重复多次;并且其中代码还配置为以便在执行时使来自多个不同帧的消息的不同部分时间对准,并且从时间对准部分重新聚集消息。

[0054] 在实施例中,方法和/或计算机程序可以依照以上关于设备所讨论的特征中的任一个进一步配置。

[0055] 根据本文公开的另一方面,可以提供一种用于均衡第一滤波器在经受第一滤波器以及噪声和/或干扰的输入信号上的影响的维纳滤波器,其中:第一滤波器取决于至少一个未知量;并且代替于假设已知的第一滤波器的表示,维纳滤波器基于在所述至少一个未知量之上平均的第一滤波器的平均表示进行配置。

[0056] 在实施例中,所述平均表示可以包括第一滤波器的共轭的平均。

[0057] 所述平均表示可以包括第一滤波器乘以其共轭的平均。

[0058] 所述平均表示可以包括第一滤波器的共轭的平均以及第一滤波器乘以其共轭的平均。

[0059] 维纳滤波器可以在频域中操作。

[0060] 维纳滤波器可以根据以下配置:

$$[0061] G = \frac{E_{\theta}[H^*] \cdot S}{E_{\theta}[HH^*] \cdot S + N_0}$$

[0062] 其中G是频域中的维纳滤波器,H是频域中的第一滤波器,S是输入信号的频谱密度,N<sub>0</sub>是噪声和/或干扰的频谱密度,θ是未知量,并且E是关于θ的平均。

[0063] 平均可以采取有限限度之间的未知量的均匀分布。

[0064] 第一滤波器可以标称值,并且关于未知量的所述平均可以使用未知量的第一多个瞬间和第一滤波器在其标称值周围的泰勒级数展开来计算。

[0065] 第一滤波器可以取决于多个未知量,并且维纳滤波器可以基于在所述未知量中的每一个之上平均的第一滤波器的平均表示来配置。

[0066] 第一滤波器可以包括时域中的框函数以及频域中的sinc函数,框函数具有时域中的宽度,并且所述未知量可以包括框函数的宽度。

[0067] 输入信号可以包括由滚动快门采集过程所捕获的编码光信号,其中在曝光时间内相继曝光帧的每一行,并且所述滤波器可以是其中曝光时间为所述未知量的滚动快门采集过程的结果。

[0068] 每一行的曝光可以产生框函数,并且其宽度可以是曝光时间。

[0069] 第一滤波器可以包括具有中心频率和带宽的带通滤波器,并且所述至少一个未知量可以包括带通滤波器的中心频率和/或带宽。

[0070] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种接收器,包括具有以上特征中的任一个

的维纳滤波器和相机,相机布置为通过所述滚动快门采集过程而捕获所述输入信号。

[0071] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种确定用于均衡第一滤波器在经受第一滤波器以及噪声和/或干扰的输入信号上的影响的维纳滤波器的方法,方法包括:标识第一滤波器所依赖于的至少一个未知量;以及在包括第一滤波器的表示的维纳滤波器的构想中,代替于其中假设已知第一滤波器的表示,利用在所述至少一个未知量之上平均的第一滤波器的平均表示来替换该表示。

[0072] 根据本文公开的另外方面,可以提供一种计算机程序产品,其体现在计算机可读介质上并且配置为以便在执行时实现用于均衡第一滤波器在经受第一滤波器以及噪声和/或干扰的输入信号上的影响的维纳滤波器,其中:第一滤波器取决于至少一个未知量;并且代替于假设已知的第一滤波器的表示,维纳滤波器基于在所述至少一个未知量之上的第一滤波器的平均表示来配置。

[0073] 在实施例中,方法和/或计算机程序可以依照以上关于维纳滤波器所讨论的特征中的任一个进一步配置。

[0074] 在另外的实施例中,以上阐述的传送侧设备、接收侧设备和/或维纳滤波器的特征中的任一个可以组合;如可以是以上阐述或者在本文中其它地方公开的任何设备、传送器、接收器、系统、信号、方法和/或计算机程序集的任何特征。

[0075] 要指出的是,该发明内容章节不意图限制本公开的范围。本公开的范围仅由权利要求限制。

## 附图说明

[0076] 为了帮助理解本公开并且示出实施例可以如何付诸实践,作为示例而参照随附各图,其中:

- [0077] 图1是编码光通信系统的示意性框图,
- [0078] 图2是由滚动快门相机捕获的帧的示意性表示,
- [0079] 图3示出所捕获的帧的示例,
- [0080] 图4示出从所捕获的帧获取的无用样本的示例,
- [0081] 图5示意性图示三值曼彻斯特编码方案,
- [0082] 图6示意性图示使用三值曼彻斯特编码的示例信号,
- [0083] 图7示意性图示消息格式,
- [0084] 图8是用于消息重新聚集所要求的数个帧的图形,
- [0085] 图9示出循环重复消息的三个重复,
- [0086] 图10示出包括三个分组的消息,
- [0087] 图11示出时域中的所传送和接收的信号,
- [0088] 图12示出频域中的所传送信号和ISI,
- [0089] 图13示出通过对多个帧中的每一个采样所获取的信号,
- [0090] 图14示出从采样帧所获取的信号的扩展版本,
- [0091] 图15示出来自多个帧的信号的时间对准版本,
- [0092] 图16示出从多个帧重构的信号,
- [0093] 图17示出重构消息,

- [0094] 图18示出消息的非滚动对准，
- [0095] 图19示出消息的“切换”对准，
- [0096] 图20是均衡滤波器H的维纳滤波器的示意性框图，
- [0097] 图21是源自于滚动快门的ISI滤波器的示意性框图，
- [0098] 图22是表示相加噪声的示意性框图，以及
- [0099] 图23是均衡滤波器H的鲁棒维纳滤波器的示意性框图。

## 具体实施方式

[0100] 下文涉及编码光应用，并且提供用于传送编码光的格式，用于接收编码光的解码器，以及使用在解码器中的一个特别有利的构建块(其还可以使用在除编码光之外的其它应用中)。

[0101] 格式和解码技术的目标是提供用于编码光的实际解决方案，其限定可以与现有滚动快门相机以及准用的所谓感兴趣区(ROI)相机等一同工作。本公开提供用于编码和解码的方法、编码器和解码器、信号格式以及用于编码和解码的软件，其在实施例中允许这样便宜的滚动快门相机接收编码光并且解码包含在其中的消息。

[0102] 便宜的滚动快门相机有效地扫描其图像，所以当行前进时，时间亦如此。这暗示着顶部行的时间戳远早于底部行的时间戳。现在设想编码光存在于图像中——编码光将典型地仅在图像的小区段中可见。

[0103] 实际上对光成像的行是包含编码光的行。每一行“浓缩”到单个值中并且该单个值对应于信息位或符号；也就是说，扫描该行的时刻处所传送的位或符号。现在为了使滚动快门相机对消息解码，人们可以确保每一帧的行数目足够高(因此光足够大)并且基于单个帧对图像解码。然而，如将很快更加详细讨论的，这不总是可能的。

[0104] 图1给出用于传送和接收编码光的系统的示意性概览。系统包括传送器2和接收器4。例如，传送器2可以采取照明器的形式(例如，安装在房间的天花板或墙壁上、自立灯或室外灯杆)；并且接收器4可以采取移动用户终端的形式，诸如智能电话、平板或膝上型计算机。传送器2包括光源10和耦合到光源10的驱动器8。传送器2还包括以控制器6的形式的设备以及向驱动器8的输出，以用于控制要经由驱动器8驱动的光源10。例如，控制器6可以采取存储在传送器2的存储器上并且布置用于在传送器的处理器上执行的软件的形式，或者可替换地，不排除一些或全部的控制器6可以实现在硬件或者可配置或可再配置的硬件电路中。接收器4包括相机12以及以信号处理模块14和来自相机12的输入的形式的设备。信号处理模块14可以例如采取存储在接收器4的存储器上并且布置用于在接收器4的处理器上执行的软件的形式，或者可替换地，不排除一些或全部的信号处理模块14可以实现在专用硬件电路或者可配置或可再配置硬件电路中。控制器6和信号处理模块14配置为依照本文公开的实施例(分别地)执行传送侧和接收侧操作。

[0105] 参照图2和3，相机12布置为捕获帧16的系列，如果相机定位成朝向光源10，则帧16的系列将包含来自光源10的光的图像。相机12是滚动快门相机，这意味着其并不是一次性全部捕获每一个帧16(如全局快门相机那样)，而是在行18的序列中逐行地捕获。也就是说，每一个帧16被划分成多个行18(总数目的行标记为20)，典型地水平行，每一个横跨帧16并且为一个或多个像素厚(例如，在水平行的情况下，跨越帧16的宽度并且为一个或多个像素

高)。捕获过程通过曝光一个行18而开始,然后是下一个(典型地相邻行),然后是下一个等等。例如,捕获过程可以自顶向底地滚动帧16,通过曝光顶部行而开始,然后接着是次顶部的行,然后向下接下来的一行等等。可替换地,其可以自底向顶(或者甚至并排地竖直行)。要指出,每一行的曝光可以是时间上排斥,或者可替换地可以在时间上重叠(但是不管怎样都在不同时间处开始)。相机12具有某一曝光时间Texp,并且例如在该相同曝光时间内相机地曝光每一行。还要指出,在数字相机的情况下,“曝光”不意味着以机械快门的含义,而是相反地行的像素在捕获光或者对光采样的时间。

[0106] 为了捕获样本以用于检测编码光的目的,每一个给定行18的各个像素样本中的一些或全部组合成用于该行的相应组合式样本19(例如,仅有用地贡献于编码光信号的“有效”像素,随后参照图3和4讨论)。例如,组合可以通过对像素值积分或平均而执行,或者通过任何其它组合技术而执行。可替换地,某一像素可以被视为代表每一行。

[0107] 在现有文献中,假设源10覆盖每一个帧的全部或者几乎全部。然而,情况常常并非如此。此外,所发射的光未必与捕获过程同步,这可能导致另外的问题。

[0108] 在针对编码光检测而使用滚动快门相机中的特别问题因此出现,因为充当编码光传送器的光源10实际上可能仅覆盖每一个帧16的行18的部分。实际上,仅图2中的行24包含记录编码光源的强度变化的像素并且因而引起包含有用信息的样本。还参见图3。所有其余“每一帧的行”22及其衍生样本不包含涉及感兴趣的源10的编码光信息。如果源10为小,则一个可以仅获取每一个帧16中的编码光源10的短时间视图并且因此现有技术仅允许非常短的消息。然而,可能合期望的是具有还传送较长消息的可能性。还要指出,可以存在“隐藏”或无效的一些行26,例如由于所选帧格式(仅留下贡献于所捕获的图像的有效行21)。

[0109] 除上文之外,可以可替换地或者附加地存在一个或多个其它问题。在实施例中,问题可以包括:首先,滚动快门可能导致编码光源的短时间中断视图;其次,可能存在“自动化曝光控制”与编码光之间的感兴趣冲突;再次,当前的驱动器技术仅允许低频信令,这可能引起闪烁;和/或最后,由滚动快门过程引入的滤波效应可能导致符号间干扰(ISI)。

[0110] 因此,现有技术可能不足够灵活和/或易于出错或者干扰。以下实施例的目标是在滚动快门相机中组合来自多个视频帧的信息,使得比其在单个视频帧中的足迹更长的消息可以被捕获和解码。在实施例中,这涉及:

[0111] (i) 使用单个格式,其中消息通过传送器而循环地重复;以及

[0112] (ii) 在接收器处,运用消息的重复时间(Tm)的知识以及帧持续时间(Tframe)的知识以用于从在每一个帧中获取的部分快照重构完整消息。为此目的,本公开提供一种收集并且重新聚集从多个帧所收集的数据的方法。

[0113] 消息循环地重复,并且在接收器处,消息随时间而有效地重新聚集(例如,对于某些消息,这可以实际上花费1或2秒,例如如此30-60个帧)。为了使得能够实现这一点,下文描述用于在光中编码信息的特定数据格式。

[0114] 信号的解码的部分继而使用在本文中称为“重新聚集”的方法来描述。为了促进解码,消息持续时间和/或相机的Texp以使得便宜的滚动快门相机能够相当快速地检测完整消息的方式调整。

[0115] 一旦消息被重新聚集,则将对使其均衡。“常见”方案是取得消息并且有效地使用切分器来确定信号的精确时序并且然后使其均衡。然而,根据下文的实施例,这可以使用相

当高效的鲁棒维纳滤波器实现方案而以智能方式实现(优选地,使得整个解码算法可以实现在标准普通移动电话上)。

[0116] 鲁棒维纳滤波器考虑到信道的非确定性并且以此方式可以减少符号间干扰 (ISI)。在下文的实施例中,在重新聚集之后使用该滤波器,但是要指出,其也可以使用在其它系统中(不仅仅限于均衡滚动快门的影响,甚至也不仅仅限于编码光应用)。

[0117] 消息格式

[0118] 下文描述允许多个视频帧的信息的可靠组合的消息格式,使得长于“足迹”的消息以及甚至具有许多帧的持续时间的消息可以被捕获和解码。此外,信号格式允许同步(维纳类)均衡以撤销由相机在接收器处引起的ISI。另外,消息的频率内容可以使得不存在可见闪烁或者闪频效应,甚至是对于具有例如18Hz的重复频率的消息长度(非常敏感的闪烁频率)。

[0119] 这样的消息格式的示例在图7中示出。为了确保甚至在给定小足迹的情况下可以捕获消息,编码光信号根据格式而传送,其中相同消息28连续地重复多次,并且该时序相对于相机的曝光时间——或者预期相机的可能曝光时间的范围——配置使得消息在多个帧之上“滚动”。也就是说,以允许在看到消息的不同部分时随时间而累积完整消息的方式,使得消息的不同部分由相机在多个不同帧中的每一个中看到。这里的问题因此在于,其中相对于曝光实际Texp或者预期曝光时间而选择消息长度(持续时间)的方式,使得在重构时滚动快门相机对每一个帧中的消息的另一部分成像(其中消息的部分未必连续,并且实际上对于滚动快门相机,它们通常将不连续)。消息时序可以响应于经由适当返回信道而馈送回来的特定相机的曝光Texp的实际知识而适配,返回信道诸如为接收器4与传送器2之间的RF信道(“所协商的格式”),或者可替换地,时序可以以预确定的方式格式化以预期到该格式设计成适应的相机的可能曝光时间值Texp的范围(“通用格式”)。

[0120] 在实施例中,除消息的实际数据内容(有效载荷)30的长度(持续时间)之外,消息长度Tm可以通过包括相同消息的重复实例之间的消息间空闲时段(IMIP)34来选择。这样,甚至在消息内容单独地将导致每一个帧看到消息的差不多相同部分的情况下,消息间空闲时段可以用于破坏该行为并且替代地实现以上讨论的“滚动”条件。在实施例中,可以给定Texp的反馈而适配消息间空闲时段(“所协商的格式”),或者消息间空闲时段可以预确定以适应Texp的可能值范围(“通用格式”)。

[0121] 如所提及的,滚动条件链接到滚动快门相机的曝光时间(即行曝光时间)Texp。不存在针对此的一个单独解决方案,其更多地是避免Tm和Texp的组合不满足条件(很快更加详细地讨论)。在尝试通用格式的情况下,发明人已经发现,只要Texp <= 33ms或者(1/30) s(大概地),就可以确保可以获得高效的解决方案。

[0122] 另一问题是符号间干扰(ISI),其是每一行的曝光的滤波效应的结果(有效地,当曝光每一行时,在时域中应用框滤波器)。为了缓解这一点,在实施例中,消息格式布置成使得消息的每一个实例包括多个单独分组29(例如至少三个)并且包括每一个分组之间的分组间空闲时段(IPIP)32。在实施例中,分组间空闲时段跟随每一个分组,其中消息间空闲时段(IMIP)34标记在最后分组之后的结尾上(可以存在甚至仅一个分组,其中IPIP 32和潜在地IMIP 34跟随)。

