

基于 V-MPAPM 的室内可见光通信系统的实现

廖舒安, 王旭东, 吴楠, 李卓龙

(大连海事大学 信息科学技术学院, 辽宁 大连 116026)

摘要:针对可见光通信中可变脉冲幅度位置调制(VPAPM)方法进行了改进,提出了一种可变多脉冲幅度位置调制(V-MPAPM)方法,在提升通信速率的同时还能提高调光分辨率。在单片机平台上实现了采用V-MPAPM调制的可见光通信系统实验样机。在室内实验场景下进行了系统误码性能及调光性能的测试,验证了该调制技术的可行性。

关键词:可见光通信; V-MPAPM; 通信速率; 调光控制

中图分类号: TN929.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-5561(2018)04-0047-04

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.04.013

Realization of indoor visible light communication system based on V-MPAPM

LIAO Shu'an, WANG Xudong, WU Nan, LI Zhuolong

(Information Science Technology College,

Dalian Maritime University, Dalian Liaoning 116026, China)

Abstract: Aiming at the improvement of variable pulse amplitude position modulation(VPAPM) scheme used for visible light communication (VLC), a method of variable multi-pulse amplitude position modulation (V-MPAPM) is proposed to increase the data rate and dimming resolution. The experimental prototype of visible light communication system with V-MPAPM modulation is realized on the single chip microcomputer platform. The performance test of bit error rate and dimming resolution are performed under the laboratory experiment conditions to verify the feasibility of this modulation technique.

Key words: visible light communication; V-MPAPM; communication rate; dimming control

0 引言

随着无线网络的发展,频谱资源的稀缺已成为支撑宽带无线通信的首要问题。近年来,可见光通信(VLC)由于其非授权频谱、全球可用性和特殊安全特性等突出优点引起了越来越多的关注^[1]。VLC 通常使用固态照明设备即发光二极管(LED)作为发射机,能提供高速率的数据传输。由于 VLC 系统一般需要兼顾照明和调光功能,因此选择合适的调制方法对于可调光 VLC 系统至关重要。目前已有很多调制方法用于 VLC 系统,如脉冲宽度间隔调制(PWIM)^[2]、可变开关键控(VOOK)^[3]、MPPM^[4]和 MPAM^[5]等,这些调制方式都具有较高的功率效率和带宽效率,并且均可以用于

VLC 系统的调光控制中。文献[6]提出了一种可变脉冲幅度位置调制(VPAPM)方法,相较于之前的几种方案,该方案具有更高的带宽效率和功率效率。为进一步提高通信速率同时兼顾调光控制,本文提出一种可变多脉冲幅度位置调制(V-MPAPM)方法,通过引入复合调制思想,联合 MPPM 和 MPAM,构建一种新型的多脉冲幅度位置调制(MPAPM)方式用于可见光信息传输,同时通过对多脉冲信号进行脉冲宽度调制(PWM)来实现调光控制功能。

1 V-MPAPM 调制原理

MPAPM 方式联合两种多进制脉冲调制,即 MPPM 和 MPAM。对于 MPPM,引用 (n, p) 表示一个符号周期 T 内有 n 个时隙,且其中 p 个时隙内有脉冲信号,即进

收稿日期:2017-12-27。

基金项目:国家自然科学基金(61371091)资助。

作者简介:廖舒安(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向为可见光通信。

制数 $M=C_n^p$, 因此 (n,p) MPPM 每符号可以传输 $\log_2 C_n^p$ 比特信息。对于 MPAM, 引用进制数为 N 表示脉冲电平幅度数, 因此 N 进制 PAM 每符号携带的信息为 $\log_2 N$ 比特。本文将这种联合调制方式记作 (n,p,N) MPAPM。

(n,p,N) V-MPAPM 方式的原理是将一个符号周期等间隔划分成 n 个时隙, 选择其中 p 个时隙用于传输脉冲信号, 并且将这 p 个脉冲信号分别进行 N 电平脉冲幅度调制。因此, (n,p,N) V-MPAPM 每符号能传输 $\log_2(C_n^p \cdot N^p)$ 比特信息。相较于文献[6]中的 VPAPM 每符号能传输 $\log_2(N \times n)$ 比特信息, 使用 V-MPAPM 能提供更高的信息传输速率。上述多种调制方式的每符号能传输比特数的对比情况如表 1 所示。可以看出 (n,p,N) V-MPAPM 相比于 N -PAM、MPPM 和 VPAPM 几种调制方式, 每符号传输比特数更多。因此 (n,p,N) V-MPAPM 有更高的信息传输速率。

