



文章编号:1671-251X(2014)07-0001-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2014.07.001

邓健志,程小辉.基于可见光色分双工的井下定位系统收发机[J].工矿自动化,2014,40(7):1-4.

基于可见光色分双工的井下定位系统收发机

邓健志, 程小辉

(桂林理工大学 广西矿冶与环境科学试验中心, 广西 桂林 541004)

摘要:现有的井下无线定位系统收发机通信主要采用无线电波,由于井下巷道狭小、岩石成分复杂等因素,无线电波的通信距离、通信质量都会受到影响。针对以上问题,设计了基于可见光色分双工的井下定位系统收发机。该收发机采用LED的高速闪烁携带信息,并用光电二极管接收光信号,实现了无线可见光通信。收发机通信的上下行信道采用色分双工的方式,将2个方向上的信号分别调制在2个相互分离的不同颜色的可见光信道上,以实现数据的接收和发送。试验结果表明,该收发机功耗小,抗电磁干扰性能好,接收稳定,并兼有照明作用。

关键词:井下定位;收发机;可见光通信;色分双工

中图分类号:TD655.3

文献标志码:A

网络出版时间:

网络出版地址:

Transceiver of underground location system based on visible light color division duplex

DENG Jianzhi, CHENG Xiaohui

(Guangxi Scientific Experiment Center of Mining, Metallurgy and Environment,
Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Existing underground transceiver communication of wireless location system adopts radio wave, and its communication distance and quality are effected by small tunnels and rocks with complex composition. In view of the above problems, a transceiver of underground location system based on visible light color division duplex was designed. The transceiver adopts LED to transmit information and uses photodiode to receive light data, so as to realize wireless visible light communication. Color division duplex mode is used in uplink and downlink of the transceiver. The signals in two-direction are modulated in two visible light channels with different colors in order to send and receive data. The experiment results show that the transceiver has low power consumption, good anti-electromagnetic interference performance, stable reception and also can be used for lighting.

Key words: underground location; transceiver; visible light communication; color division duplex

0 引言

井下作业安全一直是国家反复强调的。为了满

足矿井日常安全生产和紧急情况下的救援要求,必须保证井下和地面的通信畅通,在井下和地面控制之间建立起可靠的通信系统,并且能够实现井下人

收稿日期:2013-10-23;修回日期:2014-05-09;责任编辑:张强。

基金项目:国家自然科学基金项目(61262075);广西高校重大项目(桂教科研 201201ZD012)。

作者简介:邓健志(1982—),男,广西桂林人,实验师,硕士,主要从事物联网、通信与信息系统方面的科研与教学工作,E-mail:dengjianzhi@163.com。

员、机械设备的定位。

现有的井下无线定位系统收发机主要采用无线电波作为传输介质,如 ZigBee、WiFi、超宽带等,然而由于井下环境恶劣,存在巷道狭小、岩石成分复杂等因素,无线电波在通信距离、质量上都会受到很大的影响。

LED 可见光通信(Visible Light Communication, VLC)技术是将信源信号调制在可见光波段,采用可见光为调制载波发送信息,再用敏感光电器件接收可见光调制信号的无线通信方式。VLC 技术不受电磁干扰影响,可同时兼作照明和通信,适用于复杂的井下生产环境^[1-5]。为此,本文设计了基于可见光色分双工通信的井下定位系统收发机。

1 定位系统构成及原理

1.1 定位系统构成

定位系统由服务器、照明信号源、客户端 3 个部分组成。服务器放置在地面控制中心,用于向照明信号源发送位置查询信息和接收照明信号源发来的客户端位置应答信息。照明信号源为安装在井下巷道的照明设备和光接收器,通过网络与服务器相连,用于向客户端发送位置查询的光信息,并接收客户端的位置应答信息。客户端为安装在头盔的照明头灯和光接收机,用于接收位置查询信息并做出应答。

收发机是定位系统的无线数据收发器,用于建立无线通信信道,实现数据的底层传输,在每个照明信号源、客户端上都配置有一个发射机和接收机。收发机由照明信号源收发机和头盔客户端收发机 2 个部分组成,构成一个双工通信的收发机,无线收发原理如图 1 所示。