[0123] 符号间干扰然后是分组长度和分组间空闲时段的函数。行中的数据符号越多,符

号间干扰 (ISI) 就越多。因此, 合期望的是保持分组长度为小, 其中具有它们之间的良好尺寸间隔。数据脉冲之间的空闲间隙 (没有数据, 例如全部零) 帮助缓解符号间干扰, 保持分组长度为短同样如此。再次, 这些性质可以响应于经由诸如接收器 4 和传送器 2 之间的 RF 信道之类的适当返回信道而馈送回来的特定相机的曝光时间  $T_{exp}$  的实际知识来适配 (“所协商的格式”), 或者可替换地, 时序可以预确定的方式格式化以预期到该格式设计成适应的相机的可能曝光时间值  $T_{exp}$  的范围 (“通用格式”)。在实施例中, 发明人已经发现, 通过至少  $T_{exp}$  的分组间空闲时段而分离的不长于 9 位的分组长度提供在缓解 ISI 方面的良好性能。出于巧合, 9 位还有利地允许一个数据字节加上同步位。不管怎样, 在其它实施例中, 可以容忍的是高达 12 位或者甚至高达 17 位的分组长度。

[0124] 除了实现 “滚动” 之外, 另一潜在问题是同步。接收器具有用于与所接收的信号同步的消息格式的模板——例如, 其知晓在 IPIP+IMIP 的间隙之后预期到同步位, 然后是数据字节, 然后是 IPIP, 然后是另一同步位和数据字节等。通过比较该模板与所接收的编码光信号, 接收器可以与信号同步。在实施例中, 为了帮助同步, 发明人已经发现, 消息间空闲时段应当优选地为相关调制代码的至少 4 个符号, 例如 4 个三值曼彻斯特符号。

[0125] 在给定以上考虑的情况下, 示例性消息格式包括:

[0126] (i) 使用信号格式, 其中消息通过传送器循环地重复 (许多次), 由此允许来自连续视频帧的足迹的 (临时) 组合, 每一个足迹包含部分所接收的消息, 以用于获取完整所接收的消息——消息大小可以选择成使得通过循环重复最终可以恢复整个消息;

[0127] (ii) 消息具有通过分组间空闲时段分离的相对短分组 (例如具有 19 位) 以用于允许均衡器在存在由不可控相机曝光时间设置引入的严重 ISI 的情况下重构原始传送的波形; 以及

[0128] (iii) 使用三值曼彻斯特 (TM) 的形式作为无 DC 调制代码, 从而引起低频分量的额外抑制, 由此消除低符号频率下的闪烁。

[0129] 变形也是可能的。例如, 尽管优选调制代码是三值曼彻斯特 (其可以由首字母 TM 简称), 但是可以可替换地使用其它代码 (优选地无 DC 或低 DC 内容, 其中没有可见闪烁), 例如常规曼彻斯特或不归零制 (NRZ)。下文还进一步描述用于格式参数的各种有别有利的选择 (例如 IMIP)。在另外的实施例中, IPIP 可以调谐到最大曝光时间。当曝光时间  $>$  IPIP 时, TM 符号长度也可以调谐到曝光时间。在又另外的实施例中, 引导解扰可以用于中等长度消息和/或未扰码短分组用于短消息。

[0130] 返回到图 2, 现在讨论一些另外的细节。如所提及的, 现有文献假设要解码的源覆盖几乎或者完整地每一个帧。假设要解码的单个消息的持续时间使得其可以在单个帧中的源的足迹中捕获。认识到的是, “隐藏行” 26 可能因为帧的摄取与数据分组之间的异步性而形成问题。建议的是, 消息可以重复使得至少一个重复满足在单个帧内完全捕获的条件。然而, 用于编码光的现有数据格式可能仍旧遭受数个问题。

[0131] 如上文所讨论, 因为充当编码光传送器的光源可能仅覆盖每一个帧的行的部分, 所以出现在针对编码光检测而使用滚动快门相机时的特别问题 (再次参见图 2)。实际上, 仅覆盖源的行包含记录编码光源的强度变化的像素。所有其余行和像素不包含涉及感兴趣的源的编码光信息。如果源为小, 则一个仅获取每一个帧中的编码光源的短时间中断视图并且因此现有技术仅允许非常短的消息。

[0132] 另一问题在于,当前的智能电话,诸如iPhone和iPad不允许通过“app”控制曝光时间Texp和ISO。现有自动化内置控制算法通常引起长的曝光时间,其在相机检测之后引起由光源顺序传送的数字符号之间的严重符号间干扰(ISI)。

[0133] 另外,如果所传送的数字信号的带宽(符号速率)非常有限(比方说在1和8kHz之间的符号速率),则当前的LED驱动器技术仅允许便宜、能量高效的解决方案。对于这样的低频率,闪烁和闪频效应可能变得严重,除非在信号格式中考虑特殊防范以用于抑制低频率。仅具有无DC代码不总是充分。

[0134] 本公开描述了一种信号格式,其允许多个视频帧的信息的可靠组合使得比“足迹”长的消息以及甚至具有许多帧的持续时间的消息可以被捕获和解码。此外,信号格式允许异步(维纳类)均衡以撤销由相机在接收器处引起的ISI。最后,消息的频率内容可以使得不存在可见闪烁或闪频效应,甚至是对于具有例如18Hz的重复频率的消息长度(非常敏感的闪烁频率)。

[0135] 传送器处的典型编码光信号的快照在接下来描述的图9中描绘。假设光源可以使(瞬时)发射的光强度在0和1之间变化。在图9中,平均光强度(DC)设置成0.8,并且编码光信号的幅度等于0.1。编码光信号叠置到平均(DC)光水平上。

[0136] 在该示例中具有161ms的持续时间的消息包括3个分组,每一个分组包括9个TM编码位。消息通过传送器循环地重复(在图9中示出3个重复)。TM符号速率等于1kHz(每一秒1000个TM符号)。

[0137] 消息的每一个分组在该示例中尾随有33个TM符号的分组间空闲时段(~33ms)。在每一个消息的结尾处,存在(额外的)5个TM符号的消息间空闲时段,从而导致下一消息的第一分组与当前消息的第三分组之间的33+5=38个空闲符号的总体空闲时段。图9描绘了消息的3个重复,其中每一个消息包含3个分组。

[0138] 图10描绘了图9的单个消息,其中DC已经被移除并且已经使信号的幅度等于1。每一个分组的有效部分包含9个TM编码位,从而引起 $2*9+1=19$ 个TM符号。要指出,每一个分组的第一和最后TM符号具有 $\pm 0.5$ 的幅度,这与TM编码规则一致。如在图9和10中描述的消息格式可以使用具有任何给定Texp使得 $Texp \leq 1/30$ 的相机来解码。一般地,所有参数,诸如例如TM符号速率、空闲时段、调制代码,可以选择成促进检测。

[0139] 用于使消息循环重复的原因在于,在滚动快门相机影片的每一个帧处,仅所传送的消息的小部分可以是可恢复的。该部分的大小取决于相机的图像中的光源的大小(足迹),以及消息的持续时间的大小。例如,如果光源的大小使得仅帧的行的14%由光源所覆盖,并且如果消息的持续时间在5个帧的量级(假设记录速度为30帧/秒),则仅大约消息的30%潜在地从单个影片帧可恢复。

[0140] 如果消息持续时间关于影片的帧速率精细地选择,则影片的连续帧揭露重复消息的不同部分使得最终恢复整个消息。

[0141] 图8针对帧速率29.97fps描绘了用于获取完整消息所要求的帧的数目如何取决于消息持续时间以及图像中的足迹的大小。

[0142] 下文考虑在图8中示出的关系。对于持续时间Tf的每一个帧,获取消息的持续时间Tfootprint的视图。N个连续帧的N个足迹的群集必须覆盖至少1个完整消息。足迹必须在消息之上“滚动”。足迹具有等于帧速率(=29.97Hz)的重复频率,消息具有重复频率 $1/T_m$ ,并且

这些频率必须“足够”不同。

[0143] 还可能期望的是最小化N,因为大的N导致大的反应时间。而且对于“小”足迹,人们可能期望小N,例如N=30~1秒。

[0144] 传送器频率偏差导致T<sub>m</sub>变化。一些偏差可能引起“缓慢滚动”或者甚至没有滚动。N必须针对标称值附近的某一消息范围而保持合理。

[0145] 现在考虑在以下情况下利用足迹覆盖消息所发生的情况:

[0146] – 相对足迹 $\alpha = T_{footprint} / T_f = 0.4$

[0147] –  $0 < \alpha \leq 1$ (在实践中,由于隐藏行,例如 $0 < \alpha \leq 0.88$ )

[0148] 如果T<sub>m</sub>大约为T<sub>f</sub>,则消息仅仅滚动(每一个帧实际上看到消息的相同部分)。但是如果T<sub>m</sub>为大约T<sub>f</sub>的1.5倍,则消息“切换”使得每一个其它帧看到消息的交替部分,但是一些部分重复地丢失。

[0149] 结果显示,如果 $\alpha < 1$ ,则人们获得“非滚动”足迹,如果消息持续时间T<sub>m</sub>是帧持续时间T<sub>f</sub>的倍数的话。如果 $\alpha < 0.5$ ,则人们获得“切换”足迹,如果T<sub>m</sub>是T<sub>f</sub>的半整数倍的话(0.5, 1.5, 2.5, …)。

[0150] 一般地,如果 $1/(n+1) < \alpha \leq 1/n$ ,其中n是整数,则人们遭遇“非滚动”足迹,如果以下成立的话:

$$[0151] \frac{T_m}{T_f} \in \left\{ \frac{k}{m} \mid m = 1, \dots, n, \quad k \in N^+ \right\}$$

[0152] 结果显示,如果以上比例“接近”“非滚动”比例中的一个,则滚动可能已经是非充分的。结果还显示,如果以上比例“接近”“非滚动”比例中的一个,则滚动可能已经非充分。

[0153] 结果是如在图8中看到的复杂关系。

[0154] 调制代码

[0155] 用于低位率的优选调制代码是三值曼彻斯特(TM),因为可能引起闪烁的低频分量的额外抑制。出于以下两个原因,低位率可能是势在必行的:(i)针对LED光源的驱动器的最小要求效率以及有限的可承受复杂性;和/或(ii)用于获取可以针对非常长曝光时间而恢复的信令速度。

[0156] 比较NRZ、曼彻斯特和三值曼彻斯特,要指出,NRZ(实际上:没有调制代码)具有非常高的DC内容。从磁性记录公知并且还提出用于IEEE可见光通信(VLC)标准的曼彻斯特调制代码被称为无DC代码,即频率零处的频谱内容等于0。三值曼彻斯特调制代码是所谓的无DC<sup>2</sup>调制代码,从而暗示着相比于比如曼彻斯特这样的无DC代码,DC附近的频谱密度保持小得多。在针对低频率的频谱中,相比于曼彻斯特,T<sub>m</sub>因此是有利的。对于闪烁,高达100Hz的频率是重要的。

[0157] 由于信号格式利用散布有空闲符号的相对短的分组,所以人们可以通过使每一个分组无DC<sup>2</sup>而保证消息无DC<sup>2</sup>。这通过使用TM脉冲响应调制用户位而实现{-0.5, 1, -0.5}。要指出,9个用户位的分组引起19个TM符号的TM编码分组。

[0158] 对于较大的位率,还可以设想到其它调制代码,也许是甚至多水平无DC调制代码(例如四值曼彻斯特),假定频谱密度不会引起可见闪烁的话。

[0159] 要使用的调制代码可以以允许驱动器的实际实现方案中的某种自由度的方式

而限定,例如对于具有幅度调制(AM)实现方案的驱动器或者对于具有脉冲宽度调制(PWM)实现方案的驱动器。这暗示着,相比于传统调制格式,要传送的波形的实际形状没有针对编码光精确地限定。

[0160] 限定用于编码光的调制代码的优选方式将是限定应用于最佳采样点处的调制器输出波形的全T移动平均滤波器的输出的可接受值和规则。

[0161] 分组长度

[0162] 转向分组长度的讨论,分组长度优选地选择成使得最差情况数据图案仍旧在最差情况曝光时间之下可恢复。

[0163] 在图11中示出示例。考虑对应于包括所有那些的9个位的TM编码分组的传送波形36( $f_{symbol}=1\text{kHz}$ )。如果该波形由具有 $T_{exp} = 1/125 \text{ [s]}$ 的相机检测,则通过视频帧的序列的恰当处理,人们可以获得相机的输出处的1维接收波形38。要指出,通过卷积传送信号与对应于 $T_{exp}$ 的FIR滤波动作的矩形框函数(在 $T_{exp}$ 秒之上移动平均),作为传送信号的失真版本的接收信号可以如将由相机生成的那样看到。

[0164]  $T_{exp}$ 的移动平均滤波引起分组的TM符号之间的符号间干扰(ISI)。要指出,接收信号的幅度关于传入传送信号的减少。还要指出,在分组的后半部分中,接收信号的幅度已经减少为零。最后要指出,接收信号以8ms延伸超出传送信号,因为通过 $T_{exp}$ 的因果FIR类型滤波。接收器中的信号处理的任务是从接收信号重构传送信号。

[0165] 图12示出频域中的相同情况。曲线40表示包括所有那些的单个9位TM编码分组的频谱表示(傅里叶变换)的绝对值。曲线42表示“ $T_{exp}$ 移动平均滤波器”的转移函数的绝对值。频域中的接收信号是两个频谱表示的点积。要指出,ISI滤波器的零对于接收信号特别有害,因为在那些频率处(以及在零的相邻区中的频率处)的信号有效地从传送信号移除。

[0166] 如果人们考虑传送信号从接收信号可恢复,则要求至少充足的信号强度在利用ISI滤波器对传送信号滤波之后针对 $T_{exp}$ 的所有合理选择都保持。对于发生这一点,传送信号的频谱表示必须跨许多频率充分“扩展”(针对分组的位内容的所有可能选择)。如果分组长度在9位的量级下,则情况将是如此。

[0167] 另一方面,如果人们将使分组(包括所有那些)长于9位(比方说17位),则这样的长分组的频谱表示将仍旧浓缩在500Hz附近,但是其频谱宽度将使原始分组的大约1/2。结果显示,在该情况下,太多的信号能量被ISI滤波器所破坏。

[0168] 发明人已经发现,使用具有 $f_{symbol}=1\text{kHz}$ 的TM调制,对于从比方说9到12位的分组长度,人们可以针对所有 $T_{exp} \leq (1/30) \text{ s}$ 足够精确地恢复传送信号,假设分组间空闲时段(IPIP)至少为 $T_{exp}$ 的话。要指出,如果IPIP=  $(1/30) \text{ s}$ ,则固定传送信号格式针对所有 $T_{exp} \leq (1/30) \text{ s}$ 而工作。这可以用于提供通用信号格式。

[0169] 如果分组长度在12和17位长之间,则结果显示,眼睛图案的最小眼睛高度通过具有欠佳频谱表示的仅几个“不利”位图案来确定,其可以被“ $T_{exp}$ 移动平均滤波器”以使得其不可恢复的这种方式而破坏。如果那些不利位图案仅为几个,则人们可以通过所谓的“引导扰乱”而避免那些发生。然而,结果显示,人们要求16个不同扰乱图案的量级以用于应用有用的引导扰乱。由于扰乱图案的索引还必须编码在每一个分组中,所以有用位的数目再次将减少为每一分组8或9个。所以对于非常短的重复消息,未经扰乱的短分组可以被认为是最有用的。对于较长消息,引导扰乱可能非常有用。

[0170] 从多个分组重构的消息

[0171] 为了将有用数量的消息从光源传送到相机接收器,重构包括p个分组的级联的消息,其中每一个分组具有其自身的位内容。在每两个分组之间存在至少分组间空闲时段(IPIP)以防止不同分组之间的ISI串扰。在消息的结尾处,存在额外的消息见空闲时段(IMIP)。包括p个分组的消息循环地重复。

[0172] 在优选实施例中,p=3,所以有效地每一消息传送3个字节的信息(24位)。

[0173] 分组间空闲时段

[0174] 分组间空闲时段(IPIP)的目的是限制由相机的曝光时间(Texp)向单个分组所引入的ISI。在优选实施例中,IPIP的持续时间应当等于最大预期曝光时间Texp\_max。这可以提供通用IPIP格式,因为其允许消息针对任何Texp的恢复,如果Texp  $\leq$  IPIP = Texp\_max的话。

