

基于 VLC 的无线导览系统的设计和实现

徐子轩¹, 梁海莲¹, 钟镇², 何磊², 顾晓峰¹

(1. 江南大学 电子工程系 轻工过程先进控制教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122;
2. 中国科学院 苏州纳米技术与纳米仿生研究所, 江苏 苏州 215123)

摘要:提出了一种基于可见光通信技术的新型无线导览系统。在需要安装导览系统的地方对 LED 照明系统进行合适的改造, 使 LED 发射带有识别码的可见光。当带有光电二极管的终端进入光照范围时, 直接接受识别码, 并经过跨阻放大器、滤波电路、电平判决器等电路处理后生成数字信号发送给后级微处理器, 再通过解码、识别码比对等处理实现目标定位和无线导览的功能。利用 FPGA 开发套件及可见光发射机、接收机搭建了一个采用 Manchester 编解码和 OOK 调制方式的最简无线导览系统, 并通过测试验证了系统的可行性。

关键词:可见光通信; 室内无线导览系统; 发光二极管

中图分类号: TN929.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-5561(2012)03-0056-04

Design and implementation of wireless navigation system based on visible light communication technology

XU Zi-xuan¹, LIANG Hai-lian¹, ZHONG Zhen², HE Lei², GU Xiao-feng¹

(1. Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry (Ministry of Education), Department of Electronic Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China; 2. Suzhou Institute of Nano-tech and Nano-bionics, Chinese Academy of Sciences, Suzhou Jiangsu 215123, China)

Abstract: A novel wireless navigation system based on the visible light communication technology has been proposed. After appropriate modification of the light emitting diode (LED) illumination system at the place where the navigation system is installed, LEDs can emit visible light with the identification information. When the terminal equipped with the photodiode detector enters the illuminated area, the received identification information is converted by transimpedance amplifier, filter and level judgment circuits to digital signals, which are sent to the microprocessor. The positioning and wireless navigation functions can then be realized after decoding and comparing the identification information. A simplest wireless navigation system based on the Manchester encoding and decoding and the OOK modulation is built by using FPGA development kits, visible light transmitter and receiver. The feasibility of the demonstration system is verified by testing results.

Key words: visible light communication; indoor wireless navigation system; light emitting diode

0 引言

无线导览系统能方便地为用户提供个性化的高质量服务和资讯, 特别是在大型场馆、复杂环境下具有很高的实用价值。随着无线通信技术的发展, 先后

出现了基于射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID)、无线局域网、可见光等不同通信方式的导览系统, 其中可见光通信 (Visible Light Communication, VLC) 技术是一种新型的使用可见光作为信息载体的短距离高速无线通信方式^[1-4], 将大功率、高亮度的半导体发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 光源用作无线光通信链路的可行性已得到验证^[1]。由于可同时兼顾照明和通信两种功能, VLC 技术正获得越来越多的关注和应用。例如, Jelena 等人报道了一种采用

收稿日期: 2011-12-27。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (JUSRP20914, JUD-CF10031) 资助; 轻工过程先进控制教育部重点实验室开放课题资助项目 (APCLH1001) 资助。

作者简介: 徐子轩 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究无线光通信技术。

DMT调制实现 513 Mb/s 通信速率的 VLC 链路^[2],基于可见光的室内定位系统已被验证是一种低复杂度的室内定位系统^[3],文献 4 研究了一种基于估计接收机位置阈值(switching estimated receiver position, SERP)的室内定位系统实现方法^[4]。本文将研究一种利用 VLC 技术实现室内无线导航系统的具体实施方案。

