



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112019271 B

(45) 授权公告日 2021.08.17

(21) 申请号 202010695848.6

H04L 1/00 (2006.01)

(22) 申请日 2020.07.17

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 109906398 A, 2019.06.18

申请公布号 CN 112019271 A

CN 110113101 A, 2019.08.09

US 2017301273 A1, 2017.10.19

(43) 申请公布日 2020.12.01

审查员 袁晨

(73) 专利权人 北京大学

地址 100871 北京市海淀区颐和园路5号

(72) 发明人 许辰人 沈国斌 徐燮阳 沈洋

陈国俊 王璞瑞 吴越

(74) 专利代理机构 北京海虹嘉诚知识产权代理

有限公司 11129

代理人 何志欣

(51) Int. Cl.

H04B 10/116 (2013.01)

H04B 10/54 (2013.01)

权利要求书2页 说明书14页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于逆反射可见光通信的数据传输方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及一种基于逆反射可见光通信的数据传输方法及装置,所述方法包括:光标签逆反射读写器发送的光信号并通过光调制单元阻挡或通过所述光信号的方式调制所述光信号,在所述光调制单元因非线性的响应时间使得所述光调制单元无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,所述光标签基于所述光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。通过该设置方式,本发明不必等到光调制单元完全进入到第一状态和第二状态就能调制信号,突破了光调制单元本身的响应时间的限制。



1. 一种基于逆反射可见光通信的数据传输方法,所述方法包括:光标签(1)逆反射读写器(2)发送的光信号并通过光调制单元(14)阻挡或通过所述光信号的方式调制所述光信号,其特征在于,

在所述光调制单元(14)因非线性的响应时间( $T_r$ )使得所述光调制单元(14)无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,所述光标签(1)基于所述光调制单元(14)的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。

2. 根据权利要求1所述的数据传输方法,其特征在于,在所述读写器(2)接收到所述光标签(1)基于所述光调制单元(14)的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势调制的光信号的情况下,

所述读写器(2)按照如下步骤进行解调:

基于信道估计和跟踪获取信道状态信息;

基于最大似然序列估计接收光信号,其中,

基于所述信道状态信息抵消接收的所述光信号波形中来自信道的干扰。

3. 根据权利要求2所述的数据传输方法,其特征在于,在读写器(2)实现最大似然序列估计的情况下,

所述读写器(2)提取接收的光信号中出现的重复波形,

基于所述重复波形构建能够公式化所述光标签(1)传输的光信号波形状态的状态框架;

基于所述状态框架采用Viterbi算法查找最佳路径。

4. 根据前述权利要求3所述的数据传输方法,其特征在于,基于信道估计和跟踪获取信道状态信息的步骤如下:

在所述光标签(1)发送的光信号中同步训练序列和前导码构成前导码序列;

所述读写器(2)基于接收的光信号寻找所述前导码序列时,将线性回归残差最小化以获得信道状态信息的初始值;

为所述状态框架内的每个状态维持所述信道状态信息,并基于梯度下降更新所述信道状态信息。

5. 一种基于逆反射可见光通信的数据传输装置,至少包括光标签(1)和读写器(2),

所述光标签(1)逆反射所述读写器(2)发送的光信号并通过光调制单元(14)阻挡或通过所述光信号方式调制所述光信号,

其特征在于,

所述光标签(1)配置为:在所述光调制单元(14)因非线性的响应时间( $T_r$ )使得所述光调制单元(14)无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,基于所述光调制单元(14)的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。

6. 根据权利要求5所述的数据传输装置,其特征在于,所述光标签(1)还至少包括第一光接收单元(11)、第一控制单元(13)以及逆反射单元(15),其中,

所述第一控制单元(13)配置为:通过所述第一光接收单元(11)接收的光信号生成驱动信号,并将所述驱动信号传输至所述光调制单元(14),进而驱动所述光调制单元(14)以所述第一状态和所述第二状态之间光信号明暗变化的趋势调制所述逆反射单元(15)逆反射

的光信号。

7. 根据权利要求5所述的数据传输装置,其特征在于,所述读写器(2)配置为:基于信道估计和跟踪获取信道状态信息,并在基于最大似然序列估计接收所述光标签(1)逆反射的光信号的情况下,

基于所述信道状态信息抵消接收的所述光信号波形中来自信道的干扰。

8. 根据权利要求5所述的数据传输装置,其特征在于,所述读写器(2)至少包括第二接收单元(21)、调制解调单元(22)、第二控制单元(23)以及发光单元(24),其中,

所述第二控制单元(23)配置为:

将发送的信息通过所述调制解调单元(22)调制于所述发光单元(24)发送的光信号上,并通过所述调制解调单元(22)解调所述第二接收单元(21)接收所述光标签(1)逆反射的光信号。

9. 一种基于逆反射可见光通信的数据传输终端,至少包括光标签(1),所述光标签(1)逆反射读写器(2)发送的光信号并通过光调制单元(14)阻挡或通过所述光信号方式调制所述光信号,其特征在于,

在所述光调制单元(14)因非线性的响应时间( $T_r$ )使得所述光调制单元(14)无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,所述光标签(1)配置为基于所述光调制单元(14)的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。

10. 一种基于逆反射可见光通信的数据传输终端,至少包括读写器(2),光标签(1)逆反射所述读写器(2)发送的光信号并通过光调制单元(14)阻挡或通过所述光信号方式调制所述光信号,其特征在于,

在所述光标签(1)配置为因所述光调制单元(14)的非线性的响应时间( $T_r$ )使得所述光调制单元(14)无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换而基于所述光调制单元(14)的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的情况下,

所述读写器(2)配置为:

在基于最大似然序列估计接收所述光标签(1)逆反射的光信号的情况下,所述读写器(2)提取接收的光信号中出现的重复波形,并基于所述重复波形构建能够公式化所述光标签(1)传输的光信号波形状态的状态框架,从而能够基于所述状态框架采用Viterbi算法查找最佳路径。

## 一种基于逆反射可见光通信的数据传输方法及装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于无线数据传输技术领域,尤其涉及一种基于逆反射可见光通信的数据传输方法及装置。

### 背景技术

[0002] 预计2020年,互联网将由500亿台设备组成,这将导致物联网(Internet-of-Thing, IoT)的设计势在必行。物联网的宏伟愿景——把一切都带到互联网上,以便更好地感知、理解和驱动现实世界,即物联网应该能够将每一个物体连接到互联网上,并实现从未有过的数据交换。事实上,大多数新一代设备,无论是从外部供电的家用电器、带有较大体积电池的移动设备,还是微型植入式传感器和薄型可穿戴设备,都宣称具有“物联网能力”。然而,要完全实现物联网的愿景,还需要部署更多的智能设备。这些设备可能是小尺寸的,并且带有无线通信功能,其目的是在不需要主动操作的情况下尽可能长时间的运行。而且由于布线、小型物联网设备的复杂性以及设备的移动性,通过有线电视将所有这些设备连接到互联网是不切实际的。这意味着这些设备很少或没有充电的机会,因此能源效率对于物联网设备至关重要。分析表明,无线通信在整个能源消耗中占有相当大的比例。因此,如何实现节能的无线通信成为一个活跃的研究前沿。从外部来源(如太阳能、热能和动能)获得的能量足以使得物联网设备采集信号。然而,物联网设备的功率(约几百毫瓦)限制了传输信号可以传输的距离。因此,物联网设备通常不选择连接到蜂窝网络或者Wi-Fi。这种距离限制导致需要大量的基础设施支持,如接入点和回程链路,以实现较小的距离重用系数。