[0175] 发明人还已经发现,对于仔细选择的TM符号速率,如果Texp > IPIP,则消息可恢复,其中仔细选择的TM符号速率然后取决于相机所使用的实际Texp。针对该情况而运用增强信令速度的格式将属于“所协商的信号格式”,因为传送光源和相机接收器应当就传送参数(诸如TM符号速率、每一消息的分组数目、IPIP和/或IMIP)的选择达成一致,以确保可以接收实际编码光传送。这些参数的选择取决于例如Texp、帧速率、行速率和光源的足迹的可用相机设置。

[0176] 要指出,尽管根据IPIP跟随每一个分组并且额外的IMIP标记在最后IPIP的结尾上而描述本文的实施例,但是在可替换描述或实现中,IPIP可以仅引入在相同消息的相邻分组之间,其中接着最后消息的结尾的总体空闲时段是IMIP。

[0177] 消息间空闲时段

[0178] 消息间空闲时段(IMIP)是在最后IPIP之后所附加的空闲时段,其尾随消息的最后分组。IMIP可以以TM符号来测量。

[0179] IMIP服务于两个目的

[0180] (i)为了确保总体消息持续时间使得其在给定帧速率的情况下满足良好的“滚动性质”,即使得连续帧的足迹尽可能快速地揭示整个消息,和/或

[0181] (ii)IMIP的第二目的是提供消息的循环重复内的空闲时段和分组的图案中的不对称性。该性质可以使用在接收器的循环同步中。

[0182] 格式的同步元素

[0183] 为了同步的目的,信号格式的两个元素是重要的。

[0184] (i)每一个9位分组的第一位作为同步位的使用。在优选实施例中,消息的第一分组的第一位应当为1,而所有其余分组的第一位应当为零。

[0185] (ii)消息间空闲时段(IMIP)的使用。非零IMIP的存在打破重复消息中的规则时间分组结构,因为在消息的最后分组之后的总体空闲时间长于其它分组之间的空闲时间。

[0186] 在优选实施例中,IMIP应当具有至少4个符号的持续时间。

[0187] 示例参数

[0188] 在给定以上所有考虑的情况下,一些示例参数选择为:

[0189]  $f_{symbol} \geq 1 \text{ kHz}$  (闪烁和闪频),

[0190] 设想的分组持续时间:

- [0191] 对于 $f_{symbol} \sim 1$  kHz, 大约52 ms ( $\geq 49$  ms)
- [0192] 对于 $f_{symbol} \sim 2$  kHz, 大约26 ms ( $\geq 24.5$  ms)
- [0193] 对于 $f_{symbol} \sim 4$  kHz, 大约13 ms ( $\geq 12.25$  ms)
- [0194] 消息持续时间 $T_m$ 是分组持续时间的整数倍, 和/或
- [0195] 感兴趣的消息持续时间: 大约26, 52, 104ms。
- [0196] 例如:
- [0197] 曝光时间小于或等于(1/30) s, 符号速率为1kHz并且分组是包括分组间空闲时段的52ms;
- [0198] 曝光时间小于或等于(1/60) s, 符号速率为2kHz并且分组是包括分组间空闲时段的26ms; 或者
- [0199] 曝光时间小于或等于(1/120) s, 符号速率为4kHz并且分组是包括分组间空闲时段的13ms。
- [0200] 其它示例参数选择:
- [0201] 具有158ms持续时间@ 1kHz符号速率的3分组格式(具有CRC), 其中158ms对应于具有33个符号的IPIP和2个符号的IMIP的3字节消息; 或者
- [0202] 分组长度70个符号~35ms @ 2kHz, 其中35ms对应于具有3个符号的IPIP和4个符号的IMIP的3字节消息(例如该格式可以使用在将 $T_{exp}$ 控制成小于(1/500) s的情况下)。
- [0203] 在所协商的格式情况下, 控制器可以布置为在参数的多个组合的列表之间选择, 包括一个或多个这些组合中的任一个和/或其它组合。在通用格式中, 预选择一个特定组合以满足尽可能多的相机(或者相当的曝光时间)。
- [0204] 循环冗余度检查(CRC)
- [0205] 在优选实施例中, 消息包括若干分组, 其中每一个分组包括1个字节的信息。在使用CRC的情况下, 建议的是每一个消息的最后字节是8位CRC。由于通过接收器解码循环重复信号格式所递送的重复解码结果, 所以人们可以获得潜在地传送消息的许多实现, 其允许通过比较相同消息的连续解码变形的解码结果而增强接收消息的可靠性。
- [0206] 在优选实施例中, CRC通过预负载和奇偶性反转来表征。预负载可以是应用特定的, 由此允许接收器区分来自适用于相同环境中的不同应用的消息。要指出, 存在使用中的不同预负载的数目与CRC的有效误差检测能力之间的权衡。
- [0207] 多个消息
- [0208] 发明人已经发现, 人们可以传送不同消息 $m_i$ 的级联, 其中每一个消息 $m_i$ 重复N次, 其中N是充足的次数使得相机接收器可以可靠地重构完整消息 $m_i$ , 给定传送光源的足迹的话。在相同消息 $m_i$ 的N个重复之后, 通过仅仅在 $m_i$ 紧后面级联比方说消息 $m_{i+1}$ 的N个重复, 光源可以传送具有相同信号参数的完全不同的消息 $m_i$ 。结果显示, 接收器能够通过观察CRC而识别相干重构的消息。
- [0209] 消息重新聚集
- [0210] 下文描述视频帧的重新聚集或“压合”以用于通过相机的编码光消息恢复的过程。接收器接收如上文那样格式化的信号并且将消息的部分重新聚集成完整消息, 其然后提供用于另外的处理。
- [0211] 在实施例中, 重新聚集过程包括以下:

[0212] (i) 对于多个帧中的每一个,建立如上文所述的每一图像行的样本(再次参见从图2中的行18所取得的样本19)。

[0213] (ii) 将给定帧的所有(有效)样本收集到时间序列中(每一个定位在来自该行的样本在帧内所定位于的相应时间处)。该序列形成针对每一个帧的“边际”或“帧信号”。

[0214] (iii) 接下来利用零扩展信号,从而导致“扩展边际信号”或“扩展帧信号”,其中每一个扩展信号的持续时间是消息持续时间的n倍(n为整数)并且其中持续时间长于帧持续时间。

[0215] (iv) 接下来使有效样本时间对准,即在由扩展信号限定的时间帧或标度内使每一行的样本向右便宜Tframe。这循环地完成,即以卷绕超出扩展帧信号长度的结尾的卷绕方式。这样,扩展帧框架内的样本的偏移位置使得其促进重新聚集。

[0216] (v) 接下来样本坍塌(即重新聚集)。在实施例中,可以通过进一步偏移一个测量结果而找到不同的重构。

[0217] 一旦重构,信号就可以被滤波以消除符号间干扰(ISI),例如使用维纳滤波器。

[0218] 在实施例中,ISI滤波器足够鲁棒以应对重新聚集数据中的间隙(该鲁棒性至少部分地是调制代码、消息格式和维纳滤波器的结果)。过程还可以允许所跳过的帧的精细处置。

[0219] 在另外的实施例中,作为附加特征,过程还可以允许接收器基于重构信号的相关性而相对于Tm或Tframe的时序校正时钟偏差。

[0220] 消息重新聚集过程的示例将很快更加详细地讨论,但是首先参照图1-4阐述接收器前端的一些示例细节。

[0221] 在实施例中,本文公开的基于相机的数字编码光接收器非常不同于使用无线电或IR通信的数字信号的公知接收器种类。编码光接收器的一般结构以及用于执行编码光接收器内的子任务的详细算法二者非常不同。

[0222] 基于相机的编码光接收器的输入包括以已知格式拍摄的影片。例如,公知的视频格式是480p,具有以每秒29.97帧(fps)拍摄的帧的前进扫描格式,其中每一个帧包括480行并且每一行包含640个像素。编码光接收器包括应用于该影片以用于获取调制光源的数字内容的数字信号处理。

[0223] 由接收器执行的信号处理可以包括2D信号处理和1D信号处理。2D信号处理可以包括:

[0224] (i) 用于提取编码光信号的适当颜色(R、G或B)或者颜色的适当组合的选择;

[0225] (ii) 使用团块方案的图像分段,从而高效地标识包含编码光源的图像中的各区;

[0226] (iii) 标识每一个团块内的空间滤波器“有效像素”;

[0227] (iv) 使用边际的高效运动补偿(针对每一个光源独立地);和/或

[0228] (v) 通过每一行的有效像素的组合而计算信号“边际”(计算源自于图2中的每一行18的样本19)。

[0229] 2D信号处理可以包括:

[0230] (i) 使用帧内的相关性以用于估计传送时钟(对于足迹>>消息的持续时间而言最佳地工作);

[0231] (ii) 假设使用上述信号格式,其中消息由传送器循环地重复,并且运用消息的重

复时间( $T_m$ )的知识以及每一秒的帧数目( $T_{frame}$ )的知识以用于从每一个帧中所包含的部分快照来重构完整消息(这是将很快更加详细描述的重新聚集过程)；

- [0232] (iii) 使用连续重构信号之间的相关性以用于估计传送时钟；
- [0233] (iv) 使用消息的单个时段上的鲁棒维纳滤波以用于缓解 $T_{exp}$ 所引起的ISI；
- [0234] (v) 如果重新聚集进程已经在重构中留下孔隙，则应用鲁棒维纳内插；
- [0235] (vi) 通过使用同步模板的处理来寻找全局循环同步；
- [0236] (vii) 通过就全局循环同步所给定的最佳采样点做出决定而解码各位；和/或
- [0237] (viii) 检查连续重构消息上的CRC。如果n个连续重构中的m个具有 $CRC=OK$ ，则接受消息。

[0238] 对于特定消息格式和给定足迹，可以例如取得30个连续帧以用于重新聚集完整消息。如果人们具有2秒(比方说60个帧)的解码，则接收器可以生成相同消息的31个不同实现。在实施例中，通过比较这些不同解码结果，可能帮助接收时钟与接收信号的同步。

[0239] 关于适当颜色的选择，结果显示，适当颜色的选择对于恢复编码光信号可能是重要的。例如，颜色绿色(G)由相机中的最高像素密度表征，因而给出编码光信号的最高空间(以及由此时间)分辨率。如果编码光使用高符号频率(宽带宽)，则这可能具有重要性。另一方面，结果显示，如果光源具有高密度，并且如果 $T_{exp}$ 相当长，则颜色蓝色(B)是有利的，因为该颜色往往引起像素的较少修整。

[0240] 参照图2-4，对于图像分段，本公开的实施例使用“团块”方案以用于识别可以与可能地传送编码光信息的灯相关联的图像中的区。典型地，团块是图像中的高强度区(例如参见图3)。算法可以识别并且辨别图像中的不同团块。例如，使用团块的边缘允许高效地追踪团块并且限制与视频序列的不同帧中的每一个团块相关联的2D信号处理。

[0241] 为了寻找团块内的贡献像素，仅那些经调制的像素，即由于调制光源而具有充足强度变化的像素，有效地贡献于信号。其它源像素仅有效地产生“噪声”或其它不想要的副作用。典型地，被修整的像素也被移除以便不做另外考虑(例如参见图4)。还移除具有非充分强度的像素。属于光源的“贡献像素”的所得集合可以表示为二值空间2D滤波器。

[0242] 下面描述在作为每一个帧中的“边际”所获取的样本上操作的算法(在图2中的样本19，即“行组合式”样本)。

[0243] 图3描绘了指示感兴趣的源的接收器生成的二值图片。图4以二值形式示出每一个帧中的所选源的贡献像素。要指出，源的中心部分中的像素不做贡献，因为那些像素被过曝，即修整。

[0244] 图13示出了影片中的100个连续帧镜头中的每一个的“边际信号”(由来自图2的样本19形成)，每一个样本通过其对应行的有效像素的恰当操作而获得。也就是说，每一个“边际信号”是从一个给定帧16所获得的信号，其中样本19从时间定位在它们被采样的帧持续时间内的相应时间处的该帧的每一个有效行18所取得。要指出，在图2中，对应于单个帧的连续样本的时间轴自顶向下，而在图13中，单个帧中的连续样本的时间轴自左向右(其中页面横向)。在图13中，100个连续视频帧(每一个帧生成单个1维信号)堆叠在彼此顶部上，连续帧自顶向下。

[0245] 还要指出，尽管 $T_{frame}$ 等于大约1/30~33ms，但是单个帧的边际信号由于隐藏行26而具有仅大约26.5ms的持续时间。在图13的底部处示出条46，其指示源自覆盖每一个帧中

的光源的行的样本,即仅每一行的这一部分包含源自源的样本。对于该示例,结果显示,源关于帧的足迹,FSF~0.14,即仅大约每一帧的行的14%,实际上包含源的像素。

[0246] 在图14中示出如何使用已知持续时间Tm和Tframe来生成“扩展边际信号”或“扩展帧信号”,每一个是从相应帧所采样的信号的扩展版本。这如下完成。

[0247] (i) 针对每一个帧限定伸展,即在图13的有效样本周围的时间区(例如在其之后扩展),使得获取m乘以Tm的伸展持续时间,其中m是方便选择的整数。要指出,零可能总是在有效帧外部添加或移除。

[0248] (ii) 计算num\_periods = ceiling( Tframe / (m\*Tm) ),其中“ceiling”意指算到最近整数。

[0249] (iii) 将每一个伸展循环重复num\_periods次,使得针对具有至少Tframe的总体持续时间的每一个帧获得“扩展边际信号”。要指出,扩展边际信号总是具有比Tframe大的持续时间,并且其是Tm的整数倍。

[0250] 在示例中,Tm = 158 ms; Tframe = 33.36,所以m=1并且num\_periods=1,并且每一个帧通过零扩展以获得158ms的伸展(=消息的1个时段)。要指出,每一个帧中的实际有用观察(伸展)仅是完整消息的大约0.03的比例,其由图14中的条48指示。人们可以说,源关于消息的足迹,FSM,~0.03。

[0251] 要指出,在实施例中,不必使用两个分离的整数m和num\_periods。关键在于确定作为消息长度(持续时间)的整数倍并且比帧长度(持续时间)Tframe场的时间段。该时段限定从不同帧获取的信号可以在其内对准的参考时间标度或参考帧,如下文所讨论。

[0252] 源自不同帧的观察的时间对准使用Tframe以及如上文所解释的那样确定的现在限定的参考帧框架或标度来执行。每一行的“扩展边际信号”关于其之前的帧的扩展边际信号而向右偏移Tframe。然而,由于扩展边际信号为消息持续时间Tm的倍数,并且因为传送消息循环地重复,所以人们可以利用循环(卷绕)偏移来替换每一个扩展边际信号的偏移,由此获得图15中的结果。

[0253] 也就是说,如所提及的,以上讨论的“扩展”提供时序参考时段,其限定将从每一个所获取的信号定位在其内的标度或帧框架。该参考时段具有作为消息持续时间Tm的整数倍的长度。此外,其限定的标度或帧框架卷绕。也就是说,超出时序参考时段的结尾,标度或帧框架卷绕回到参考时段的开头。因而,如果来自给定帧的信号相对于其前一帧向右偏移Tframe引起该帧的信号的部分偏移“离开”参考标度或帧的“结尾”或“右手侧”(超出时序参考时段,即超出已经针对该目的而限定的Tm的整数倍),则该信号的部分通过在参考标度或帧的开头处再出现而继续(从时间零相对于时序参考时段而开始)。

[0254] 要指出,在实施例中,不必需要通过添加零而“扩展”来自每一个帧的信号(“边际信号”)。这仅仅是实现创建作为消息持续时间Tm的整数倍的卷绕参考帧的想法的一种方式。实现或考虑这一点的等同方式将是该时序参考时段(作为Tm的整数倍)限定在其上放置来自每一个帧的信号并且在其上使它们以卷绕方式偏移其Tframe的相应倍数的“画布”。