以 $(4,3,4)$ MPAPM 为例, $(4,3,4)$ MPAPM 一个符号能够传输 8 比特信息。表 2 给出了相应的波形调制映射规则。其中一个符号周期的 4 个时隙分别记为时隙 A、时隙 B、时隙 C 和时隙 D。在调制过程中, 对二进制数据流的每 8 比特进行调制。其中 8 比特的前 2 比特记为 TX_bits_1, 代表

表 1 不同调制方式每符号传输比特数

调制方式	每符号能传输信息比特数(bit)
N -PAM	$\log_2 N$
(n,p) MPPM	$\log_2 C_n^p$
(n,N) VPAPM	$\log_2(N \times n)$
(n,p,N) V-MPAPM	$\log_2(C_n^p \times N^p)$

表 2 $(4,3,4)$ MPAPM 的映射规则

两比特信息	映射规则
TX_bits_1	00 时隙 A、B、C 为脉冲
	01 时隙 A、B、D 为脉冲
	10 时隙 A、C、D 为脉冲
	11 时隙 B、C、D 为脉冲
TX_bits_2	00 时隙 1 脉冲幅度为 P_1
	01 时隙 1 脉冲幅度为 P_2
	10 时隙 1 脉冲幅度为 P_3
	11 时隙 1 脉冲幅度为 P_4
TX_bits_3	00 时隙 2 脉冲幅度为 P_1
	01 时隙 2 脉冲幅度为 P_2
	10 时隙 2 脉冲幅度为 P_3
	11 时隙 2 脉冲幅度为 P_4
TX_bits_4	00 时隙 3 脉冲幅度为 P_1
	01 时隙 3 脉冲幅度为 P_2
	10 时隙 3 脉冲幅度为 P_3
	11 时隙 3 脉冲幅度为 P_4

MPAPM 调制的位置信息。TX_bits_1 为“00”时, MPAPM 信号 4 个子时隙中的 D 时隙为低电平, 剩余的子时隙为脉冲信号; 以此类推, 当 TX_bits_1 分别为“01”、“10”和“11”时, MPAPM 信号 4 个子时隙的 C、B 和 A 时隙为低电平, 剩余的子时隙为脉冲信号。我们选定其余 3 个脉冲时隙, 按先后顺序重新编号, 记为时隙 1、2 和 3。8 比特信息的后 3 个 2 比特信息分别记为 TX_bits_2、TX_bits_3 和 TX_bits_4, 分别决定时隙 1、2、3 中脉冲信号的幅度值, 脉冲幅度 $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$ 。

在本文提出的 V-MPAPM 方式中, 调光控制仍然采用 PWM, 但是与通常 PWM 控制方式中所有脉冲采用恒定占空比不同, 本方案采用更为灵活的可变占空比调光方式, 通过改变 p 个时隙中各个脉冲在各自时隙的占空比来改变发光强度, 进而增加了 V-MPAPM 可变调光控制功能。在 $(4,3,1)$ V-MPAPM 中进行调光控制的原理如表 3 所示, 调光原理图中, P 表示调光功率, T 表示调制波形的时隙宽度。 γ_1 、 γ_2 和 γ_3 分别是时隙 1、2 和 3 的调光因子, 通过改变 γ_1 、 γ_2 和 γ_3 可以实现较大动态范围的调光控制。在实际系统实现过程中, 调光因子最小改变的比例为调光分辨率 r 的倒数 $1/r$ 。假设单脉冲 PWM 调光方法的调光分辨率为 r , 若以 $(4,3,1)$ V-MPAPM 为例, 则其调光分辨率能提升到 $3r$ 。因此, 与 VPAPM 调制方法中的单脉冲 PWM 调光方法相比, V-MPAPM 能够提高调光分辨率, 从而实现更加精确的调光控制。

2 V-MPAPM 系统的实现

为了验证 V-MPAPM 方案在 VLC 系统中的有效

表 3 $(4,3,1)$ V-MPAPM 的调光原理

调光因子	调光原理图
$\gamma_1=0.7, \gamma_2=0.7, \gamma_3=0.7$	
$\gamma_1=0.7, \gamma_2=0.5, \gamma_3=0.3$	
$\gamma_1=0.5, \gamma_2=0.5, \gamma_3=0.5$	
$\gamma_1=1, \gamma_2=1, \gamma_3=0.5$	