[0003] 文献[1]Chenren Xu, Lei Yang, and Pengyu Zhang. Practical backscatter communication systems for battery-free internet of things: A tutorial and survey of recent research. IEEE Signal Processing Magazine, 35(5), 2018. 的研究工作表明,基于射频环境的反向散射通信甚至可以在接近零功耗(即 $\mu\text{W}$ 量级)的情况下实现到小型标签的无线连接,因此已经成为物联网设备的竞争通信范式。背后的主要想法是利用现有的无线电基础设施(例如,调频无线电、Wi-Fi)来捕获和反映它们的信号,而不是自己发射无线电信号来实现通信。这种技术大大减少了对电池的依赖,甚至可以在没有电池的情况下工作。然而,这种标签的大规模部署可能会带来复杂的介质访问控制和干扰管理问题,甚至可能加剧无许可证频带中的“频谱紧缩”问题。“频谱紧缩”问题:由于数据包冲突、载波感应、干扰、重传等而导致的非常低的频谱效率。为了解决这些问题,除了继续在传统无线通信和网络方面进行创新努力外,新的研究领域正在出现。例如,最近提出了可重构智能表面(Reconfigurable Intelligent Surface, RIS)的概念,旨在通过对可配置电磁材料覆盖物体的软件控制,实时改变无线介质和网络环境。

[0004] 另一方面可以利用可见光作为无线传输介质。可见光通信(Visible Light Communication, VLC)以其极宽的带宽和生物友好性引起了人们的极大关注。(可见)光介质与无线电介质的不同之处在于,光传输是高度定向的,而无线电传播方向是全方位定的。光的方向性自然地解决了上述频谱效率问题,并进一步具有其他的优点,例如无线通信的嗅

探防护。然而,光传输的高度定向特性也意味着在两个通信终端之间需要精确的相互定向对准(即相互指向对方)。光束越窄(效率越高),对准的精度就越高。这是实际部署中的一个真正障碍。文献[2] Jiangtao Li, Angli Liu, Guobin Shen, Liqun Li, Chao Sun, and Feng Zhao. Retro-vlc: Enabling battery-free duplex visiblelight communication for mobile and iot applications. In Proc. ACM HotMobile, 2015公开的通过利用光的逆反射来解决这个问题,也就是说,将光沿着入射路径反射回光源。这种逆反射能够自动实现所有光束精确的相互指向,即使是在通信的一端或两端移动的情况下。此外逆反射能够自然地将点光源发射到逆反射材料表面的所有光线汇集到点光源上,如图2所示。逆反射VLC属于反向散射通信范式,因为标签本身不发光,相反它通过逆反射利用通常由外部供电的读写装置发出的光,如照明灯、汽车前照灯。逆反射VLC系统采用普通的逆反射结构,上行可见光通信链路(即从标签到读写装置)采用开关键控(OOK)通信,标签上覆盖有微控制单元(Microcontroller Unit, MCU)控制的LCD驱动器。LCD驱动器和逆反射器有效地形成了一个可重构的智能表面,通过调节逆反射器的反射光来创建可见光反向散射链路。从某种意义上讲,逆反射VLC是RIS的另一种形式,它用液晶层代替涂覆层,液晶层可以在软件控制下通过或阻挡光。

[0005] 事实上,与天线耦合效率非常高的无线电反向散射系统不同,任何可见光反向散射系统(包括逆反射VLC系统)中由于具有非常宽的可见光光谱,其光耦合效率通常非常低,例如标签通过太阳能电池板接收读写装置发送的光信号的情况下,光耦合效率通常不到20%。例如,信用卡大小的太阳能电池板通过直接光耦合获得的能量在室内环境中约为数百微瓦,这很难为需要数百毫瓦的大功率LED供电。另一方面,尽管光学透镜可以将光集中以提高入射到太阳能电池板(以及光传感器)上的光的强度,但会使得系统更加庞大和复杂。这就需要在利用逆反射显著降低功耗的基础上,进一步寻求利用太阳能电池板实现无电池运行。例如,公开号为CN106529645B的中国专利公开了一种基于可见光通信的自动识别无源标签,其公开了采用太阳能电池将光能转化为电能输入到无源标签的电源管理系统。该专利文献公开的利用太阳能电池获取信号的原理是:太阳能电池将光信号转化成电信号输入至电容,由于电容具有去直通交的特性,可以通过合理的选取电容以获得太阳能电池输出中的交流信号,并将其输入到光接收机中,实现可见光信号到电信号的转换。该专利使用太阳能电池实现两种功能,一种是收集光能转化为电能进而为标签供电,另一种是需要收集光能的过程中识别读写装置发送的带有信息的光信号。然而,太阳能电池输出的并不是交流信号。事实上太阳能电池接收的光信号包括环境光信号和读写装置发送的光信号,其中环境光信号大部分时间处于幅值缓慢变化的连续状态,而读写装置发送的是具有间隔状态的离散光信号。环境光信号的存在极可能会淹没读写装置发送的光信号,可见太阳能电池输出的电信号由于环境光信号的存在而不会输出具有部分间断特性的交流信号,因而使用电容的去直通交的特性来获取读写装置发送的光信号,显然是不可靠的。尽管能够通过多种电气器件构建相应的电路来检测得到读写装置发送的光信号,但这无疑会增加逆反射单元的功率和体积,导致太阳能电池提供的能量无法维持逆反射单元的能量消耗,因此该专利公开的技术方案无法在太阳能电池收集能量的同时可靠地检测信号。

[0006] 另一个需要解决的问题是由于LCD的响应时间较慢(例如,几毫秒)的限制,制约了OOK调制的开关速率,进而也制约逆反射VLC可实现的数据传输速率。另外,LCD的状态随外

加电压的非线性变化,使得在充电和放电之间很难产生稳定的中间状态。例如,文献[3] Sihua Shao, Abdallah Khreishah, and Hany Elgala. Pixelated vlc-backscattering for self-charging indoor iot devices. IEEE Photonics Technology Letters, 29(2), 2017. 针对LCD响应限制以及非线性变化的问题,公开了一种利用像素化LCD的逆反射VLC通信系统,该通信系统集成多个LCD以产生多进制码元,并且可以在不同的通信距离下采用速率自适应的方式来提高可实现的数据传输速率。实验结果表明,在通信距离为两米的情况下,使用8-PAM的数据传输速率比OOK提高了三倍。但是,该文献公开的技术方案由于采用的多进制调制的方式导致码元长度过长,增加了系统调制解调的难度和复杂性,还有严重的码间干扰问题。

[0007] 此外,一方面由于对本领域技术人员的理解存在差异;另一方面由于发明人做出本发明时研究了大量文献和专利,但篇幅所限并未详细罗列所有的细节与内容,然而这绝非本发明不具备这些现有技术的特征,相反本发明已经具备现有技术的所有特征,而且申请人保留在背景技术中增加相关现有技术之权利。

## 发明内容

[0008] 针对现有技术不足,本发明提供一种基于逆反射可见光通信的数据传输方法,所述方法包括:光标签逆反射读写器发送的光信号并通过光调制单元阻挡或通过所述光信号的方式调制所述光信号;在所述光调制单元因非线性的响应时间 $T_r$ 使得所述光调制单元无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,所述光标签基于所述光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。在使用光调制单元调制光信号时,是通过光调制单元阻挡或通过所述光信号的方式进行调制的,即OOK调制。OOK调制方案简单,不需要额外增加调制成本,天然适用于可见光通信的逆反射光信号的一端,能够显著地降低功耗、利于器件的微型化和实现无电池长期运行。但是,光调制单元在响应驱动电压切换第一状态和第二状态时,会有一定的响应时间,如图3所示。因此,如果采用OOK调制需要等到光调制单元完全进入到第一状态和第二状态才能调制信号,限制的光标签调制速率。而本发明基于光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制,不必等到光调制单元完全进入到第一状态和第二状态就能调制信号,突破了光调制单元本身的响应时间的限制。具体而言,例如当调制表示光调制单元处于完全透明状态,即光调制单元处于第二状态的码元“0”时,增加光调制单元透光度,从而读写器一侧接收到的波形有一个上升沿。在调制表示光调制单元处于完全不透光状态,即表示调制单元处于第一状态的码元“1”时,降低光调制单元的透明度,从而读写器一侧接收到波形有一个下降沿。即本发明是通过上升沿或者下降沿来调制信号。

[0009] 优选地,在所述光标签基于所述光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的过程中,所述光标签基于以下步骤对原始消息序列进行编码:

[0010] 在调制原始消息中第一类信息时使用两个不同的符号表示,并且第一个符号与前一个符号相同;