[0255] 还要指出,在所有循环偏移的扩展边际信号中,接收器保持追踪源自编码光源的有效样本的位置。

[0256] 具有如在图15中的结果,接收器现在可以针对消息的每一个时间样本而看向竖直方向以得到具有该位置处的有效贡献样本的帧。

[0257] 从大约为0.03的FSM,人们可以预期到花费至少(0.03)-1~33个帧以恢复完整消息。典型地,由于重叠,所以在实施例中,接收器可能需要大约两倍多的帧以用于完整恢复。

[0258] 从图16可以看出解码器在示例中需要70个连续帧以用于重构完整消息(~2秒的影片)。由于每70个连续帧给出重构,所以100个帧的视频给出31个不同重构(尽管它们相关)。

[0259] 图17示出第一重构消息的重构48的结果(以及鲁棒维纳均衡50的输出)。图顶部处的粗体条的长度指示在该示例中从单个帧获取的完整消息的比例(~3%,~5ms)。

[0260] 在另外的实施例中,以上所述进程还可以应对所谓的“所跳过的帧”。假设可能所跳过的帧通过观察记录由相机给定的时间的帧而检测。如果跳过帧,则对应边际信号将不会获取图16和17中的有效支持。因此,重新聚集算法将自动地丢弃对应帧。

[0261] 在又另外的实施例中,通过观察不同重构信号之间的相关性(在图17中它们中的13个),人们可以校正传送器与接收器之间的时钟偏差。如果所有时钟处于完美同步中(假设完美知晓T<sub>m</sub>和T<sub>frame</sub>),则这些不同重构信号将竖直地完美对准(以不同噪声效果为模)。时钟偏差将随着最佳相关性的非零偏移而示出。以此方式,接收器可以适配于传送器时钟。结果显示,甚至在所接收的信号严重受相机的曝光时间所引起的ISI破坏的情况下,该方法也工作。

[0262] 现在讨论为了得到完整重新聚集所要求的最小帧数目。

[0263] 再次考虑在以下情况下利用足迹覆盖消息所发生的情况:

[0264] - 相对足迹 $\alpha = T_{footprint} / T_f = 0.4$

[0265] -  $0 < \alpha \leq 1$ (在实践中,由于隐藏行而例如 $0 < \alpha \leq 0.88$ )

[0266] 如果T<sub>m</sub>大约为T<sub>frame</sub>,则消息的对准看起来像图18那样。

[0267] 如果T<sub>m</sub>大约为T<sub>frame</sub>的1.5倍,则消息的对准看起来像图19那样。

[0268] 结果显示,如果 $\alpha < 1$ ,则人们获取“非滚动”足迹,如果消息持续时间T<sub>m</sub>是帧持续时间T<sub>f</sub>的倍数的话。如果 $\alpha < 0.5$ ,则人们获取“切换”足迹,如果T<sub>m</sub>是T<sub>f</sub>的半整数倍(0.5, 1.5, 2.5, ...)的话。

[0269] 如之前关于图8所讨论,一般地,如果 $1/(n+1) < \alpha \leq 1/n$ ,其中n为整数,则人们具有非滚动消息持续时间T<sub>m</sub>,如果以下成立的话:

$$[0270] \frac{T_m}{T_f} \in \left\{ \frac{k}{m} \mid m = 1, \dots, n, \quad k \in N^+ \right\}$$

[0271] 要指出,针对小m的单一性宽于针对较大m的情况。

[0272] 对于非滚动消息持续时间T<sub>m</sub>=T<sub>0</sub>,限定m<sub>0</sub>,最小m使得m<sub>0</sub>·T<sub>0</sub>=k<sub>0</sub>·T<sub>frame</sub>,因为滚动的次序为T<sub>0</sub>·GCD(m<sub>0</sub>, k<sub>0</sub>)=1。

[0273] 数目m<sub>0</sub>和k<sub>0</sub>确定T<sub>0</sub>的邻居中的足迹和消息的重复图案:大约k<sub>0</sub>个非滚动足迹到达m<sub>0</sub>个消息中。

[0274] 考虑非滚动消息持续时间T<sub>0</sub>的邻居中的持续时间T<sub>m</sub> ~ T<sub>0</sub>的消息:大约1轮m<sub>0</sub>个消息,存在k<sub>0</sub>个部分地覆盖消息的脱节等距足迹。

[0275] 非覆盖部分是T<sub>0</sub> - k<sub>0</sub>·T<sub>frame</sub>,其被分成大小T<sub>g</sub>的k<sub>0</sub>个相等部分,其中

$$[0276] T_g = (T_0 - k_0 \cdot T_{frame} \cdot \alpha) / k_0 = (T_0 - m_0 \cdot T_0 \cdot \alpha) / k_0 = T_0 (1 - m_0 \cdot \alpha) / k_0.$$

[0277] 图18示出消息与连续足迹的时间对准,其中 $\alpha = 0.4$ ;接近于m<sub>0</sub> = 1, k<sub>0</sub> = 1。此处,

消息不会明显滚动并且每一个帧看起来几乎是消息的相同部分(仅非常缓慢地滚动)。

[0278] 图19示出在另一情况下消息与连续足迹的时间对准,其中 $\alpha = 0.4$ ,接近于 $m_0 = 2$ , $k_0 = 3$ 。此处人们看到“切换”。

[0279] 在1轮 $m_0$ 个消息之后,存在 $k_0$ 个间隙,每一个的持续时间 $T_g$ 必须由下一轮中的足迹的增大偏移而覆盖。

[0280] 考虑从一轮到下一轮的足迹的偏移 $\Delta T$ :

[0281] -  $\Delta T = m_0 \cdot |T_m - T_0|$  [ms]

[0282] - 人们需要 $\sim 1+T_g / \Delta T$ 轮以覆盖完整消息

[0283] -  $1+T_g / \Delta T$ 轮对应于 $N_f = (1+T_g / \Delta T) \cdot k_0$ 帧

$$[0284] N_f \approx \left(1 + \frac{T_g}{\Delta T}\right) \cdot k_0 = k_0 + \frac{T_0(1 - m_0 \cdot \alpha)}{|m_0 T_m - m_0 T_0|} = k_0 + \frac{T_0(1 - m_0 \cdot \alpha)}{m_0 |T_m - T_0|}, \quad m_0 \leq n$$

[0285] 要指出,针对 $T_0$ 的邻居中的 $T_m$ 的 $N_f$ 的双曲线行为。还要指出单一性的“宽度”上的 $m_0$ 和 $T_0$ 的效果。

[0286] 鲁棒维纳滤波

[0287] 该以下内容描述解码器的另一部分,其在实施例中允许以上实现具有明显更好的性能并且允许设备与宽得多的范围的相机所使用。

[0288] 引入鲁棒维纳滤波器,其可以用于例如均衡具有未知参数的滤波器 $H(f)$ 所破坏的信号并且通过添加噪声。鲁棒维纳是在MSE含义下产生最佳结果的恒定滤波器,假定滤波器参数的概率分布已知的话。

[0289] 维纳滤波器理论本身在数字信号处理中公知,并且自二次世界大战起已经广泛地使用。维纳滤波器可以例如用于在噪声存在的情况下估计(线性)失真信号。维纳滤波器(均衡器)然后给出最佳(均方误差,MSE)结果。

[0290] 在经典(频域)维纳滤波中,例如去卷积,人们具有两个独立、静止、零平均随机过程 $X$ 和 $N_0$ ,如在图20中所示。

[0291] 在典型应用中, $X$ 表示输入到滤波器 $H$ 的输入信号(在图20中的标号54),并且 $N_0$ 表示在滤波器 $H$ 的输出处所添加的添加噪声。维纳滤波器 $G$ (标号56)布置为均衡滤波器 $H$ ,即撤销滤波器 $H$ 在噪声 $N$ 存在的情况下在输入信号 $X$ 上的效果(以达到最佳近似)。

[0292] 典型应用是利用滚动快门相机检测编码光。在该情况下,等同数字信号处理问题对应于已经由时间框函数所滤波的数字信号的复原。参见图21。也就是说,输入信号 $X$ 表示如由滚动快门相机所捕获的编码光信号,并且滤波器 $H$ 表示滚动快门采集过程的滤波效果。该滤波器 $H$ 由每一行的曝光所创建。其总计在时域中具有宽度 $T_{exp}$ 的框函数(即矩形函数)——即将行曝光时间 $T_{exp}$ ,在该时间中其捕获信号(滤波器 $H$ 的转移函数在时域中均匀地“开启”),并且在此之前和之后其不捕获任何信号( $H$ 的转移函数在时域中为零)。时域中的框函数对应于频域中的sinc函数。该滤波器的效果可以是产生符号间干扰。因而在下文中,由 $T_{exp}$ 创建的滤波器可以在其不想要的效果方面称为“ISI滤波器”。

[0293] (图21和22还示出噪声 $N_0$ 可以如何被视为以下之和:(i)穿过滤波器 $H$ 的滤波器 $H$ 的输入处的噪声项 $n_1$ ,以及(ii)滤波器 $H$ 的输出处的噪声项 $n_2$ )。

[0294] 任务是寻找仅使用 $Y$ 提供 $X$ 的最小均方误差估计的线性滤波器 $G$ 。为了完成这一点,

维纳滤波器G基于要均衡的滤波器H的假设知识(即撤销)以及N<sub>0</sub>来预配置。其分析地配置为使得(在给定N和X的频谱以及H的知识的情况下理论上)向Y应用维纳滤波器(其中Y是输入信号X加上噪声N)将导致输出信号X<sup>^</sup>,其最小化关于原始输入信号X的均方误差(MSE)。

[0295] 经典维纳滤波器公式(在频域中)为:

$$[0296] G(f) = \frac{H^*(f) S(f)}{|H(f)|^2 S(f) + N(f)}$$

[0297] 其中S(f)是输入信号X的频谱密度并且N(f)是噪声项N<sub>0</sub>的频谱密度。

[0298] 如可以看出,维纳滤波器的公式包括要均衡的滤波器的表示,在该情况下以H\*和|H|^2 (= HH\*) .的形式。传统上,在经典维纳滤波器中,假设要均衡的滤波器H(f)和噪声频谱密度N(f)精确地已知。在针对滚动快门采集过程所创建的ISI滤波器均衡的情况下,这暗示着精确地知晓Texp。还假设过程X和N的频谱密度S(f)和N<sub>0</sub>(f)分别已知。

[0299] 然而,维纳滤波器事实上对H(f)的估计中的误差非常敏感。过去已经研发一些技术来应对未知失真,诸如

[0300] - 迭代(耗时)方案,其中人们尝试使目标响应变化直到人们得到最佳结果;或者

[0301] - 最小-最大方案,其中人们尝试标识最差情况H(f)并且针对此而优化维纳滤波器。

[0302] 因此在使用经典维纳滤波进行均衡中的问题在于应用该理论的方面,如果滤波器的增益必须大并且要均衡的滤波器没有非常精确地已知的话。

[0303] 例如,对于信号的带宽为1kHz的量级,其中Texp在一秒的1/30的范围内,ISI滤波器可以引入严重的符号间干扰(ISI),比如在图11和12中所示。

[0304] 为了在接收器侧处撤销这一ISI,将合期望的是提供“强有力的”均衡器滤波器,其对于H(f)的定义中的非准确性不敏感。

[0305] 根据本公开内容,这可以通过计算固定“平均维纳滤波器”而实现,维纳类滤波器是ISI滤波器H(f)的鲁棒未知变形。该“鲁棒维纳滤波器”可以产生MSE方面的更为最佳的输出,给定H(f)的相关参数的统计分布的话。

[0306] 在应用于编码光时,该理论允许人们重构编码光信号,其中相机的Texp仅大概地已知,情况可能通常如此。

[0307] 发明人已经发现最佳鲁棒维纳滤波器的特别高效的偏差。在下文中,在频域中描述该问题(因此在H(f)方面,如之前所引入)。要指出,在应用于编码光时,鲁棒维纳滤波器可以实时地在基于相机(智能电话)的解码算法中构造,因为Texp以及因此H(f)在灯的实际读出期间限定或改变。

[0308] 鲁棒维纳滤波器是基于告知H(f)没有精确地已知,但是事实上可以依赖于至少一个未知量θ,即其值位置的H的参数,并且可以事实上在任何给定情况下在值范围内找到,例如在两个界限-Δ和+Δ之间(或者更一般地Δ1和Δ2之间)。也就是说,假设滤波器H(f;θ)取决于随机参数θ,而与X和N无关。

[0309] 对于宽度为θ的框函数,即频域中的sinc,人们可以写成:

[0310] 
$$H(f;\theta) = \frac{\sin(\pi\theta f)}{\pi\theta f}$$

[0311] 而且在由框创建的ISI滤波器的情况下,  $\theta$ 是Texp。

[0312] 鲁棒维纳滤波器56'然后通过考虑以上给出的经典维纳滤波器表示而创建, 并且其中要均衡的滤波器的表示出现, 从而替换为在未知参数 $\theta$ 的潜在值之上平均的对应平均表示(例如在 $-\Delta$ 和 $+\Delta$ 之间平均, 更一般地在 $\Delta 1$ 和 $\Delta 2$ 之间)。也就是说, 每当基于 $H(f)$ 的项出现时, 这被替换为关于 $\theta$ 所平均的等同平均项。

[0313] 从以上经典公式开始, 这给出:

[0314] 
$$G = \frac{E_\theta[H^*] \cdot S}{E_\theta[HH^*] \cdot S + N_0}$$

[0315] 其中 $E$ 是关于 $\theta$ 的平均。还参见图23。

[0316] 现在进一步详细地解释这一点的派生情况。期望的是寻找提供线性最小均方误差估计的固定线性滤波器 $G$

[0317] 
$$\hat{X}(f) = G(f)Y(f)$$

[0318] 使得

[0319] 
$$e(f) = E_{X,N,\theta}[(X(f) - \hat{X}(f))^2]$$

[0320] 最小。

[0321] 通过还考虑关于 $\theta$ 的总体平均而扩展经典派生情况, 人们获得:

[0322]

$$e = E_{X,N,\theta} \left[ |X - \hat{X}|^2 \right]$$

$$= E_{X,N,\theta} \left[ |X - G(HX + N)|^2 \right]$$

$$= E_{X,N,\theta} \left[ |(1 - GH)X - GN|^2 \right]$$

$$= E_\theta \left[ (1 - GH)(1 - GH)^* \right] \cdot E \left[ |X|^2 \right] + GG^* \cdot E \left[ |N|^2 \right]$$

[0323] 由于 $X, N$ 和 $\theta$ 与 $t$ 无关并且

[0324]

$$\begin{aligned}
 &= E_{\theta} \left[ (1 - GH)(1 - GH)^* \right] \cdot S + GG^* \cdot \mathcal{N}_0 \\
 &= \left\{ 1 - G \cdot E_{\theta}[H] - G^* \cdot E_{\theta}[H^*] + GG^* \cdot E_{\theta}[HH^*] \right\} \cdot S + GG^* \cdot \mathcal{N}_0
 \end{aligned}$$

[0325] 最佳  $G(f)$  通过区分  $e$  与  $G$  并且将结果设置成 0 而找到:

[0326]

$$\frac{\partial}{\partial G} e = \left\{ -E_{\theta}[H] + G^* \cdot E_{\theta}[HH^*] \right\} \cdot S + G^* \cdot \mathcal{N}_0 = 0$$

[0327] 从此人们可以得到:

$$[0328] G = \frac{E_{\theta}[H^*] \cdot S}{E_{\theta}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}$$

[0329] 以类似方式, 人们可以并入匹配滤波器 (MF) 的目标响应:

$$[0330] G = \frac{H_{MF} \cdot E_{\theta}[H^*] \cdot S}{E_{\theta}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}$$

[0331] 为了应用这一点, 保持计算  $E_{\theta}[H^*]$  以及  $E_{\theta}[HH^*]$ 。一些示例在下文给出。[0332] 第一方案是使用  $H$  的泰勒级数展开以及时刻  $\theta$ 。在编码光滚动快门应用中,  $\theta = T_{exp}$ 。

$$E[\theta] = \hat{\theta}$$

$$[0333] E\left[\left(\theta - \hat{\theta}\right)^2\right] = \sigma_{\theta}^2$$

$$H'(f; \hat{\theta}) = \frac{\partial}{\partial \theta} H(f, \theta) \Big|_{\theta=\hat{\theta}} \quad H''(f; \hat{\theta}) = \frac{\partial^2}{(\partial \theta)^2} H(f, \theta) \Big|_{\theta=\hat{\theta}}$$