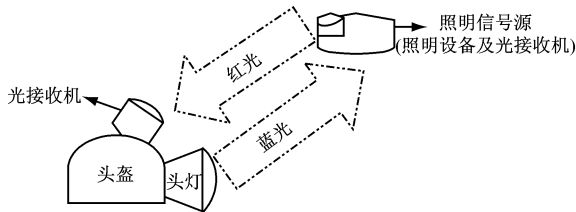


图 1 无线收发原理

1.2 定位系统工作原理

定位服务器通过网络向照明信号源发送信息。照明信号源将数据帧电信号转换成光信号,由照明设备以高速调制的可见光发送出去。客户端通过光接收机接收光信号,并转换成相应的电信号。客户端电路将接收信号解调,并解析还原成数据帧,再将

接收到的数据告知使用人员。

2 收发机硬件设计

2.1 硬件框图及工作原理

收发机硬件结构由照明信号源收发电路和头盔客户端收发电路 2 个部分组成,如图 2 所示。照明信号源收发电路和客户端收发电路的硬件结构一样,都由控制电路、调制驱动电路、LED、判决解调电路、光电二极管、通信接口组成。

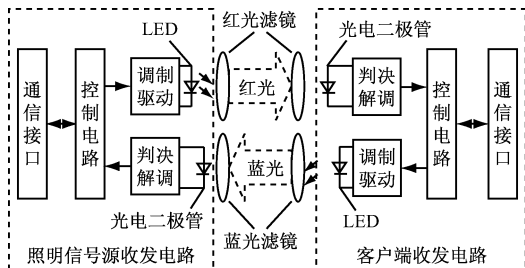


图 2 照明信号源及客户端收发机硬件结构

控制电路解析外部数据并进行数据编解码;调制驱动电路将电信号调制成适合于光信道传输的光载波 LED 可见光;光电二极管将光信号接收还原成电信号;判决解调电路将电信号转换还原成可被控制电路识别处理的信号;通信接口用于与外部设备进行数据交换。

收发机一次数据收发的过程:在数据发送端,由控制电路处理来自通信接口输入的原始数据,并经调制后,驱动发光器件发出无线可见光信号;在数据接收端,由光电接收器件接收无线可见光信号,并由判决解调电路将接收信号进行判决解调,再由控制电路做进一步处理并通过通信接口输出。

2.2 色分双工

色分双工(Color Division Duplex, CDD)是可见光通信特有的一种双工通信技术。不同颜色的单色光对应着不同的波长、频率。用不同颜色的单色光携带信号,可实现可见光波长范围的双工通信。

色分双工需要 2 个独立的光信道,即采用 2 个分立颜色的光波作为 2 个通信信道。其中,一个信道用于下行通信,另一个信道用于上行通信。为防止邻近的发射机和接收机之间产生相互干扰,2 个信道之间要采用一个保护光波段间隔。

在本定位系统的收发机中,照明信号源到头灯的下行信道和头灯到照明信号源的上行信道分别采用红光和蓝光进行数据传输,以实现 2 路的色分双工。

蓝光下行信道的建立:在照明信号源端,数字基带信号经过调制后,驱动白光 LED 产生白光信号,再由蓝色带通滤镜滤除非蓝光波段的光波;在头盔的光接收端,蓝色带通滤镜对接收光信号进行过滤,保留蓝光下行光信号,再由判决解调电路将接收到的蓝光下行光信号还原成数字基带信号。

红光上行光信道的建立则是由红光带通滤镜采用同样的方式实现^[6]。

2.3 光调制与解调

上下行信道的色分双工由光学方式进行调制解调:在客户端和照明信号源的发送端,分别用红光和蓝光滤镜将上行、下行信号分别调制在红蓝两色波段的可见光上;在接收端,再用对应的光学滤镜对接收的混合光信号进行解调,提取出相应的光信号。