1 系统构架及特点

图 1 为一个基于 VLC 技术的室内无线导航系统的示意图。对油画《蒙娜丽莎的微笑》附近的天花板或墙壁上的 LED 照明灯具进行改造,使其发射的可见光中包含按照一定方式调制的特定的识别码,以实现点对点、点对多点的数据广播功能。当持有移动终端的用户进入有效光照区域时,带有光电二极管探测器(PD)的终端将直接接收带识别码的可见光信号,进而解析出可见光特有的识别码序列,对比事先约定的识别码同被识别物的关系,根据被识别物在场馆中的位置确定终端持有者所处的实际位置区域,便可在终端中自动为用户播放被识别物的详细信息,包括文字、表格、图片、语音或视频等丰富的多媒体导航资讯,为用户提供个性化、交互式的多媒体信息服务。该功能还可使用户迅速了解安全出口、参观路线、周边展区分布情况、休息服务区、洗手间位置等实用环境信息,既可为用户带来极大的便利,也能使场馆环境的设计更科学合理、更人性化。在该系统中,可见光发射机通过使用单片机、数字信号处理(DSP)、FPGA 等微处理器建立服务;发送不同识别码的 LED 之间相互独立,这样既可以满足信号调制的功能,又可极大地降低整个系统布局的复杂度^[5]。



图 1 基于可见光通信技术的无线导航系统

目前,射频通信技术已广泛深入到人们的日常生活中,基于射频标签的无线导航系统正在日益完善。与传统的射频通信或其他类似技术相比,使用 VLC 技术具有以下主要优势:

①采用 VLC 技术可与实际环境中现存的照明电力线相结合,电气布线方便快捷。用于通信的 LED 光源可安装在任何需要的地方,既提供照明,又可方便地用来实现无线数据传输。因此,系统布局中几乎不

增加额外的电力供应线路,通过简便改造既有照明系统即可建立基于 VLC 的无线自动导航系统的发射机,达到了充分利用现有资源、低碳环保的目的。

②VLC 属于绿色通信技术,其信号光源的辐射光谱位于对人体无害的可见光波段,不存在额外的电磁辐射,非常安全、绿色环保。适合对电磁干扰有严格限制要求的特殊场合。

③LED 信号光源发射功率高。在 LED 可见光通信系统中,光源发射的是与自然光完全相似的非相干可见光,作为对人眼无害的绿色光源,一般无需限制其发射功率。

2 系统关键技术

由图 2 所示的 VLC 原理图可知,VLC 技术将识别码序列和照明控制技术结合起来,对 LED 光源进行调制,使 LED 发射出

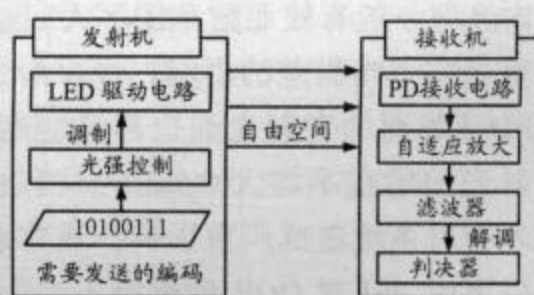


图 2 可见光通信原理示意图

带调制信号的可见光,带有 PD 的终端接收光信号之后进行自适应放大、滤波、解调等处理,最终通过电平判决器生成数字信号驱动后续微处理器。但是,因为 LED 光源发出的是非相干光,无法提供稳定的载波,所以目前 VLC 链路主要采用光强调制(IM)和直接检测(DD)的方法,通信链路选择直射式数据连接。OOK (On-Off Keying)和 O-OFDM (Optical-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 等调制方式广泛用于 VLC 技术,在考虑减少系统的复杂度和比较综合性能的基础上,本方案采用 OOK 调制方式来对 LED 光源进行调制。下面针对无线自动导航这一特定应用场合,对可见光识别(Visible Light Identification, VLID)的编码方式、自由空间引入的干扰、亮度调控技术、终端中的电平判决器设计等几个方面分别进行讨论。

2.1 VLID 的编码方式

目前有几种编码方式,如在光通信领域普遍采用的 8B/10B、Non-Return to Zero (NRZ)、Manchester 等简单有效的编码方式,可充分满足本无线导航系统的通信需求^[6]。可见光作为通信的手段之外,另一个主要作用在于其原始的照明功能。LED 作为照明灯首先必须保证照明的稳定性,因此需要一组连续的、稳定的和 0、1 比例恒定的编码序列,使其不会出现明显的闪烁^[7]。其次,合理的冗余码可以保证系统有一定的错误