[0011] 在调制原始消息中第二类信息时使用相同的两个符号表示,其中,

[0012] 如果前一个原始消息为第一类信息时,所述两个符号与前一个符号相同,

[0013] 如果前一个原始消息为第二类信息时,所述两个符号与前一个符号不同。采用基

于趋势的调制方式,不能够传输连续的第一类信息或第二类信息。例如,第一类信息可以用“1”表示,第二类信息可以用“0”表示。即采用基于趋势的调制方式不能够传输具有连续“0”或“1”的消息序列,因为采用基于趋势的调制方式传输这种序列会导致读写器2接收到的信号波形中产生直流分量。直流分量很难被放大器捕获,并且容易受到环境光信号的影响。因此,本发明在调制原始消息“1”时使用两个不同的符号表示,并且第一符号与前一个符号相同。在调制原始消息“0”时使用两个同的符号表示。如果前一个原始消息为“1”时,所述两个符号与前一个符号相同。如果前一个原始消息为“0”时,所述两个符号与前一个符号不同。通过该设置方式能够确保编码后的原始消息序列不会出现长序列的“0”或“1”,从而避免接收器2产生直流分量。其次,该设置方式允许编码后的原始消息序列出现2个、3个或者4个连续的“0”或者“1”,与直接发送原始消息序列相比,不需要更小的调制间隔,从而码元长度更短,不仅能够实现更高的传输速率,相比于曼彻斯特编码能够提高信噪比,从而减少误码率。

[0014] 根据一种优选实施方式,在所述读写器接收到所述光标签基于所述光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势调制的光信号的情况下,

[0015] 所述读写器按照如下步骤进行解调:

[0016] 基于信道估计和跟踪获取信道状态信息;

[0017] 基于最大似然序列估计接收光信号,其中,

[0018] 基于所述信道状态信息抵消接收的所述光信号波形中来自信道的干扰;

[0019] 采用Viterbi算法实现最大似然序列估计。

[0020] 根据一种优选实施方式,在读写器实现最大似然序列估计的情况下,

[0021] 所述读写器提取接收的光信号中出现的重复波形,

[0022] 基于所述重复波形构建能够公式化所述光标签传输的光信号波形状态的状态框架;

[0023] 基于所述状态框架采用Viterbi算法查找最佳路径。

[0024] 根据一种优选实施方式,基于信道估计和跟踪获取信道状态信息的步骤如下:

[0025] 在所述光标签发送的光信号中同步训练序列和前导码构成前导码序列;

[0026] 所述读写器基于接收的光信号寻找所述前导码序列时,将线性回归残差最小化以获得信道状态信息的初始值;

[0027] 为所述状态框架内的每个状态维持所述信道状态信息,并基于梯度下降更新所述信道状态信息。

[0028] 本发明还提供一种基于逆反射可见光通信的数据传输装置,至少包括光标签和读写器。所述光标签逆反射所述读写器发送的光信号并通过光调制单元阻挡或通过所述光信号方式调制所述光信号。所述光标签配置为:在所述光调制单元因非线性的响应时间使得所述光调制单元无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,基于所述光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。

[0029] 根据一种优选实施方式,所述光标签还至少包括第一光接收单元、第一控制单元以及逆反射单元。所述第一控制单元配置为:通过所述第一光接收单元接收的光信号生成驱动信号,并将所述驱动信号传输至所述光调制单元,进而驱动所述光调制单元以所述第

一状态和所述第二状态之间光信号明暗变化的趋势调制所述逆反射单元逆反射的光信号。

[0030] 根据一种优选实施方式,所述读写器配置为:基于信道估计和跟踪获取信道状态信息,并在基于最大似然序列估计接收所述光标签逆反射的光信号的情况下,基于所述信道状态信息抵消接收的所述光信号波形中来自信道的干扰。

[0031] 根据一种优选实施方式,所述读写器至少包括第二接收单元、调制解调单元、第二控制单元以及发光单元。所述第二控制单元配置为:将发送的信息通过所述调制解调单元调制于所述发光单元发送的光信号上,并通过所述调制解调单元解调所述第二接收单元接收所述光标签逆反射的光信号。

[0032] 本发明还提供一种基于逆反射可见光通信的数据传输终端,至少包括光标签。所述光标签逆反射读写器发送的光信号并通过光调制单元阻挡或通过所述光信号方式调制所述光信号。在所述光调制单元因非线性的响应时间使得所述光调制单元无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,所述光标签配置为基于所述光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。在所述光标签基于第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的过程中,所述光标签配置为:

[0033] 在调制原始消息中第一类信息时使用两个不同的符号表示,并且第一个符号与前一个符号相同;

[0034] 在调制原始消息中第二类信息时使用相同的两个符号表示,其中,

[0035] 如果前一个原始消息为第一类信息时,所述两个符号与前一个符号相同,

[0036] 如果前一个原始消息为第二类信息时,所述两个符号与前一个符号不同。

[0037] 本发明还提供一种基于逆反射可见光通信的数据传输终端,至少包括读写器。光标签逆反射所述读写器发送的光信号并通过光调制单元阻挡或通过所述光信号方式调制所述光信号。在所述光标签配置为因所述光调制单元的非线性的响应时间使得所述光调制单元无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换而基于所述光调制单元的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的情况下,所述读写器配置为:

[0038] 在基于最大似然序列估计接收所述光标签逆反射的光信号的情况下,所述读写器提取接收的光信号中出现的重复波形,并基于所述重复波形构建能够公式化所述光标签传输的光信号波形状态的状态框架,从而能够基于所述状态框架采用Viterbi算法查找最佳路径。

## 附图说明

[0039] 图1是本发明方法的一个优选实施方式的步骤流程示意图;

[0040] 图2是本发明的光标签和读写器之间光信号逆反射示意图;

[0041] 图3是本发明中光调制单元在扫描频率为125Hz~2KHz下的响应曲线图;

[0042] 图4是本发明的方法采用的编码与曼彻斯特编码的对比示意图;

[0043] 图5是本发明的重复波形的示意图;

[0044] 图6是本发明的状态框架的示意图;和

[0045] 图7是本发明装置的一个优选实施方式的模块示意图。



[0046]	附图标记列表	
[0047]	1:光标签	2:读写器
[0048]	11:第一光接收单元	12:检测单元
[0049]	13:第一控制单元	14:光调制单元
[0050]	15:逆反射单元	21:第二光接收单元
[0051]	22:调制解调单元	23:第二控制单元
[0052]	24:发光单元	Tr:响应时间

### 具体实施方式

[0053] 下面结合附图1至7进行详细说明。首先对实施例使用的术语进行解释。

[0054] 曼彻斯特编码(Manchester code):又称数字双向码、分相码或相位编码(PE),是一种常用的二进码线路编码方式之一,被物理层使用来编码一个同步位流的时钟和数据。在通信技术中,用来表示所要发送比特流中的数据与定时信号所结合起来的代码。常用在以太网通信,列车总线控制,工业总线等领域。在曼彻斯特编码中,每一位的中间有一跳变,位中间的跳变既作时钟信号,又作数据信号;从高到低跳变表示“1”,从低到高跳变表示“0”。

[0055] 消息序列:是以一系列的符号“0”或“1”构成的序列,用于表示传递的信息,例如,如图5所示的“1101011000001000”。

[0056] 响应时间Tr:由于LCD的液晶分子不能在扭曲状态和非扭曲状态立即切换,即LCD需要一定的响应时间才能改变光束的偏振状态,从而改变LCD的透光度。响应时间Tr表示的是当驱动LCD的电压为0时,LCD恢复其透光度的时间,即对应LCD放电需要的时间。而LCD充电需要的时间比响应时间Tr快得多,如图3所示。

[0057] 码元:在数字通信中常常使用时间间隔相同的符号来表示一个数字(例如二进制数字),这样的时间间隔内的信号称为码元。

[0058] 码元长度:码元所占用的时间间隔称为码元长度。

[0059] 多进制码元:通常码元表示的是二进制数字,称为二进制码元,当码元的离散状态大于2个时,此时码元称为多进制码元,例如8进制码元其离散状态有8个。

[0060] 工作方向范围:即光标签1和读写器2之间的相互面对能够进行可见光通信的角度,如图2所示。

[0061] 最大似然序列估计(Maximum-Likelihood Sequence Estimator,MLSE):是一种接收机的最佳接收准则,其中接收端的检测处理显式地考虑了无线信道时间弥散的影响。从根本上讲,考虑了时间弥散对接收信号的影响,用整个接收信号来确定最有可能被发送的序列。