[0334] 泰勒级数展开给出:

[0335]

$$\begin{aligned}
 H(f; \theta) &= H(f; \hat{\theta}) + (\theta - \hat{\theta})H'(f; \hat{\theta}) + (\theta - \hat{\theta})^2 \frac{H''(f; \hat{\theta})}{2} + O(\theta - \hat{\theta})^3 \\
 E_{\theta}[H(f; \theta)] &= H(f; \hat{\theta}) + H'(f; \hat{\theta})E_{\theta}[\theta - \hat{\theta}] + \frac{H''(f; \hat{\theta})}{2} E_{\theta}[(\theta - \hat{\theta})^2] + O(\theta - \hat{\theta})^3 \\
 &= H(f; \hat{\theta}) + \frac{H''(f; \hat{\theta})}{2} \sigma_{\theta}^2 + O(\theta - \hat{\theta})^3
 \end{aligned}$$

[0336] 在滚动快门应用中:

$$[0337] H(f; \theta) = \frac{\sin(\pi\theta f)}{\pi\theta f}$$

[0338] 然后:

$$\frac{\partial}{\partial\theta} H(f; \theta) = \frac{1}{\theta} \left\{ \cos(\pi\theta f) - \frac{\sin(\pi\theta f)}{\pi\theta f} \right\}$$

[0339]

$$\frac{\partial^2}{(\partial\theta)^2} H(f; \theta) = \frac{2}{\theta^2} \left\{ \frac{\sin(\pi\theta f)}{\pi\theta f} - \cos(\pi\theta f) \right\} - \frac{\pi f}{\theta} \sin(\pi\theta f)$$

[0340] 该方案针对低频率较好地工作,因为 $H'(f, \theta)$ 随着频率增大而放大。

[0341] 第二方案是在假设 $\theta$ 的已知分布的情况下使用更为精确的计算。示例: $\theta$ 在 $\hat{\theta} - \Delta$ 和 $\hat{\theta} + \Delta$ 之间均匀分布,并且 $H(f; \theta) = \frac{\sin(\pi\theta f)}{\pi\theta f}$ 。然后:

$$\begin{aligned} E_\theta[H(f; \theta)] &= \int_{\hat{\theta} - \Delta}^{\hat{\theta} + \Delta} \frac{\sin(\pi\theta f)}{\pi\theta f} d\theta \\ &\approx \frac{-1}{\hat{\theta}} \frac{1}{(\pi f)^2} \left\{ \cos \pi f (\hat{\theta} + \Delta) - \cos \pi f (\hat{\theta} - \Delta) \right\} \frac{1}{2\Delta}, \quad \Delta \ll \hat{\theta} \end{aligned}$$

[0342]

$$\begin{aligned} E_\theta[H(f; \theta)H^*(f; \theta)] &= \int_{\hat{\theta} - \Delta}^{\hat{\theta} + \Delta} \frac{\sin^2(\pi\theta f)}{(\pi\theta f)^2} d\theta \\ &\approx \frac{1}{4\Delta(\pi f \hat{\theta})^2} \cdot \left\{ 2\Delta - \frac{\sin(2\pi f \hat{\theta})}{2\pi f} \right\} \Big|_{\hat{\theta} - \Delta}^{\hat{\theta} + \Delta}, \quad \Delta \ll \hat{\theta} \end{aligned}$$

[0343] 尽管在实施例中已经在针对经典维纳频域公式的某一修改的方面描述了上文,但是可以存在其它维纳滤波器公式(例如维纳滤波器的时域或近似,或者针对特定 $H$ 所求解的公式)并且利用平均 $H$ 或 $H^*$ 的函数替换假设已知的 $H$ 或其函数的原理也可以在这样的公式中应用。

[0344] 还要指出,本文公开的鲁棒维纳滤波器可以用于均衡除框(矩形)滤波器之外的其它滤波器,和/或在除接收编码光之外的其它应用中。另一示例是具有可能不是精确已知的中心频率 $f_0$ 的带通滤波器。在该情况下,要均衡的滤波器是频率 $f$ 和中心频率 $f_0$ 的函数 $H(f; f_0)$ ,并且鲁棒维纳滤波器从关于 $f_0$ 的 $H(f; f_0)$ 的平均表示而确定。例如:

$$[0345] G = \frac{E_{f_0}[H^*] \cdot S}{E_{f_0}[HH^*] \cdot S + \mathcal{N}_0}.$$

[0346] 另外,鲁棒维纳滤波器的想法还可以扩展到更高维度的 $\theta$ ,即可以允许多于一个参数不确定。在该情况下,要均衡的滤波器H的表示(例如 $H^*$ 和 $HH^*$ )在每一个未知量之上平均。例如,参数可以是带通滤波器的中心频率和/或带宽。

[0347] 另外,噪声项 $N_0$ 可以可替换地或者附加地表示干扰信号的频谱密度。针对噪声和/或干扰的一般项是“扰动”。

[0348] 将领会到,仅已经作为示例而描述了以上实施例。通过研究附图、公开内容和随附权利要求,本领域技术人员在实践要求保护的发明时可以理解和实现对所公开的实施例的其它变形。在权利要求中,词语“包括”不排除其它元件或步骤,并且不定冠词“一”或“一个”不排除多个。单个处理器或其它单元可以履行在权利要求中记载的若干行的功能。在相互不同的从属权利要求中记载某些措施的仅有事实不指示这些措施的组合不能用户获益。计算机程序可以存储和/或分布在适当介质上,诸如连同其它硬件一起或者作为其部分供应的光学存储介质或固态介质,但是也可以以其它形式分布,诸如经由互联网或其它有线或无线电信系统。权利要求中的任何参考标记不应当解释为限制范围。