徐子轩,梁海莲,钟镇,等:基于 VLC 的无线导览系统的设计和实现

检查能力,可有效避免误码情况。当终端接收到识别码序列后,只要在事先约定的识别码表中对比冗余位是否与标签位(被识别物的有效编号)匹配,即可有效减少错误的发生。同时,考虑到实际系统中被识别物的数量,只需简单修改标签位长度即可满足系统要求。

2.2 自由空间引入的干扰分析

干扰主要由以下三个方面组成:①由于室内 LED 单元灯作为照明光源分布在不同空间位置,导致了不同的传输延迟,从而不可避免地产生码间干扰(ISI);②漫反射光引入的码间干扰;③相邻的采用不同识别码的 LED 阵列在光照交叉区域不可避免地产生的干扰。通常可采取以下措施来防范上述干扰问题的产生:室内光源一般有效照射范围不大,且可通过 LED 的合理布局减小光程差的影响;漫反射引入的光功率很小,PD接收到的直射光和全部漫射光的增益总和只比直射光的增益平均大 0.5dB^[9],只有在高通信速率时 ISI 才会对系统造成严重影响,通常通信速率在 100Mb/s 以下时,ISI 对 OOK 的影响不大^[9];至于在光照交叉区域中出现相互干扰的问题,可通过改变 LED 的调制深度和终端的判决器上的有效光强阈值来解决。当 PD 输出信号幅值小于阈值时,将被认定为无效信号,这样就可以很好地解决不同识别码信号交叉的问题。值得注意的是,调制深度主要影响 LED 交流信号大小,如图 3 所示,在流经 LED 的正向电流值 b 一定时,增大调制信号最小振幅值 a ,将减小交流信号的幅值,但会略微增加 LED 的照射功率。

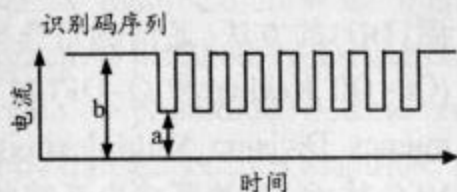


图 3 流经 LED 的电流调制信号

2.3 亮度调控

在 VLC 系统中,通常采用脉宽调制和改变调制深度这两种方法调节 LED 的亮度^[10]。

发射端的调制深度关系到信号的有效广播范围以及 LED 的光谱偏移特性,且会对接收端信号的信噪比产生较大影响;脉宽调制 (Pulse Width Modulation, PWM) 技术则广泛应用于测量、通信、功率控制与变换的许多领域中。虽然在 VLC 中,PWM 会显著降低通信时的传输速率,但在无线导览这个特定应用环境下,可见光标签的发送速率并不是主要的考虑因素,因而单一地采用 PWM 是 VLC 系统亮度控制的一种可行方法。

假定采用周期为 1ms 的脉宽调制信号作为载波,识别码序列为‘101010101010’,频率 1 MHz,PWM

为定时发送数据包。三种不同的 PWM 输出信号值如图 4 所示,其中图 4(a)显示的 PWM 输出占空比为 80%,即信号在 1 个单位周期的 80% 时间内有输出,

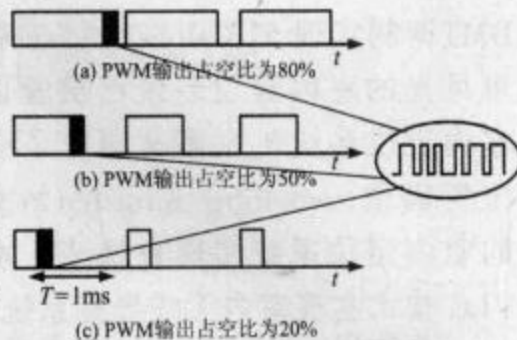


图 4 三种不同的脉冲宽度调制输出信号

另外 20% 的时间为关闭,图 4(b)和图 4(c)则分别显示占空比为 50% 和 20% 时的 PWM 输出模拟信号值。脉冲宽度调制信号的周期时间越长,意味着单位时间内发送的数据包个数越少;但这个周期时间是有限制的,它必须保证有足够长的时间发送识别码序列,同时应控制 LED 的闪烁频率在人眼接受范围内。