性,本文搭建了如图1所示的测试平台^[3]。该平台的微控制器采用20脚DIP封装的增强型单片机C8051F330,它能实现本系统所需要的调制/解调算法、数字信号处理以及数模/模数转换等功能。该平台使用型号为S6436的光二极管接收光信号。在实验中,发送端C8051F330单片机的引脚最大输出电流为25mA,LED驱动电路的驱动能力有限,实际测量实验中LED的发光功率为0.36W。本文使用强度调制/直接检测(IM/DD)方式,接收端信号采用电平强度解调方法,在超出正常通信距离时,信号的多种电平会出现混叠以致无法解调,在对发送端驱动能力进行改善之后,可以较大提升通信距离。此外,在进行V-MPAPM时,V-MPAPM信号脉冲的产生受到单片机系统时钟的限制,因此本文使用了28.8kb/s的信息传输速率。

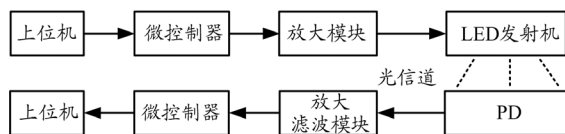


图1 基于V-MPAPM调制的VLC系统实验平台

发送端上位机的数据经串口模块传输到微控制器,微控制器对信号进行处理,实现调制调光算法,再将处理完的信号经过数/模转换后输入到放大模块,最后经LED驱动电路将其加载到LED上,实现光强度调制,从而完成信号发送的操作。接收端光电探测器(PD)将自由空间中的可见光信号转换为微弱的电流信号后,经过放大滤波模块将电流转化成适合单片机处理的形式,在微控制器中对信号进行解调,并将解调出的数据传输给接收端上位机。测试中V-MPAPM的调制与解调算法都是在单片机中实现的。

V-MPAPM系统中信息传输的帧格式如图2所示。该系统的帧由4部分组成,即帧同步头、训练序列、信息数据和截止符。其中帧同步头采用7位巴克码,共占用了7个V-MPAPM子时隙。训练序列为5个子时隙的解调标识信息。信息数据每帧固定发送15个字节。截止符就是每帧数据发送完毕时输入的回车符的ASCII码,即0X0D,每当收到0X0D时,则认为本组数据接收完毕。

信号经过系统接收端放大模块后的信号波形图如图3所示,图中对信息的帧结构组成部分做了标识。

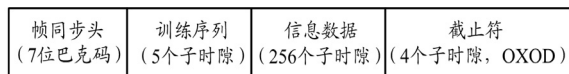


图2 系统帧结构

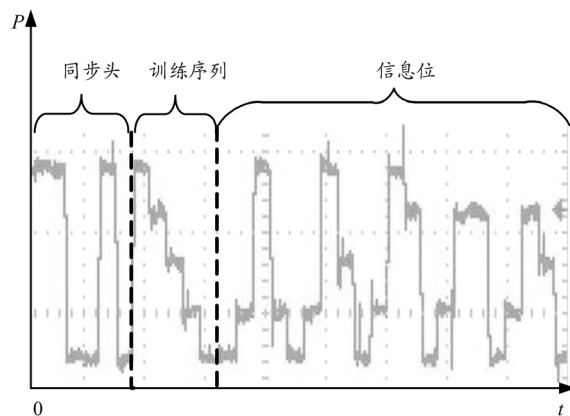


图3 接收信号经过放大器后波形图

在发送端通过串口调试助手发送的字符信息为ASCII码形式,本文在通信过程中选择(4,3,4)V-MPAPM来传输8比特信息。系统在发送端和接收端进行信息传输的软件实现流程图如图4和图5所示。

在进行(4,3,4)V-MPAPM调制时,根据每1字节前两位信息为“00”、“01”、“10”或“11”来选择一个符号周期中的3个时隙为脉冲,根据每1字节的后3个2位信息来选择这3个脉冲的幅度值。在解调时,将接收到信息位的电平值与训练序列中的电平值进行比