[0062] Viterbi算法:为了实现最大似然检测,通常使用Viterbi算法实现。基于Viterbi算法的最大似然检测被广泛应用于诸如GSM的2G通信。Viterbi算法是一种动态规划算法用于寻找最有可能产生观测事件序列的-Viterbi路径-隐含状态序列,特别是在马尔可夫信息源上下文和隐马尔可夫模型中。术语“Viterbi路径”和“Viterbi算法”也被用于寻找观察结果最有可能解释相关的动态规划算法。例如在统计句法分析中动态规划算法可以被用于发现最可能的上下文无关的派生(解析)的字符串,有时被称为“维特比分析”。本发明中

Viterbi算法是一种基于动态规划的求解最大似然路径的算法,读写器2根据Viterbi算法进行接收译码,并从输出中检测符号。

[0063] 欧几里得度量:欧几里得度量(Euclidean Metric)(也称欧氏距离)是一个通常采用的距离定义,指在 $m$ 维空间中两个点之间的真实距离,或者向量的自然长度(即该点到原点的距离)。在二维和三维空间中的欧氏距离就是两点之间的实际距离。

[0064] 重复波形:在本发明基于趋势的调制下,读写器2接收到的波形为尖峰状的波形,如图4和图5所示。而且在本发明的编码的要求下,尖峰状的波形只有有限的6个,如图5所示,具有6个相似的尖峰状波形。

[0065] 前导码:前导码是发送有用信号之前发送的一系列信号。当前导信号发送完毕以后,立即发送有效信号。前导码构成的前导码序列的作用是提醒接收芯片,即将发送的是有效信号,注意接收,以免丢失有用信号。

[0066] 训练序列:用于信道估计。基于训练序列的信道估计算法是利用接收机已知的发送信号的信息来进行估计,特点是训练序列需要占用一定的资源开销,比如时域的时隙或者频域的带宽,是以降低信道传输效率为代价达到估计的目的。

[0067] 梯度下降算法:是迭代法的一种,可以用于求解最小二乘问题(线性和非线性都可以)。常用于机器学习和人工智能当中用来递归性地逼近最小偏差模型。

[0068] 实施例1

[0069] 在基于逆反射可见光通信中,光标签1需要具备调制光信号的能力,在实际应用中基于经济成本考虑,希望在光标签1一侧的调制和解调方案简单,避免成本和功耗提高,从而有利于光标签1一侧的移动性、部署性的提升,同时也利于光标签1的微型化和长期无电池运行。OOK调制方案简单,不需要额外增加调制成本,天然适用于可见光通信的逆反射光信号的一端。因此,光标签1采用LCD进行调制。LCD可以在电场的控制下通过或阻挡光。其原理是LCD是由两个平行设置的偏振器件以及夹在两个偏振器件的液晶材料构成。液晶材料的分子排列能够在电场的控制下发生扭曲,从而改变光的偏振状态。在光束通过液晶材料后,如果光束的偏振方向和偏振器件的偏振方向一致时,该光束能够全部通过偏振器件,其亮度不会发生变化。如果光束的偏振方向和偏振器件的偏振方向不一致时,该光束无法通过偏振器件,其亮度会变暗。因此,当两个平行设置的偏振器件的偏振方向彼此相同,当LCD充电时,光束无法通过LCD;当LCD放电时,光束通过LCD。

[0070] 然而,LCD的液晶分子不能在扭曲状态和非扭曲状态立即切换,即LCD需要一定的响应时间才能改变光束的偏振状态,从而改变LCD的透光度。通常LCD的响应时间在几毫秒范围内,但是几毫秒的响应时间却限制了可见光系统基于OOK调制的数据传输速率。即在使用LCD调制光信号时,需要等到LCD完全切换状态之后才能调制下一个符号。因此使用LCD进行OOK调制时,其调制速度受到LCD的响应时间 $T_r$ 的限制。LCD的响应时间 $T_r$ 一般在4ms左右。相应的逆反射可见光系统的数据传输速率一般低于250bps。但是,LCD一旦充电或放电,即使没有完全充电或者放电其透光度也会在短时间内发生变化。从而在读写器2一侧接收到的光电流通过其变化的趋势就能够接收到LCD充电或放电的信息。而且如果该趋势足够大能够在一定的信噪比(SNR)下使得读写器2能够识别,那么就能够通过该变化趋势传递信息。因此,本实施例基于LCD透光度发生变化的趋势调制光信号,而不是等待LCD完全充放电进行调制。进而实现光标签1和读写器2之间的数据传输。

[0071] 因此,本实施例公开了一种基于逆反射可见光通信的数据传输方法,如图1所示,方法包括:

[0072] S100:光标签1逆反射读写器2发送的光信号。光标签1通过光调制单元14阻挡或通过光信号的方式调制光信号。优选地,在光调制单元14因非线性的响应时间 $T_r$ 使得光调制单元14无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态之间立即切换的情况下,光标签1基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。在使用光调制单元14调制光信号时,是通过光调制单元14阻挡或通过光信号的方式进行调制的,即OOK调制。但是,光调制单元14在响应驱动电压切换第一状态和第二状态时,会有一定的响应时间 $T_r$ ,如图3所示。因此,如果采用OOK调制需要等到光调制单元14完全进入到第一状态和第二状态才能调制信号,限制的光标签1调制速率。而本发明基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制,不必等到光调制单元14完全进入到第一状态和第二状态就能调制信号,突破了光调制单元14本身的响应时间 $T_r$ 的限制。具体而言,例如当光调制单元14处于完全透明状态,即光调制单元14处于第二状态时,增加光调制单元14透光度,从而读写器2一侧接收到的波形有一个上升沿。在调制表示光调制单元14处于完全不透光状态,即调制单元14处于第一状态时,降低光调制单元14的透明度,从而读写器2一侧接收到波形有一个下降沿。即本发明是通过上升沿或者下降沿来调制信号。相应的读写器2接收到的波形为尖峰状,如图4和图5式所示,尖峰状波形包括上升沿和下降沿。

[0073] S200:优选地,在光标签1基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的过程中,光标签1基于以下步骤对原始消息序列进行编码:

[0074] 在调制原始消息中第一类信息时使用两个不同的符号表示,并且第一个符号与前一个符号相同;

[0075] 在调制原始消息中第二类信息时使用相同的两个符号表示,其中,

[0076] 如果前一个原始消息为第一类信息时,两个符号与前一个符号相同,

[0077] 如果前一个原始消息为第二类信息时,两个符号与前一个符号不同。采用基于趋势的调制方式,不能够传输连续的第一类信息或第二类信息。例如,第一类信息可以用“1”表示,第二类信息可以用“0”表示。即采用基于趋势的调制方式不能够传输具有连续“0”或“1”的消息序列,因为采用基于趋势的调制方式传输这种序列会导致读写器2接收到的信号波形中产生直流分量。直流分量很难被放大器捕获,并且容易受到环境光信号的影响。尽管可以采用曼彻斯特编码来解决连续的“1”或“0”,然而,在相同的最小调制频率间隔下,它消耗的带宽大约是原始信号带宽的两倍,如图4所示。如图4所示,本发明使用的编码对应的波形图中,第一行的编码“11001110”对应左侧的尖峰状波形;第二行的编码“11100110”对应右侧的尖峰状波形。图4中曼彻斯特编码对应的波形图中,第一行的编码“010110”对应波形图中尖峰在时间为2ms的尖峰状波形;第二行的编码“011010”对应波形图中左侧具有两个连续尖峰状波形的波形图。从图4中可以看出,曼彻斯特编码对应的波形的长度是本发明使用编码对应的波形的长度的两倍。本发明使用的编码相比曼彻斯特编码带宽利用率提高了一倍。此外,由于放电持续时间的减少大大降低了信噪比,因此曼彻斯特编码在高速率下表现不佳,例如,在0.5ms的最小放电时间下,曼彻斯特编码在数据传输速率为1Kbps时,其信噪比损耗为28.6dB,并且比幅移键控(ASK)多出5.1dB的损耗。因此,本发明在调制原始消息