在照明信号源端,将下行的定位查询信息调制在波长为 350~550 nm 的红光波段;在客户端,将上行的定位应答信息调制在波长为 600~700 nm 的蓝光波段。红、蓝光 2 个信道光路之间,留出 50 nm 波长的保护间隔。

3 收发机软件设计

收发机的软件功能主要体现在控制电路上,实现的功能有:① 在发送前,将数据打包成数据帧,并对数据帧进行编码;② 在接收时,对接收的数据帧进行解码,并从数据帧中提取出数据信息。

3.1 数据帧

照明信号源端的下行定位查询信息和客户端的上行定位应答信息均采用数据帧的形式传输。数据帧包括帧头字段、数据类型字段、信源 ID 字段、目标 ID 字段、数据长度字段、数据字段、帧尾字段。帧头字段表示一帧数据的开始。帧尾字段表示一帧数据结束。数据类型字段用于指示数据帧为广播、组播、单播等。信源 ID 字段表示数据帧的发送来源。目标 ID 字段表示向某个(些)客户端发送消息。

3.2 编解码

在设计的收发机中,信息编解码采用差分曼彻斯特码。差分曼彻斯特码是一种自同步双相码,有良好的抗噪性。用每个码字中间的跳变作为同步时钟,各码字开始时有跳变的表示该位数据为“0”,无跳变的表示该位数据为“1”。图 3(a)为原始二进制数据,图 3(b)为对应的差分曼彻斯特码^[7]。

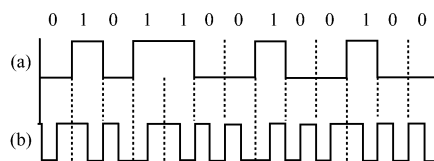


图3 原始二进制数据和差分曼彻斯特码

3.3 接收主流程

收发机发送控制主要是数据打包和编码,其控制流程本文将不详述。接收控制软件较为复杂,设计的软件流程如下:

(1) 以采样率 T 对接收信号进行高、低电平采样。

(2) 检测数据帧头、帧尾,当检测到帧头,开始记录接收数据;当检测到帧尾,结束记录数据。

(3) 根据差分曼彻斯特编解码规则,对记录的数据进行解码。

(4) 检测数据类型字段,如果为广播,则跳过目标 ID 的判断,直接接收数据;如果为组播,则读取目标 ID 的组群 ID 部分;如果为单播,则继续读取目标 ID 的个体 ID 部分。

(5) 根据数据类型字段识别的结果,对接收的数据进行相应操作或放弃数据。

4 试验与分析

4.1 试验方案

为了验证可见光色分双工收发机的效果,根据图 2 的硬件架构,在 50 Hz 的照明白光干扰下搭建收发机的测试模型,进行 VLC-CDD 的验证试验。首先,在上下行信道分别将一定频率的方波加载在一个 1 W 的白光 LED 两端,驱动 LED 以相应的频率高速闪烁。然后,2 路信号分别由红光、蓝光带通滤镜提取出对应波段的红光、蓝光光波。

在上下行信道的接收端,由红光、蓝光带通滤镜滤出对应波段的红光、蓝光,再采用 BPX43 光电二极管接收可见光信号。BPX43 接收波长范围为 450~1 100 nm,最高响应时间为 1 μ s,在 850~900 nm 区间,光敏感度最高。BPX43 的光敏感区间如图 4 所示。其中,采用的蓝光带通滤镜透光波长范围为 600~700 nm,滤镜的透过率可以达到 90%。采用的红光带通滤镜透光波长范围为 400~500 nm,滤镜的透过率可以达到 50%以上。红、蓝 2 条光路波长的保护间隔为 100 nm。

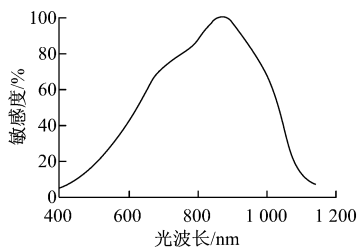
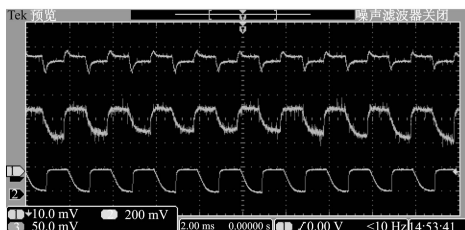