2.4 终端中电平判决器的设计

LED 空间光强存在严重的不均匀分布特性,当移动终端进入有效光照区域后,在区域内不同位置接收到的光信号强度会有很大的差别,是否能够得到稳定的可见光信号直接影响到无线导览系统的可行性。可见光发射电路采取 OOK 调制的方式,电平判决器的设计应满足以下条件:在输入信号幅值发生较大变化时,仍然可以正确地还原信号;设定恰当的电平判决阈值,使可见光接收机既能正确识别较弱的可见光信号,又能够有效避免噪声干扰;电平判决器的输出电平可以直接驱动后级的微处理器等数字电路。

3 仿真及测试结果

为了验证系统功能的可实现性,首先使用 FPGA 软件构建最简编码、解码系统;在实现基本的编解码功能后,接入可见光链路。采用白光 LED 照明,可见光发射机带有透镜,LED 驱动电路使用 6 V 直流电源,接收机上采用 PIN-PD 作为光电转换器件,其波长敏感范围为 400~1100nm,用来信号处理的 FPGA 开发板为 Nexys2 型开发套件。测试条件列于表 1。

表 1 测试条件

通信频率	122kHz
编码序列发送周期	262μs
编码序列发送次数	16'Hfff
编解码	Manchester
原码	8'b10100111
LED 调制深度	68.5%
判决器阈值电压	≈ 100mV
LED 功率	300mW
可见光发射机出射角	≈ 15degree

电路测试时,在通信距离为 100、150、200、250 cm 时得到的可见光发射机、接收机的信号波形如图 5 所示,其中通道 1(CH1)为 FPGA 开发板 PMOD 接口输出信号,通道 2(CH2)、通道 3(CH3)分别为移动终端

中电平判决器输入及输出信号。可以看出,图 5 (a)、图 5 (b)、图 5 (c)和图 5 (d)中 PMOD 输出 OOK 调制信号为 '1001100101101010' (对应为原码: '10100111')。

经可见光链路后,电平判决器输入信号出现轻微的失真,但通过电平判决器修正,仍可以正确输出幅值为 3.3 V 的 OOK 信号。随着距离的增加,CH2 的值发生较大幅度的衰减,图 5 (d)中电平判决器只有微弱的输入信号,电平判决器的输出也出现了一定的毛刺,但仍可以识别可见光识别码序列。

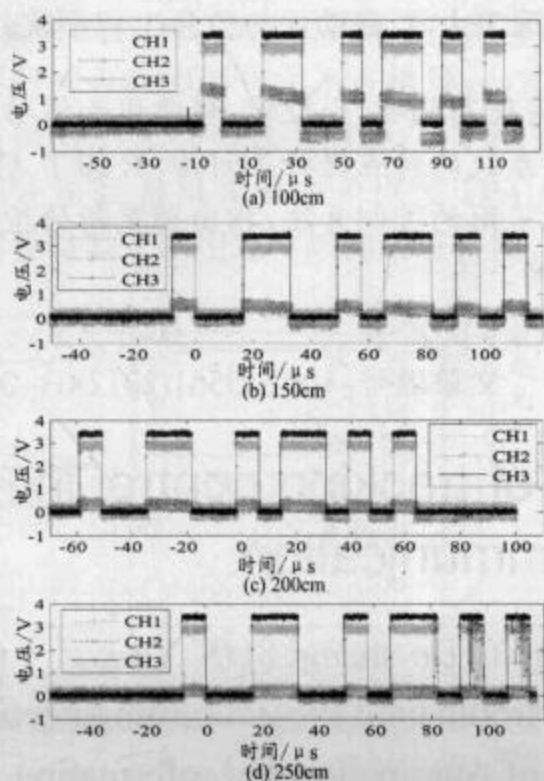


图 5 不同通信距离处可见光发射机、接收机波形

VLID 的有效传输距离由 LED 发射功率、信号的调制深度、空间光强分布、PD 的转换效率、电平判决器阈值等因素综合决定,图 6 给出了最简无线导航系统模型识别码序列正确接收率随通信距离的变化趋势。测试结果表明,在使用表 1 中的出射角和阈值电压值时,280cm 的通信距离内识别率为 100%,超过 300 cm 后识别率将快速下降,超过 330cm 后基本无法识别(定义该距离为最远识别距离)。通过调节发射机上的光学透镜,可改变发射机的出射角。在 LED 功率不变的前提下,