“1”时使用两个不同的符号表示,并且第一符号与前一个符号相同。在调制原始消息“0”时使用两个同的符号表示。如果前一个原始消息为“1”时,两个符号与前一个符号相同。如果前一个原始消息为“0”时,两个符号与前一个符号不同。通过该设置方式能够确保编码后的原始消息序列不会出现长序列的“0”或“1”,从而避免接收器2产生直流分量。其次,该设置方式允许编码后的原始消息序列出现2个、3个或者4个连续的“0”或者“1”,与直接发送原始消息序列相比,不需要更小的调制频率间隔,从而码元长度更短,事实上,本发明将码元长度从4ms减少到1ms。通过该设置方式不仅能够实现更高的传输速率,相比于曼彻斯特编码能够提高信噪比和带宽的利用率,从而减少误码率。

[0078] S300:在读写器2接收到光标签1基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势调制的光信号的情况下,

[0079] 读写器2按照如下步骤进行解调:

[0080] S301:基于信道估计和跟踪获取信道状态信息;

[0081] S302:基于最大似然序列估计接收光信号。优选地,基于信道状态信息抵消接收的光信号波形中来自信道的干扰。

[0082] S303:采用Viterbi算法实现最大似然序列估计。

[0083] 优选地,由于本发明采用基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制,尽管可以在光调制单元14完全响应之前进行调制,提高了数据传输速率,但是可能导致严重的码间干扰。也就是说,光调制单元14当前的透光度不仅由现在使用的信号决定,而且与之前使用的信号决定。例如在图5中,使用“1”表示光调制单元14的第一状态,使用“0”表示光调制单元14的第二状态。对于消息序列“1101011000001000”中的前两个连续的“10”,其对应的波形完全不同。优选地,信号的波形也与光调制单元14的状态有关。例如,在全关状态下将符号“1”调制到光调制单元14不会导致读写器2侧接收的电压进一步下降。因此,忽略这种依赖关系的单纯符号对符号的检测不能很好地工作。码间干扰的一种最优检测方案是最大似然序列估计(MLSE)。在步骤S302中使用最大似然序列估计(MLSE)来接收光信号。最大似然序列估计通常使用Viterbi算法来实现,以提高效率。在形式上,我们寻求一个传输序列 $\{I_n\}$ ,使得对应的波形 $T_{\{I_n\}}(t)$ 与读写器2接收的信号波形 $R(t)$ 之间的欧几里得度量最小,即满足如下关系:

$$[0084] \quad -\ln Pr(R(t)|\{I_n\}) \propto \int |aR(t) + b - T_{\{I_n\}}(t)|^2 dt$$

[0085] 其中, $Pr(R(t)|\{I_n\})$ 表示与 $\{I_n\}$ 有关的似然函数。该函数正比于 $\int |aR(t) + b - T_{\{I_n\}}(t)|^2 dt$ 。a和b表示信道状态信息。其中a表示振幅增益。b表示偏置。

在a和b已知的情况下应用于 $R(t)$ ,然后与参考波形进行比较,能够抵消来自信道的干扰。

[0086] 优选地,步骤S303采用Viterbi算法实现最大似然序列估计。而无论总序列长度如何,Viterbi算法都保持恒定数量状态的复杂度,因此,有效的最优解问题现在简化为传输波形 $T(t)$ 的最小状态公式。优选地,尽管光调制单元14显示出明显的非线性,但光调制单元14由响应时间 $T_r$ 带来的延迟在数据包和数据包之间改变不大,因此我们可以提取重复波形,如图5所示。优选地,在读写器2实现最大似然序列估计的情况下,读写器2提取接收的光信号中出现的重复波形。在图5中可以看到6个相似的尖峰状波形。在步骤S200的编码要求

下,这些尖峰状仅有有限的几个,即“(01) 11”,“(11) 0011”,“(11) 0001”,“(01/11) 1001”,“(01/11) 100001”,“(01/11) 100011”,其中“01”和“11”表示基准状态。优选地,6个尖峰状波形对应的编码分别为“0”,“00”,“01”,“11”,“101”,“100”。优选地,基于重复波形构建能够公式化光标签1传输的光信号波形状态的状态框架。优选地,重复波形中,“01”和“11”两个基准状态可以在序列发送的第一个符号之前填充一个无意义的符号“0”来进行区分。优选地,增加3个中间状态“00”、“10”以及“1000”来表征2Bit或3Bit,最后得到5个状态的状态框架。优选地,基于状态框架采用Viterbi算法查找最佳路径。优选地,5个状态的状态框架中,每个状态之间连接的线段e的分支度量为:

$$[0087] \quad BM_n(a, b, e) = \int_{nT}^{(n+1)T} |Ref_e(t - nT) - aRx(t) - b|^2 dt$$

[0088] 其中,T表示的是周期。 $Ref_e(t)$ 表示的是通过同步训练序列和前导码构成前导码序列波形。优选地,基于状态框架得到的分支度量可以通过Viterbi算法得到最佳路径。优选地,为了更好的区分“11”和“10”可以在Bit n+1之后填充无意义的符号“0”。

[0089] 优选地,在步骤S301中,基于信道估计和跟踪获取信道状态信息的步骤如下:

[0090] S304:在光标签1发送的光信号中同步训练序列和前导码构成前导码序列。优选地,因为衰减和环境反射会导致光信号振幅和直流分量偏置发生变化,通过信道估计获得的a和b能够读写器2在解调有效负载之前抵消光信号振幅和直流分量偏置发生的变化。优选地,信道估计是通过针对每个帧的训练序列完成的。与其他任何基于数据包的物理层技术一样,在实际发送有用数据之前,发射端会组合一个特殊的已知训练序列。优选地,在光标签1发送的光信号中同步训练序列和前导码构成前导码序列。通过该设置方式能够简化前导码序列。

[0091] S305:读写器2基于接收的光信号寻找前导码序列时,将线性回归残差最小化以获得信道状态信息的初始值。优选地,前导码序列为 $Ref(\tau)$ 。 $0 \leq \tau \leq T_p$ 。 $T_p$ 为前导码序列的长度。线性回归的残差定义为:

$$[0092] \quad R^2(t, a, b) := \int_0^{T_p} |Ref(\tau) - (aRx(\tau + t) + b)|^2 d\tau$$

[0093] 通过以上设置,不仅能够精确的定位帧开始的时间,还能够获得a和b的初值。

[0094] S306:为状态框架内的每个状态维持信道状态信息,并基于梯度下降更新信道状态信息。优选地,在进行Viterbi算法时,每个状态(状态框架内的5个状态)都对应一个确定性序列。因此,通过为每个状态的每个候选项维持一个暂定的信道状态信息a和b,并使用梯度下降算法更新信道状态信息a和b。优选地,处理对每个状态的暂定的信道状态信息a和b进行处理,并在更新路径量度时同时更新信道状态信息a和b。优选地,利用状态框架中的5个状态设置 $V = \{00, 01, 10, 11, 1000\}$ 和相应的10条线段。优选地,设定维持的信道状态信息表示为元组 $(PM_n, a_n, b_n)$ 。 $PM_n$ 为第n个Bit的路径度量。 $a_n, b_n$ 为第n个Bit的振幅增益和偏置。优选地,第n+1的元组表示为 $(PM_n + BM_n, a_n + \alpha \partial BM / \partial a, \beta \partial BM / \partial b)$ 。如果新路径度量 $PM_n + BM_n$ 较大,则将现有元组替换。优选地, $\alpha, \beta$ 可以设置为0.05。

[0095] 优选地,读写器2按照如下方式解码:首先删除第一个填充符号。在其余部分中,每2个符号表示一个消息。两个相同的符号在位序列中产生一个原始消息的第二类信息,而两