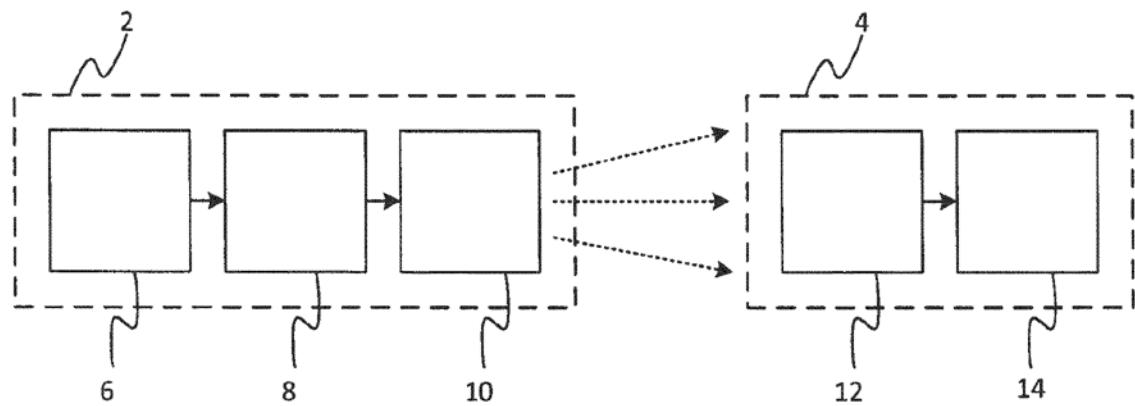


图 1

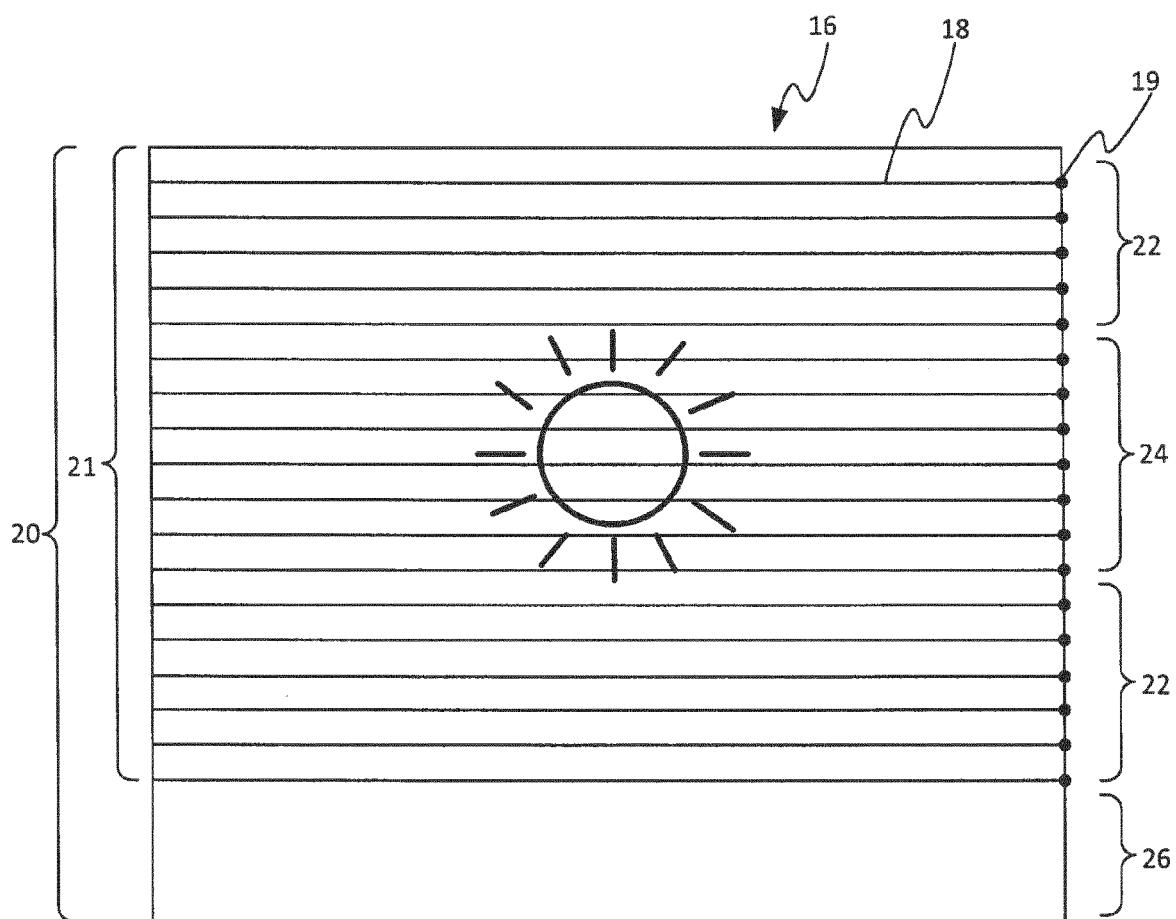


图 2

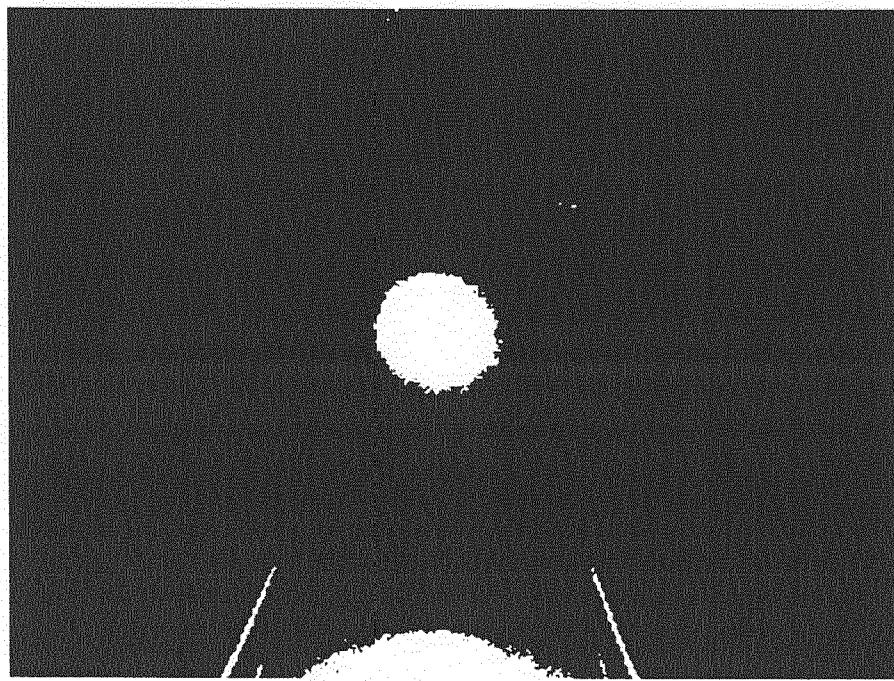


图 3

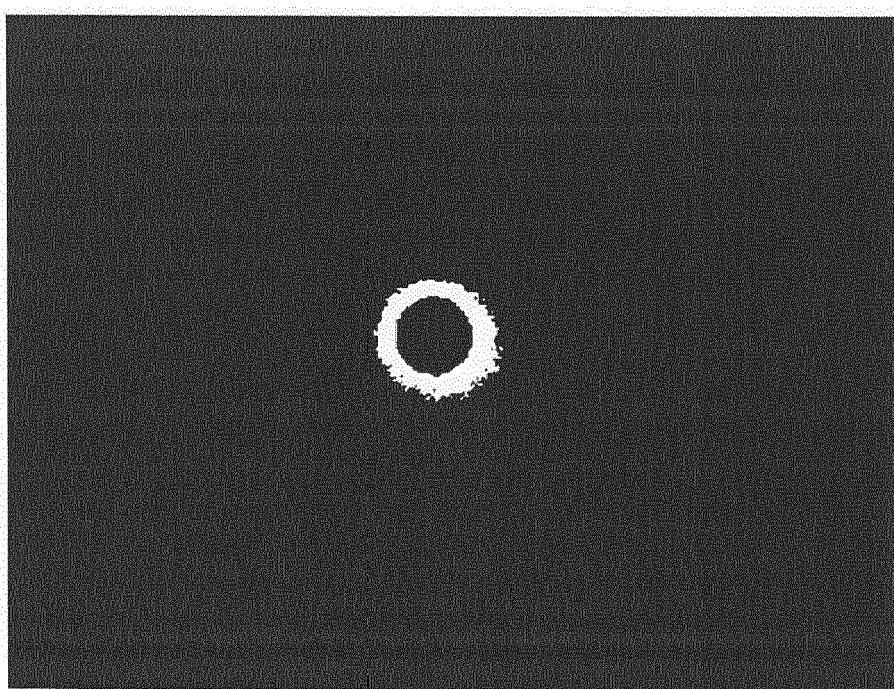


图 4

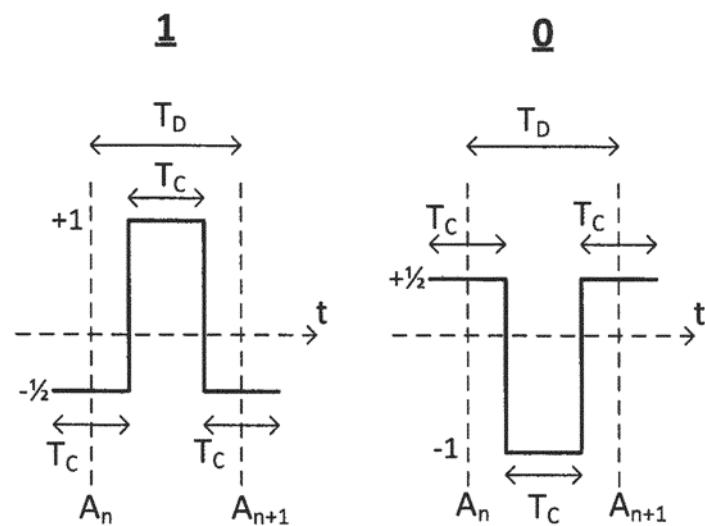


图 5

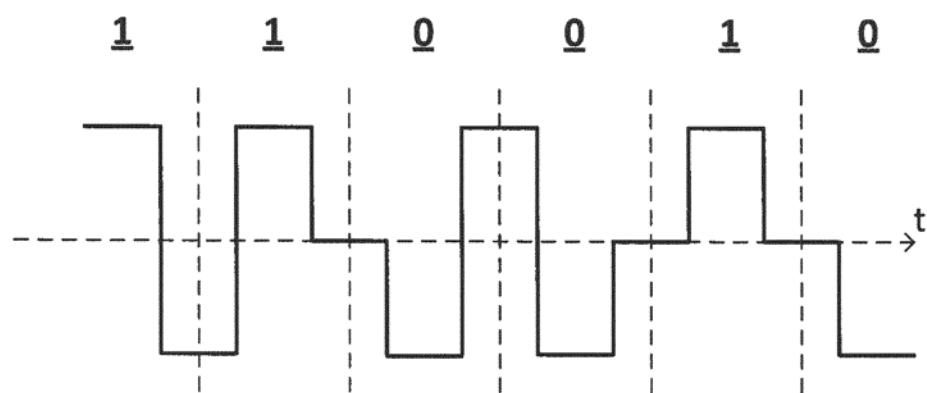


图 6

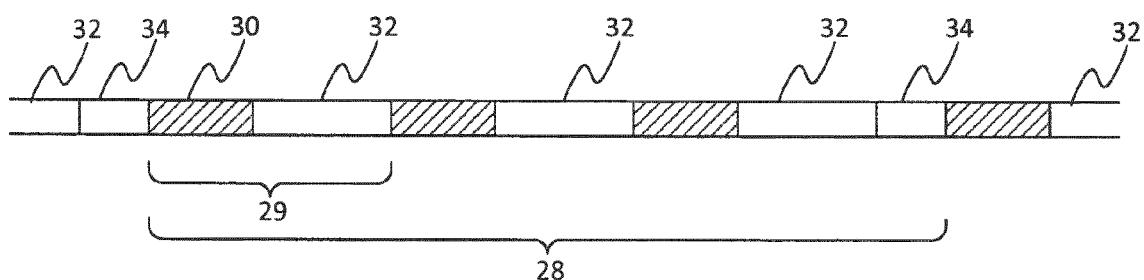


图 7

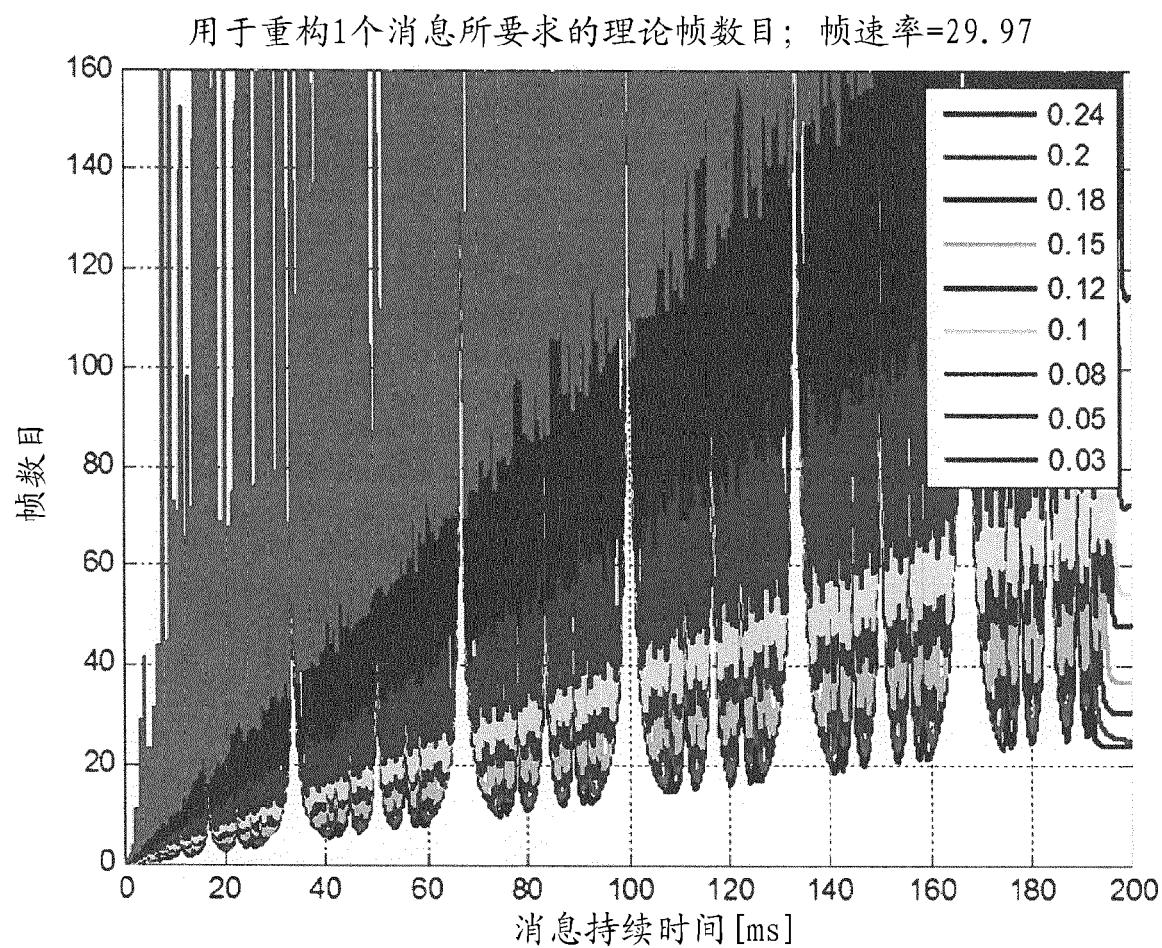
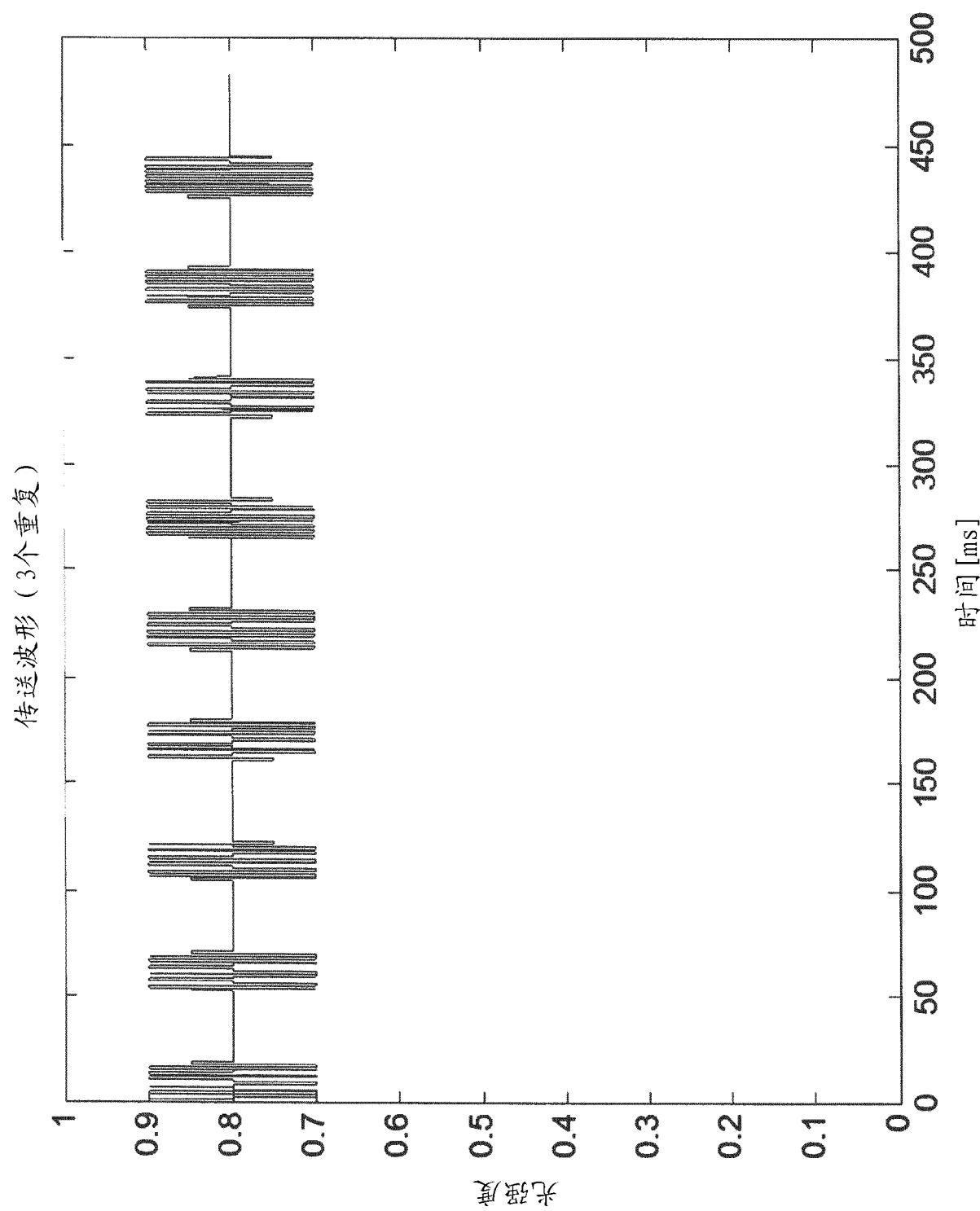
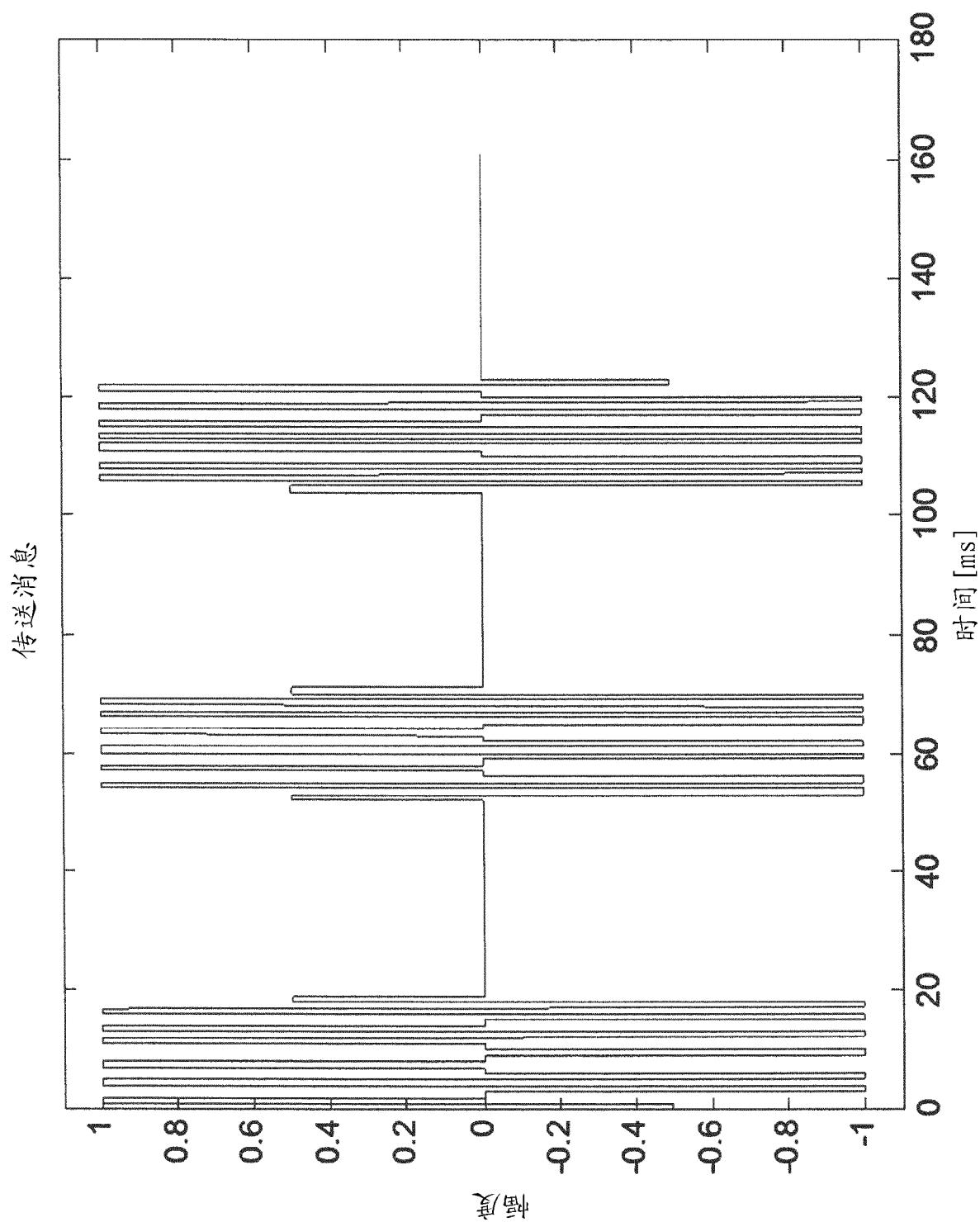