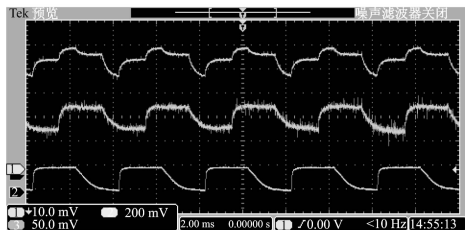
图 4 BPX43 的光敏感区间

4.2 试验结果

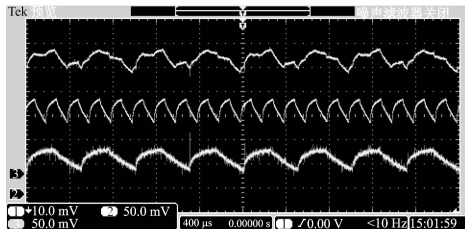
采用以上试验方案进行测试,得到的测试结果如图 5 所示。在图 5(a),(b),(c),(d)中,自上而下的 3 个波形分别为在 50 Hz 的照明白光环境下,上下行信道和照明混合光的接收波形;上行信道蓝光的接收波形;下行信道红光的接收波形。



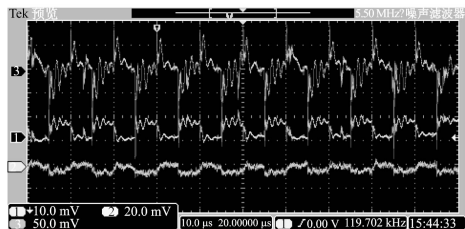
(a) 上行信道和下行信道频率均为 500 Hz



(b) 上行信道和下行信道频率分别为 1 kHz 和 500 Hz



(c) 上行信道和下行信道频率分别为 2 kHz 和 5 kHz



(d) 上行信道和下行信道频率均为 100 kHz

图 5 试验验证波形

由试验结果可看出,采用设计的收发机实现 VLC-CDD 方式通信,首先能够抵御来自外界照明灯光的干扰;同时,上下行 2 个信道的光信号能够很好地融入环境照明光中,起到辅助井下照明的作用;此外,在上下行信道的接收端,对应波段的光信号能够从其他颜色光中提取出来,接收效果良好,且至少可以达到 100 kHz 的传输速率。由此可知,该收发机能够有效地实现双工通信,同时可以辅助照明。

5 结语

基于可见光色分双工的井下定位系统收发机采用可见光传输信息,并用光电二极管接收信息。收发机通信的上下行信道采用色分双工的方式,分别采用蓝光、红光波段。该收发机结构简单,无需采用大功率的无线射频收发电路,仅仅采用照明灯光进行通信,功耗小;同时,光信号完全不受电磁干扰的影响,为井下的无线通信及无线定位提供了一种新的实现方法。

参考文献:

- [1] KOMINE T, NAKAGAWA M. Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2004, 50(1): 100-107.
- [2] YONG-HWAN S, HYUN-SEUNG K, YONG-YUK W. Bidirectional visible light wireless transmission supported by reflective semi-conductor optical amplifier based optical access network [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2011, 53(5): 1032-1036.
- [3] 姜鹏华,张洪明,郎凯,等. 基于室内可见光照明的位置服务系统[J]. 光电子. 激光, 2012, 12(12): 2298-2303.
- [4] 刘宏展,吕晓旭,王发强,等. 白光 LED 照明的可见光通信的现状与发展[J]. 光通信技术, 2009(7): 53-56.
- [5] 顾玉娟. 无线光通信技术研究[J]. 数字通信世界, 2007(4): 76-78.
- [6] 邓健志. 可见光通信复用调制天线: 中国, 201310129552. 8[P]. 2013-07-10.
- [7] YANG Liu, ZHENG Chuantao. Portable Mbps point-to-point OOK-NRZ visible light communication devices based on white light-emitting diode illuminant [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2012, 54(10): 2248-2252.