个不同的符号产生一个原始消息的第一类信息。

[0096] 实施例2

[0097] 本实施例公开了一种基于逆反射可见光通信的数据传输装置,其他实施例的优选实施方式的整体和/或部分内容可以作为本实施例的补充。

[0098] 在基于逆反射可见光通信中,光标签1能够调制信息,例如,可以通过微机电系统(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)或者半导体多量子阱(multiple quantum wells, MQW)技术来进行调制。但是在实际应用中基于经济成本考虑,希望使用现有的逆反射材料来实现逆反射调制,例如逆反射织物,其具有薄、柔韧性和低成本的特点。因此,光标签1为了调制由这种织物反射的光,采用LCD进行调制。LCD可以在电场的控制下通过或阻挡光,其原理是LCD是由两个平行设置的偏振器件以及夹在两个偏振器件的液晶材料构成。液晶材料的分子排列能够在电场的控制下发生扭曲,从而改变光的偏振状态,进而在光束通过液晶材料后,如果光束的偏振方向和偏振器件的偏振方向一致时,该光束能够全部通过偏振器件,其亮度不会发生变化。如果光束的偏振方向和偏振器件的偏振方向不一致时,该光束无法通过偏振器件,其亮度会变暗。如果光束的偏振方向和偏振器件的偏振方向彼此正交的情况下,该光束无法通过偏振器件。或者说可以通过电压驱动LCD改变LCD的透光度。通常两个平行设置的偏振器件的偏振方向彼此正交,当LCD不充电时,光束是无法通过LCD,即LCD阻挡光束;当LCD充电时,光束可以通过LCD。或者可以是两个平行设置的偏振器件的偏振方向彼此相同,当LCD充电时,光束无法通过LCD;当LCD放电时,光束通过LCD。

[0099] 然而,LCD的液晶分子不能在扭曲状态和非扭曲状态立即切换,即LCD需要一定的响应时间才能改变光束的偏振状态,从而改变LCD的透光度。通常LCD的响应时间在几毫秒范围内,但是几毫秒的响应时间却限制了可见光系统基于OOK调制的数据传输速率,即在使用LCD调制光信号时,需要等到LCD完全切换状态之后才能调制下一个符号,因此使用LCD进行OOK调制时,其调制速度受到LCD的响应时间 $T_r$ 的限制。响应时间 $T_r$ 表示的是当驱动LCD的电压为0时,LCD恢复其透光度的时间,即对应LCD放电需要的时间。而LCD充电需要的时间比响应时间 $T_r$ 快得多,如图3所示。LCD的响应时间 $T_r$ 一般在4ms左右,相应的逆反射可见光系统的数据传输速率一般低于250bps。但是,LCD一旦充电或放电,即使没有完全充电或者放电其透光度也会在短时间内发生变化,从而在读写器2一侧接收到的光电流通过其变化的趋势就能够接收到LCD充电或放电的信息。而且如果该趋势足够大能够在一定的信噪比(SNR)下使得读写器2能够识别,那么就能够通过该变化趋势传递信息。因此,本实施例基于LCD透光度发生变化的趋势调制光信号,而不是等待LCD完全充放电进行调制,进而实现光标签1和读写器2之间的数据传输。

[0100] 本实施例提供一种基于逆反射可见光通信的数据传输装置,至少包括光标签1和读写器2。读写器2可以以独立的硬件模式部署,也可以部署在照明设施上。光标签1可以以独立的硬件模式部署,也可以部署在智能终端上。优选地,照明设施在不同的应用场景而不同,例如在室内场景下,照明设施可以是室内用于照明的光源(如台灯、顶灯)或者是带闪光灯的移动设备(手机、平板电脑、移动PC等);在车联网应用场景下,照明设施可以是车灯、道路两侧的照明灯;在停车场智能管理应场景下,照明设施可以停车场的照明系统,读写器2还可以部署在车辆的车灯上。优选地,光标签1可以部署在智能手机、平板电脑、移动PC、POS机等智能终端上,也可以部署于包括但不限于智能手环、智能手表、智能手机或智能眼镜等

可穿戴智能设备上。优选地,读写器2发送光信号至光标签1。光标签1逆反射读写器2发送的光信号。在光标签1逆反射读写器2发送的光信号的过程中,光标签1通过改变该光信号明暗变化的方式调制光信号。例如,光标签1通过光调制单元14阻挡或通过光信号方式调制光信号。光标签1可以采用OOK调制光信号,也可以采用QAM等调制方式。优选地,光标签1配置为:在光调制单元14因非线性的响应时间 $T_r$ 使得光调制单元14无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态立即切换的情况下,基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。在使用光调制单元14调制光信号时,是通过光调制单元14阻挡或通过光信号的方式进行调制的,即OOK调制。但是,光调制单元14在响应驱动电压切换第一状态和第二状态时,会有一定的响应时间 $T_r$ ,如图3所示。因此,如果采用OOK调制需要等到光调制单元14完全进入到第一状态和第二状态才能调制信号,限制的光标签1调制速率。而本发明基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制,不必等到光调制单元14完全进入到第一状态和第二状态就能调制信号,突破了光调制单元14本身的响应时间 $T_r$ 的限制。具体而言,例如当光调制单元14处于完全透明状态,即光调制单元14处于第二状态时,增加光调制单元14透光度,从而读写器2一侧接收到的波形有一个上升沿。在光调制单元14处于完全不透光状态,即表示调制单元14处于第一状态时,降低光调制单元14的透明度,从而读写器2一侧接收到波形有一个下降沿。即本发明是通过上升沿或者下降沿来调制信号。相应的读写器2接收到的波形为尖峰状,如图4和图5式所示,尖峰状波形包括上升沿和下降沿。

[0101] 优选地,在光标签1基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的过程中,光标签1基于以下步骤对原始消息序列进行编码:

[0102] 在调制原始消息中第一类信息时使用两个不同的符号表示,并且第一个符号与前一个符号相同;

[0103] 在调制原始消息中第二类信息时使用相同的两个符号表示,其中,

[0104] 如果前一个原始消息为第一类信息时,两个符号与前一个符号相同,

[0105] 如果前一个原始消息为第二类信息时,两个符号与前一个符号不同。采用基于趋势的调制方式,不能够传输连续的第一类信息或第二类信息。例如,第一类信息可以用“1”表示,第二类信息可以用“0”表示。即采用基于趋势的调制方式不能够传输具有连续“0”或“1”的消息序列,因为采用基于趋势的调制方式传输这种序列会导致读写器2接收到的信号波形中产生直流分量。直流分量很难被放大器捕获,并且容易受到环境光信号的影响。尽管可以采用曼彻斯特编码来解决连续的“1”或“0”,然而,在相同的最小调制频率间隔下,它消耗的带宽大约是原始信号带宽的两倍,如图4所示。如图4所示,本发明使用的编码对应的波形图中,第一行的编码“11001110”对应左侧的尖峰状波形;第二行的编码“11100110”对应右侧的尖峰状波形。图4中曼彻斯特编码对应的波形图中,第一行的编码“010110”对应波形图中尖峰在时间为2ms的尖峰状波形;第二行的编码“011010”对应波形图中左侧具有两个连续尖峰状波形的波形图。从图4中可以看出,曼彻斯特编码对应的波形的长度是本发明使用编码对应的波形的长度的两倍。本发明使用的编码相比曼彻斯特编码带宽利用率提高了一倍。此外,由于放电持续时间的减少大大降低了信噪比,因此曼彻斯特编码在高速率下表现不佳,例如,在0.5ms的最小放电时间下,曼彻斯特编码在数据传输速率为1Kbps时,其信噪比损耗为28.6dB,并且比幅移键控(ASK)多出5.1dB的损耗。因此,本发明在调制原始消息

“1”时使用两个不同的符号表示,并且第一符号与前一个符号相同。在调制原始消息“0”时使用两个同的符号表示。如果前一个原始消息为“1”时,两个符号与前一个符号相同。如果前一个原始消息为“0”时,两个符号与前一个符号不同。通过该设置方式能够确保编码后的原始消息序列不会出现长序列的“0”或“1”,从而避免接收器2产生直流分量。其次,该设置方式允许编码后的原始消息序列出现2个、3个或者4个连续的“0”或者“1”,与直接发送原始消息序列相比,不需要更小的调制频率间隔,从而码元长度更短,事实上,本发明将码元长度从4ms减少到1ms。通过该设置方式不仅能够实现更高的传输速率,相比于曼彻斯特编码能够提高信噪比和带宽的利用率,从而减少误码率。