图 8





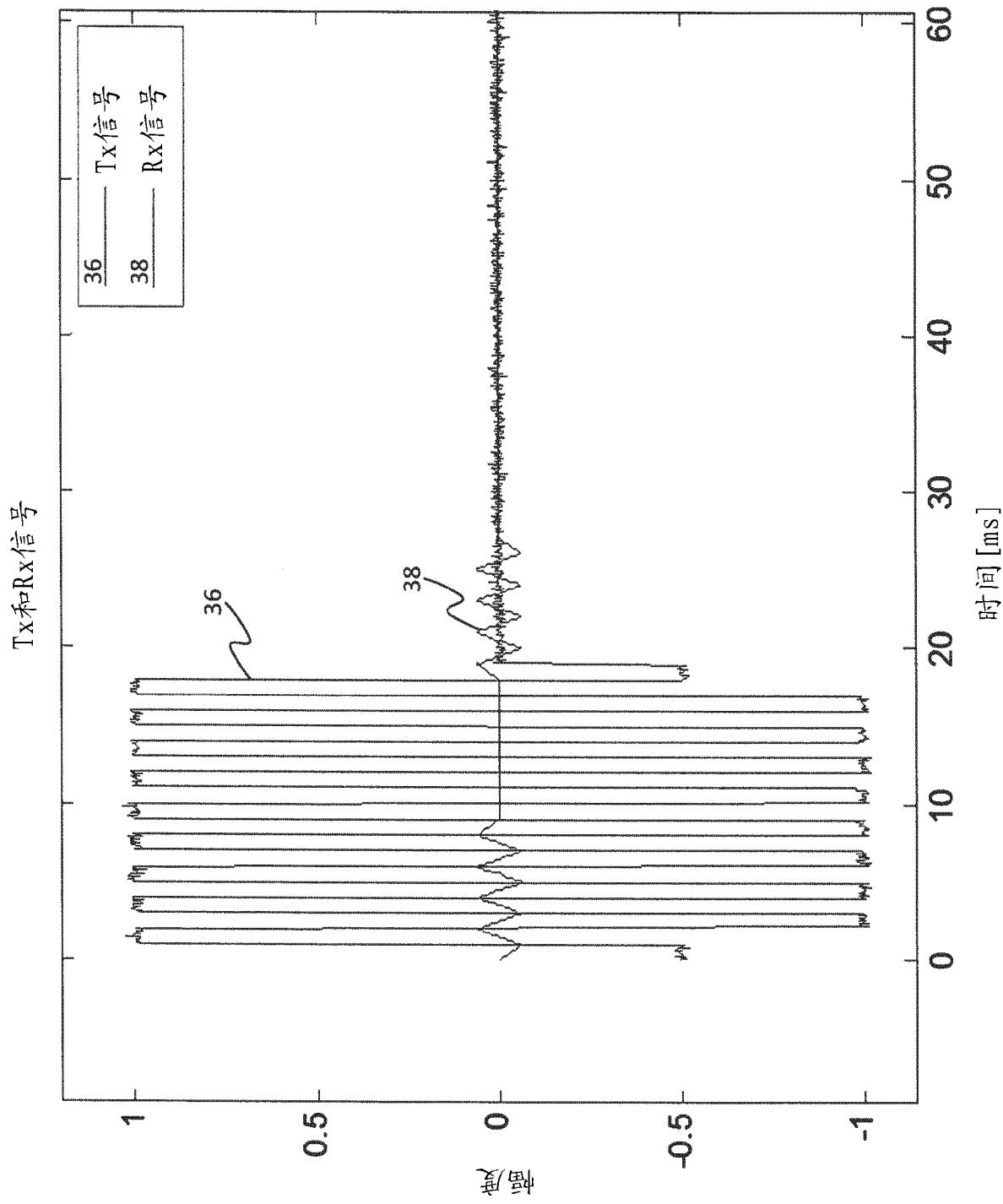
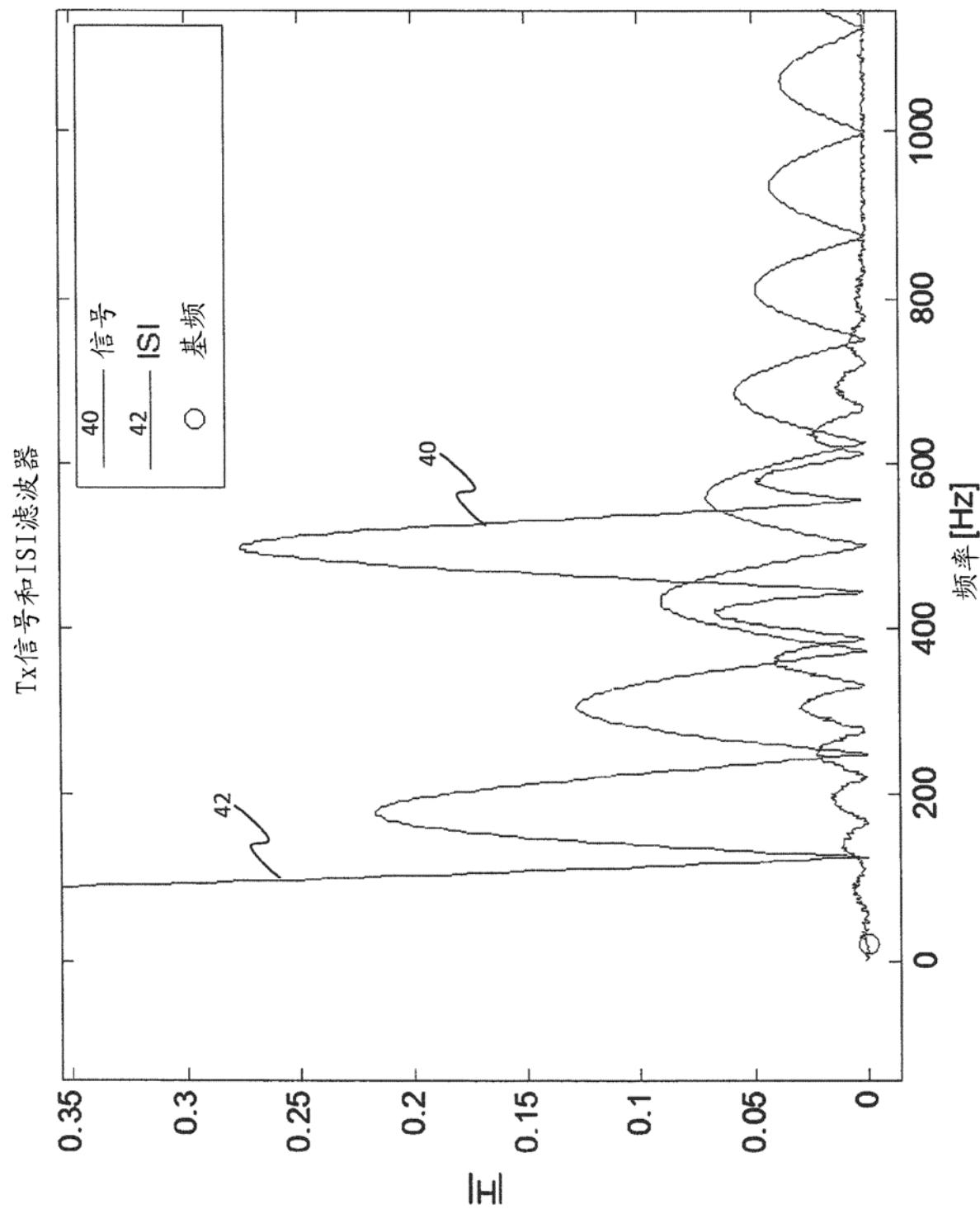


图 11



边际信号；足迹源=0.14；足迹消息=0.03

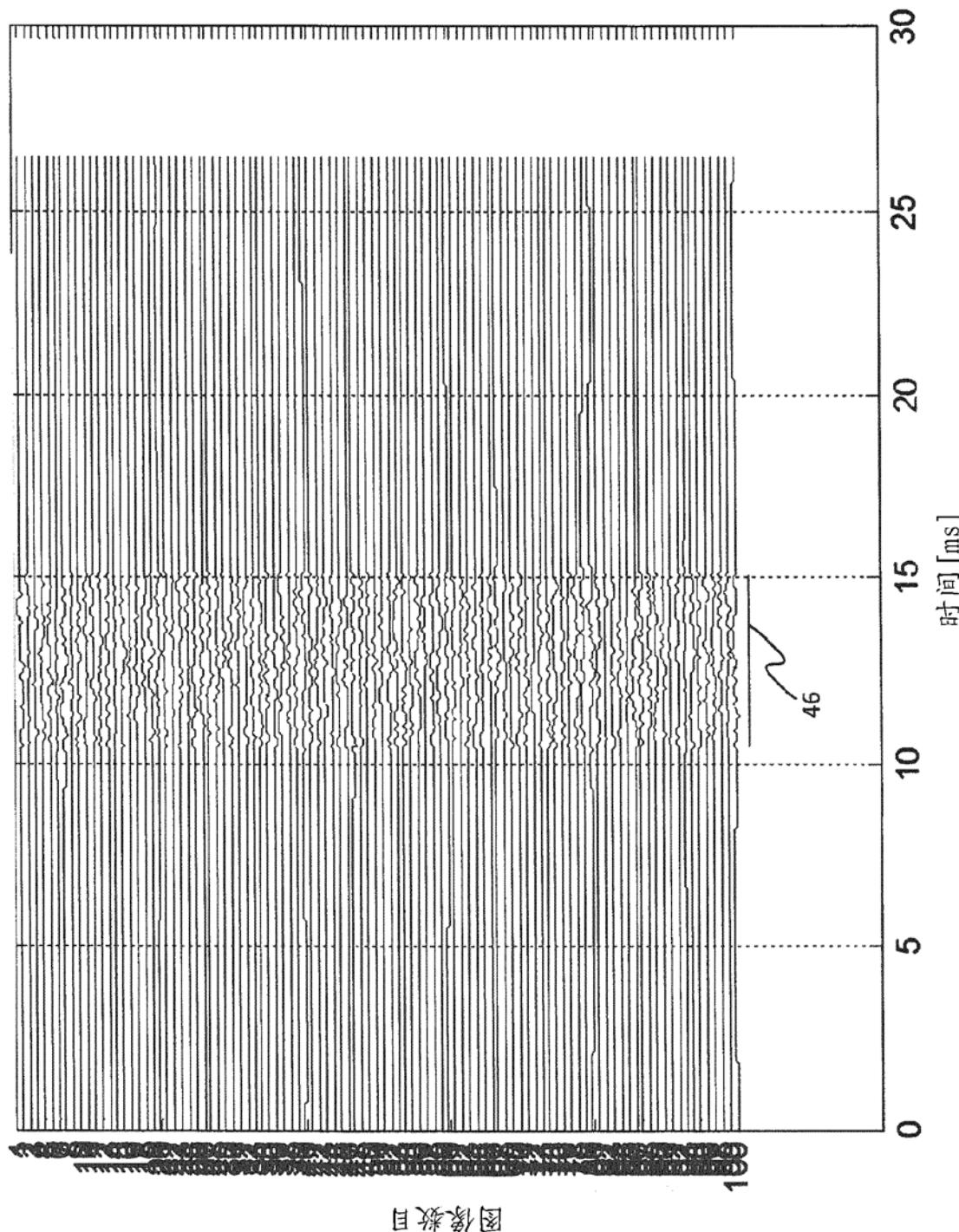


图 13

所测量的边际信号的周期扩展 (f<sub>符号</sub>corr)

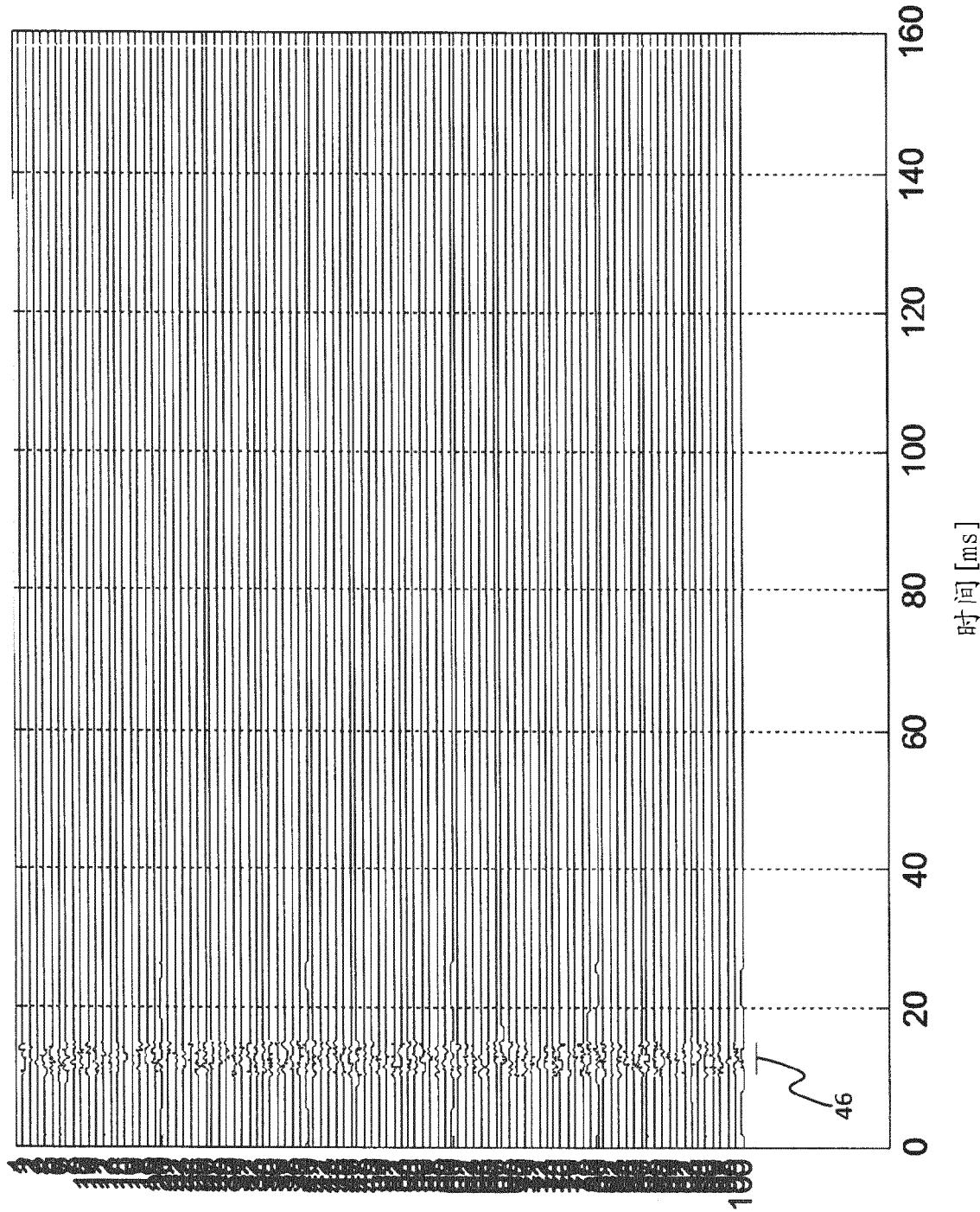


图 14

图 14

连续图像中的对准信号 (1符号2) ; 频率误差=0%

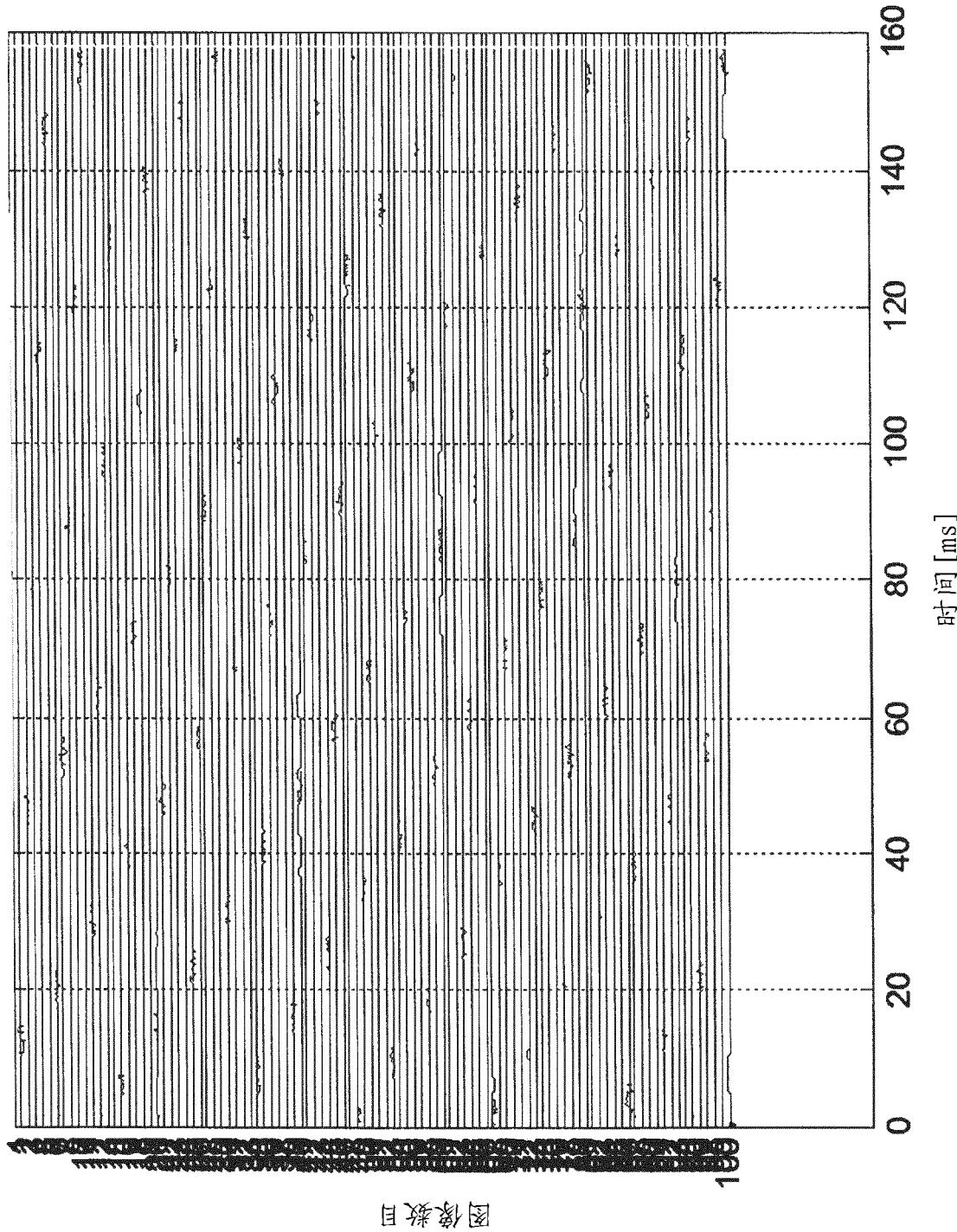
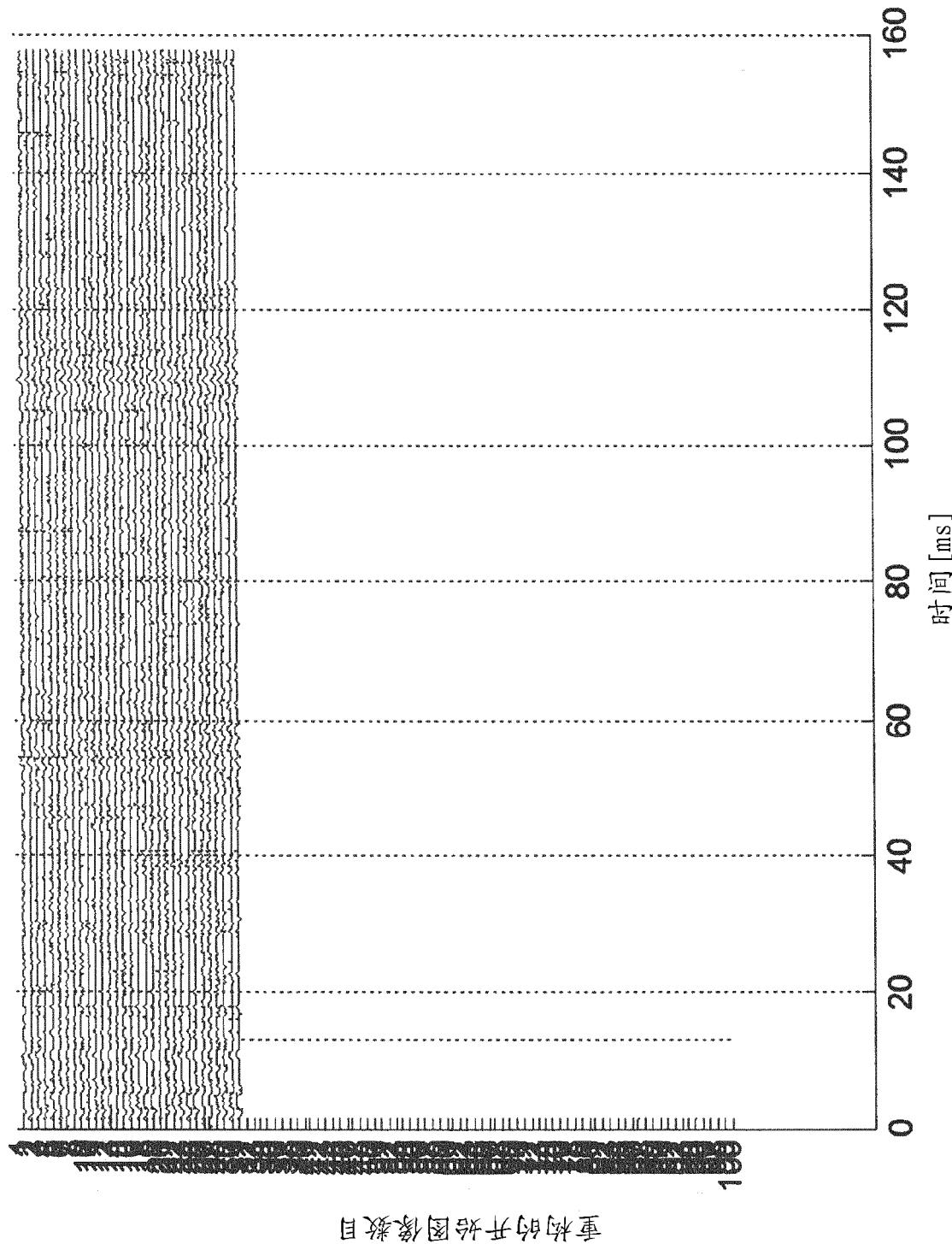