增大出射角将大幅缩减 VLID 的可识别距离。从图 6(a)可以看出,在表 1 中的其它参数不变

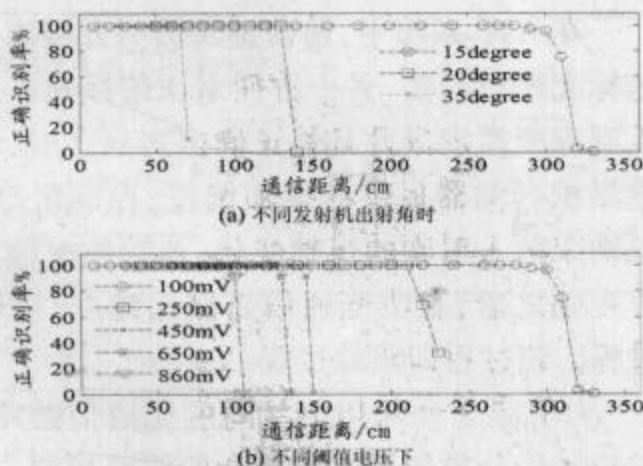


图 6 正确识别率与通信距离的关系

的情况下,出射角增加到 20° 和 35° 时,最远识别距离分别下降到 130cm 和 70cm。图 6(b)给出了不同的判决器阈值电压下识别率同测试距离的关系。在表 1 中的其它参数不变的情况下,当阈值电压增大到 250mV、

450mV、650mV 和 860mV 时,最远识别距离分别下降到 220cm、150cm、130cm 和 100cm。由此可见,空间光强的分布对 VLID 传输距离非常关键,值得进一步的深入研究。

4 结束语

提出了一种基于可见光通信技术的新型无线导航系统的具体实施方案,对 VLID 编码方式、减小自由空间引入的干扰的方案、亮度调控技术、终端中的电平判决器等关键环节进行了研究与设计,并利用 FPGA 开发套件及可见光发射机、接收机搭建了一个最简无线导航系统模型。实验测试表明,该系统在 300 cm 的通信距离内能正确识别由小功率 LED 发射的可见光调制信号,成功实现了 VLID 的发送和接收功能。由于系统采用低速率广播的通信方式,对发射机上 LED 的频率响应要求很低,可以兼容绝大多数的 LED 照明设备,是一种新型而有效的室内无线导航系统。

参考文献:

- [1] 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,2009,33(7):53-56.
- [2] JELENA V,CHRISTOPH K,STEFAN N.513 Mbit/s Visible Light Communications Link Based on DMT-Modulation of a White LED[J]. Journal Of Lightwave Technology, 2010, 28(24):3512-3518.
- [3] SERTTHIN C, TSUJI E, HARUYAMA S, et al. 5th international proc., URAI[C].2008:20-22.
- [4] SERTTHIN C, TSUJI E, NAKAGAWA M, et al. Wireless Pervasive Computing, 2009. ISWPC 2009. 4th International Symposium on[C]. Melbourne, VIC ,2009:1-5.
- [5] KIM W C,BAE C S,JEON S Y. Efficient Resource Allocation for Rapid Link Recovery and Visibility in Visible-Light Local Area Networks [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(2): 524-531.
- [6] ZENG L B, O'BRIEN D, HOA M. High Data Rate Multiple Input Multiple Output (MIMO) Optical Wireless Communications Using LED Lighting [J].IEEE Journal on Selected Areas in Communications,2009,2 (9):1654-1662.
- [7] 刘博,杨宇,朱琳,等.室内半导体照明通信中的光强稳定技术[J].光电子·激光,2010,21(12):1794-1797.
- [8] 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.
- [9] ELGALA H, MESLEH R, HAAS H. Indoor Broadcasting via White LEDs and OFDM[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55 (3): 1127-1134.
- [10] SUGIYAMA H, HARUYAMA S, NAKAGAWA M, et al. The Third International Conference on Wireless and Mobile Communications, 2007 (ICWMC'07)[C]. Guadeloupe: 2007:78-78.