[0106] 根据一种优选实施方式,如图7所示,光标签1至少还包括第一光接收单元11、第一控制单元13以及逆反射单元15。第一控制单元13配置为通过第一光接收单元11接收的光信号生成驱动信号。第一控制单元13将驱动信号传输至光调制单元14,进而驱动光调制单元14以第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势调制逆反射单元15逆反射的光信号。

[0107] 根据一种优选实施方式,读写器2配置为基于信道估计和跟踪获取信道状态信息。读写器2在基于最大似然序列估计接收光标签1逆反射的光信号的情况下,基于信道状态信息抵消接收的光信号波形中来自信道的干扰。

[0108] 根据一种优选实施方式,如图7所示,读写器2至少包括第二接收单元21、调制解调单元22、第二控制单元23以及发光单元24。第二控制单元23配置为将发送的信息通过调制解调单元22调制于发光单元24发送的光信号上。第二控制单元23通过调制解调单元22解调第二接收单元21接收光标签1逆反射的光信号。

[0109] 优选地,读写器2的第二接收单元21配置为执行实施例1中所公开的解调方案。重复的内容不再赘述。

[0110] 优选地,光标签1的规格可以是信用卡大小 $30\text{cm}^2$ ,也可以是 $15\text{cm}^2$ ,也可以是 $7.5\text{cm}^2$ 。第一光接收单元11的可以采用面积为 $7.5\text{mm}^2$ 的太阳能电池板。第一光接收单元11也可以采用光电二极管。光标签1还包括检测单元12。检测单元12至少包括滤波器和比较器,用于将第一光接收单元11接收的光信号转换为数字信号。优选地,光调制单元14的可以使用面积为 $7.5\text{mm}^2$ 的LCD。优选地,第一控制单元13和第二控制单元23可以是中央处理器(Central Processing Unit,CPU)、通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application-Specific Integrated Circuit,ASIC)、现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array,FPGA)、微控制单元(Microcontroller Unit;MCU)或者其他可编程逻辑器件、晶体管逻辑器件、硬件部件或者其任意组合。优选地,第一控制单元13和第二控制单元23可以是STM32的微控制单元。优选地,发光单元24可以是LED等发光装置。优选地,第二光接收单元21可以是光电二极管。优选地,逆反射单元15可以由逆反射材料构成的织物、涂层等。优选地,调制解调单元22至少包括本地振荡器、乘法器以及多路复用器。

[0111] 实施例3

[0112] 本发明还提供一种基于逆反射可见光通信的数据传输终端,至少包括光标签1。光标签1逆反射读写器2发送的光信号并通过光调制单元14阻挡或通过光信号方式调制光信号。在光调制单元14因非线性的响应时间 $T_r$ 使得光调制单元14无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态立即切换的情况下,光标签1配置为基于光调制单元14的第一



状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制。在光标签1基于第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的过程中,光标签1配置为:

[0113] 在调制原始消息中第一类信息时使用两个不同的符号表示,并且第一个符号与前一个符号相同;

[0114] 在调制原始消息中第二类信息时使用相同的两个符号表示,其中,

[0115] 如果前一个原始消息为第一类信息时,两个符号与前一个符号相同,

[0116] 如果前一个原始消息为第二类信息时,两个符号与前一个符号不同。

[0117] 优选地,其他实施例的光标签1的优选实施方式的整体和/或部分内容可以作为本实施例的补充,重复的内容不再赘述。

[0118] 实施例4

[0119] 本发明还提供一种基于逆反射可见光通信的数据传输终端,至少包括读写器2。光标签1逆反射读写器2发送的光信号并通过光调制单元14阻挡或通过光信号方式调制光信号。在光标签1配置为因光调制单元14的非线性的响应时间 $T_r$ 使得光调制单元14无法在阻挡光信号的第一状态和通过光信号的第二状态立即切换而基于光调制单元14的第一状态和第二状态之间光信号明暗变化的趋势进行调制的情况下,读写器2配置为:

[0120] 在基于最大似然序列估计接收光标签1逆反射的光信号的情况下,读写器2提取接收的光信号中出现的重复波形,并基于重复波形构建能够公式化光标签1传输的光信号波形状态的状态框架,从而能够基于状态框架采用Viterbi算法查找最佳路径。

[0121] 优选地,其他实施例的读写器2的优选实施方式的整体和/或部分内容可以作为本实施例的补充,重复的内容不再赘述。

[0122] 需要注意的是,上述具体实施例是示例性的,本领域技术人员可以在本发明公开内容的启发下想出各种解决方案,而这些解决方案也都属于本发明的公开范围并落入本发明的保护范围之内。本领域技术人员应该明白,本发明说明书及其附图均为说明性而并非构成对权利要求的限制。本发明的保护范围由权利要求及其等同物限定。