图 15

使用70个连续图像的重构信号 (f 符号2)



重构的开始图像数目

图 16

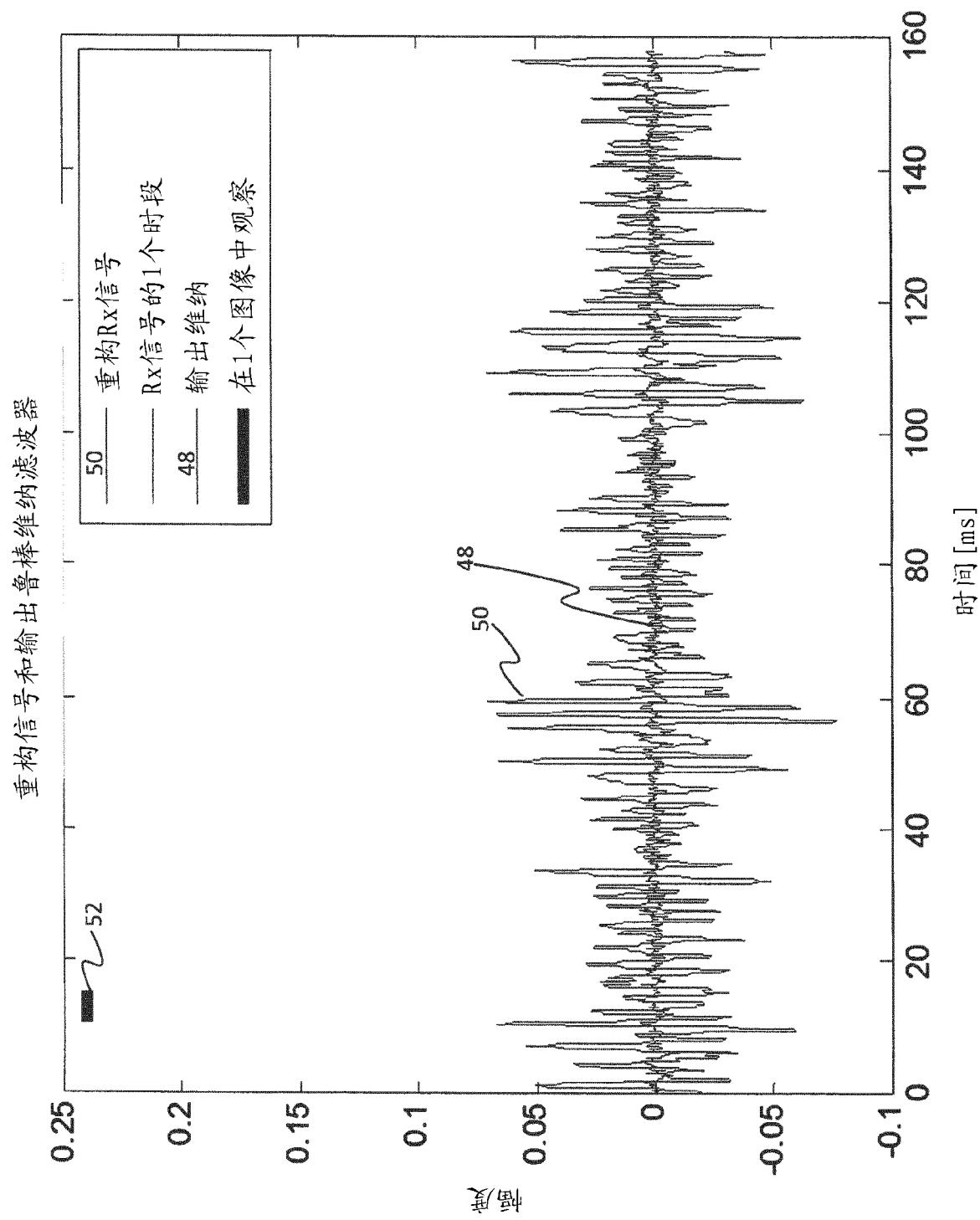


图 17

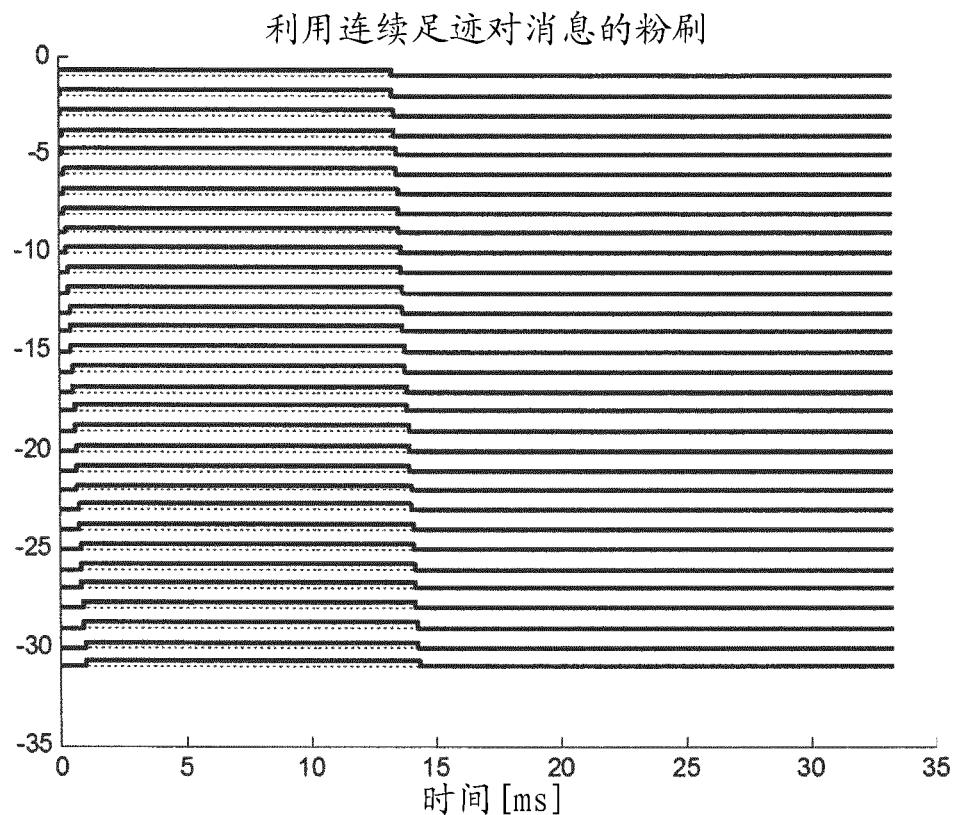


图 18

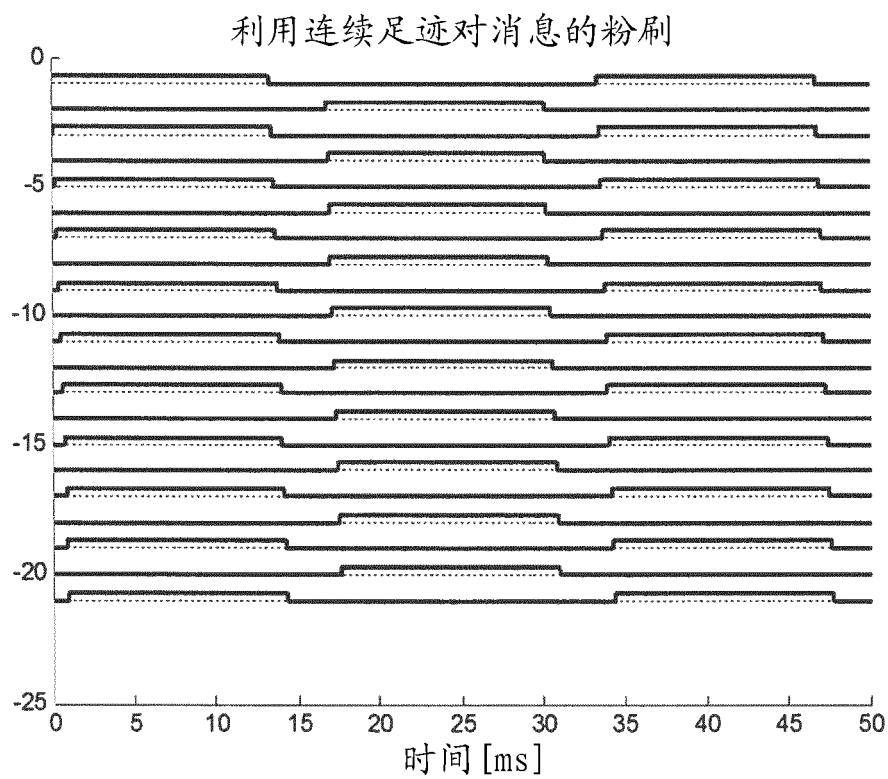


图 19

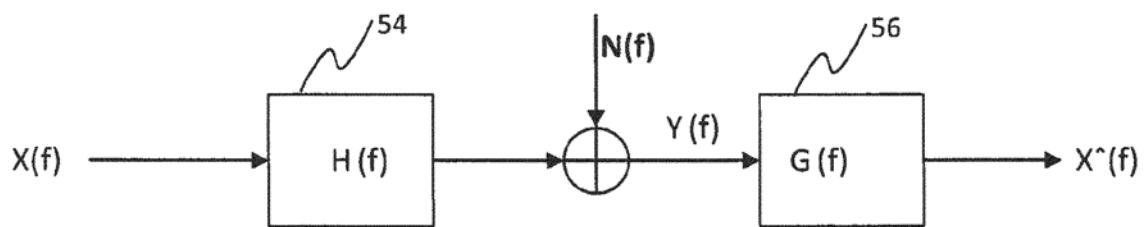


图 20

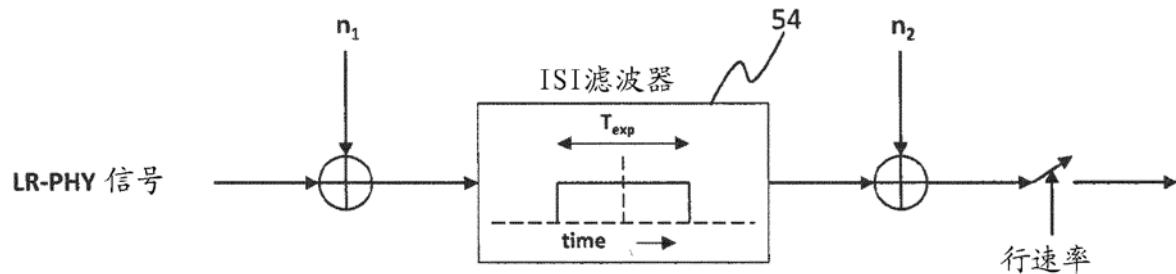


图 21

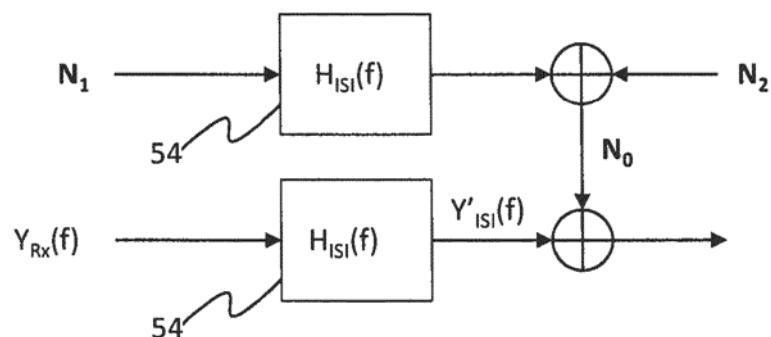


图 22

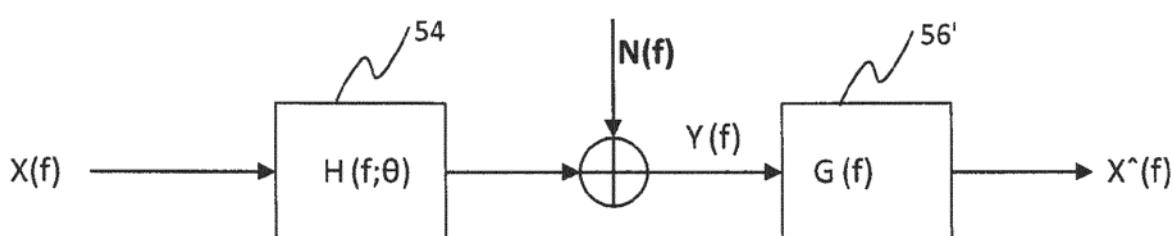


图 23