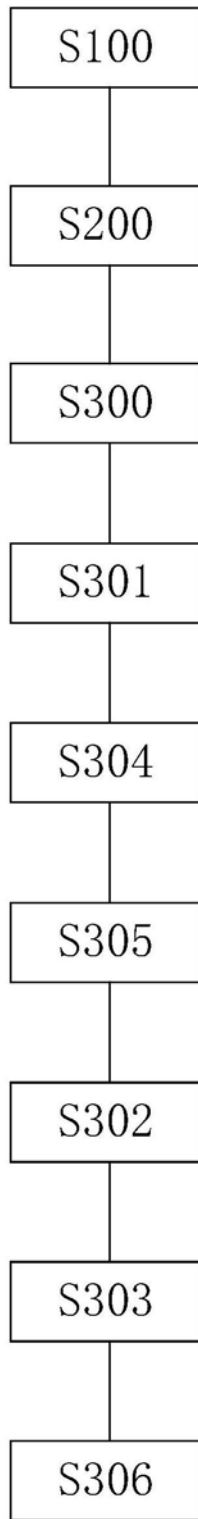


图1

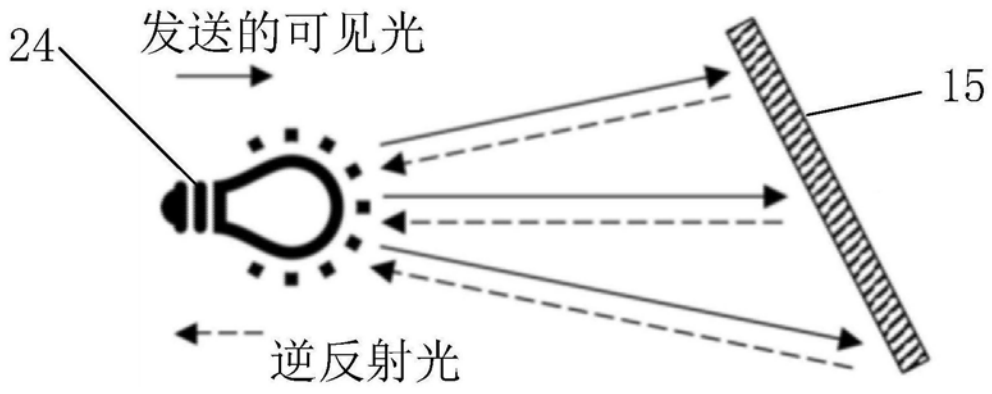


图2

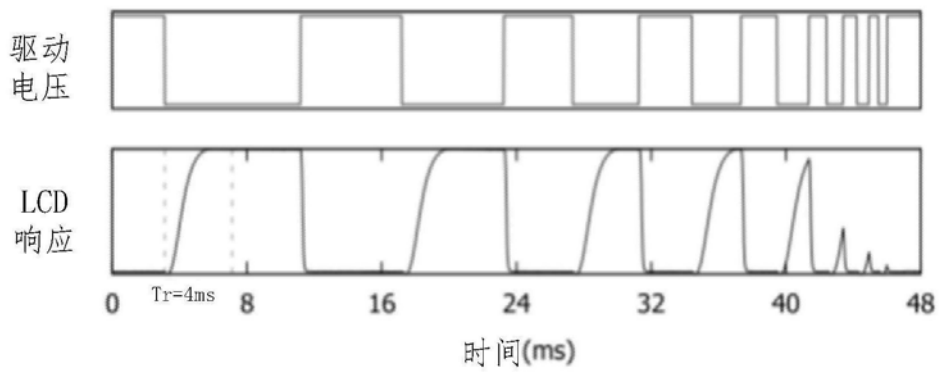


图3

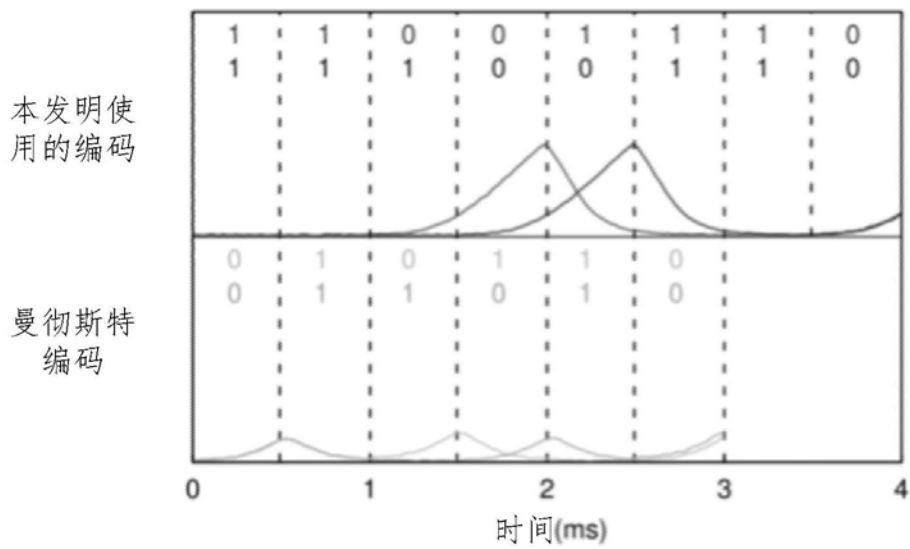


图4

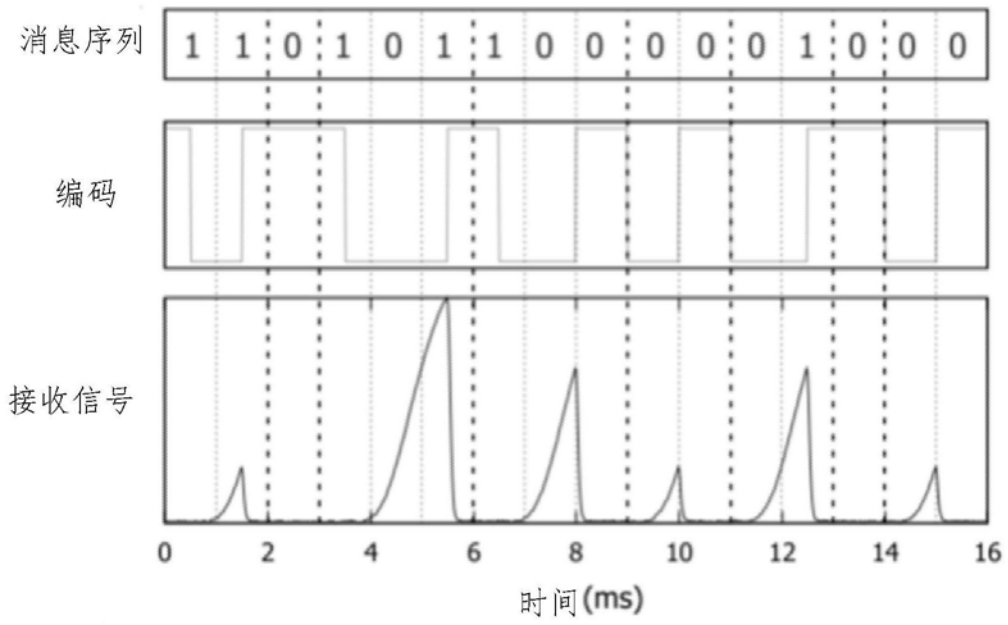


图5

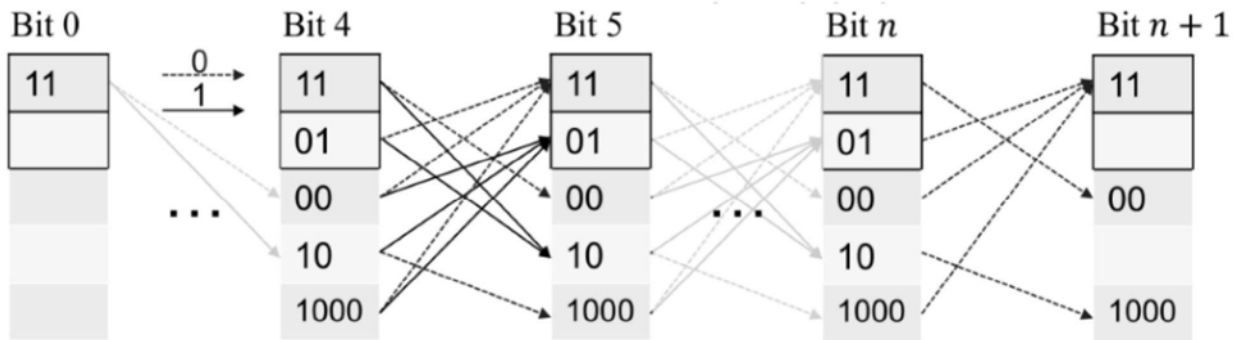


图6

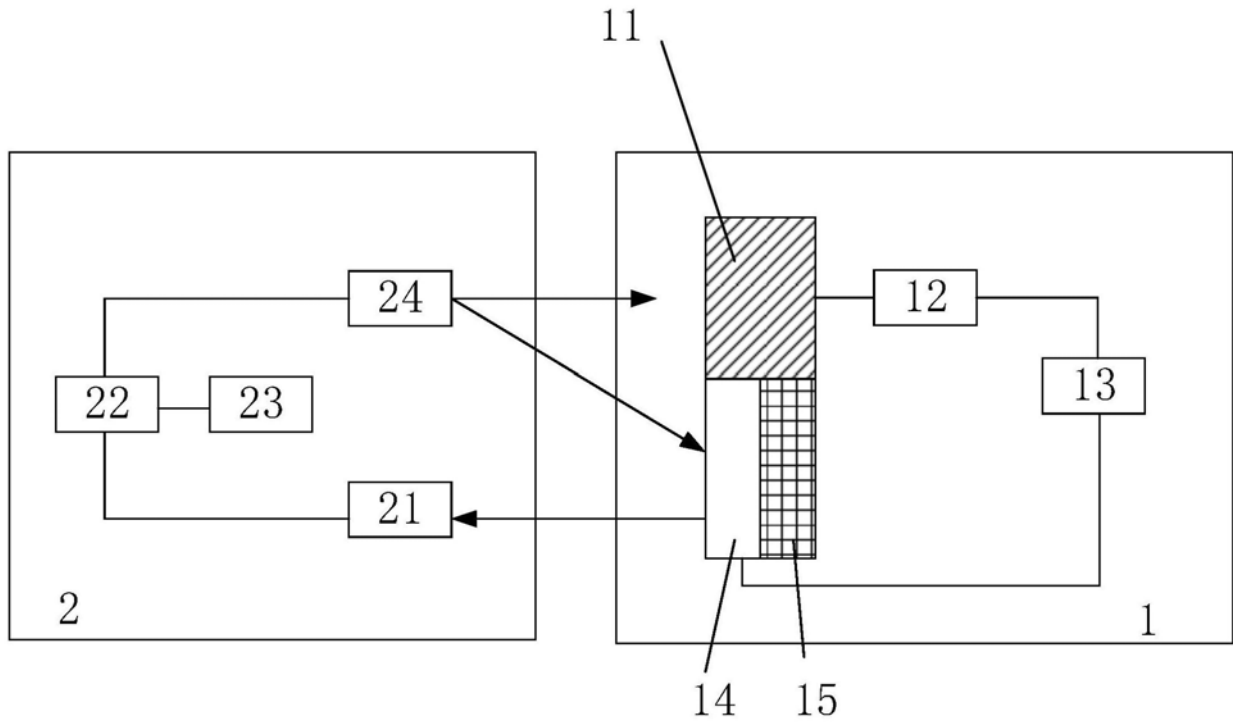


图7