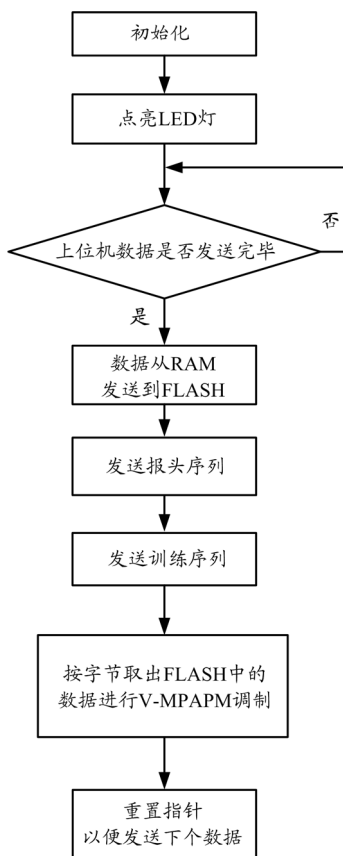


图4 发送端程序设计流程图 VLC

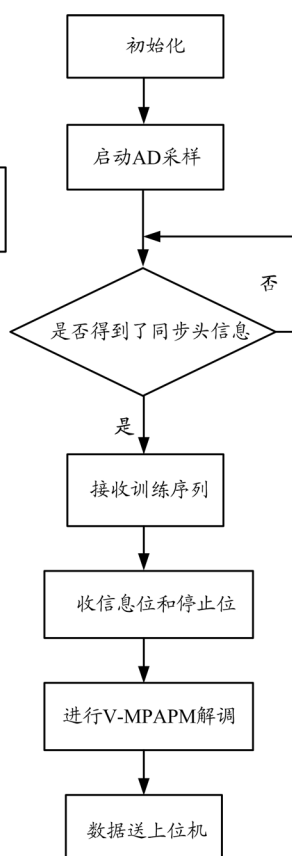


图5 接收端程序设计流程图

较,从而解调出每 8 位信息。加入训练序列解调的方法使得电平解调过程具有了自适应能力。

3 实验结果与分析

为验证 V-MPAPM 系统的通信功能和调光控制功能,我们依据图 1 的实验平台搭建了实验场景,分别进行字符信息传输及调光功能的测试实验。发送端共 4 个 LED,每个 LED 发光功率为 0.36W,直射传输链路(LOS),室内光照条件,信息传输速率为 28.8kb/s。

① 字符传输。在发送端上位机发送信息“DLMU_VLC_LAB”,在接收端上位机能够正确接收到该信息。本系统在 (n,p,N) V-MPAPM 调制取不同参数时,通过实测得出的误码率曲线图如图 6 所示。可以看出,在观测实验距离范围内,相较于其它几种 V-MPAPM,(4,3,4)V-MPAPM 有较好的误码率性能。由于(4,3,4)V-MPAPM 需要产生 4 种脉冲幅度,因此在发送端进行功率分配时被分配了更多的功率以产生 4 种足够大的脉冲幅度,以便于接收端在解调时能获取合适的电平门限值。因此,(4,3,4)V-MPAPM 在具有更高功率的情况下,性能会优于其它 3 种方式。

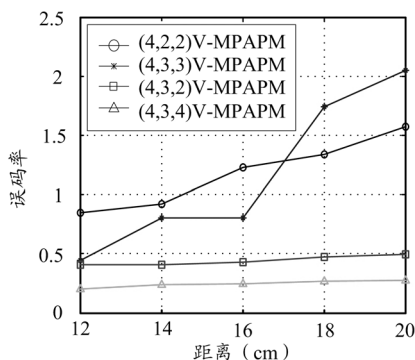


图 6 V-MPAPM 系统误码率曲线图

② 调光控制。通过测量(4,3,4)V-MPAPM 系统在调光因子 γ_1 、 γ_2 和 γ_3 不同时的系统照度与距离的关系,得到如图 7 所示的照度曲线图。可以看出该系统调光效果明显,在通信距离为 9~17cm 时能够保证稳定的调光范围。

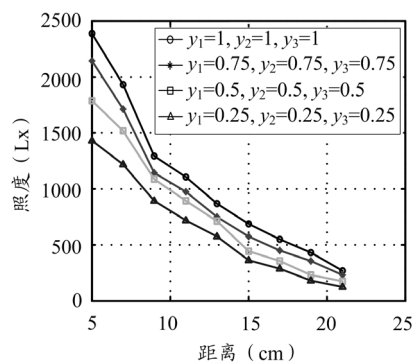


图 7 V-MPAPM 系统照度与距离关系的曲线图

我们在通信距离为 15cm 时,通过改变调光因子,测量 V-MPAPM 系统的照度值,可以得到照度随调光因子变化的曲线,如图 8 所示。可以看出在调光因子

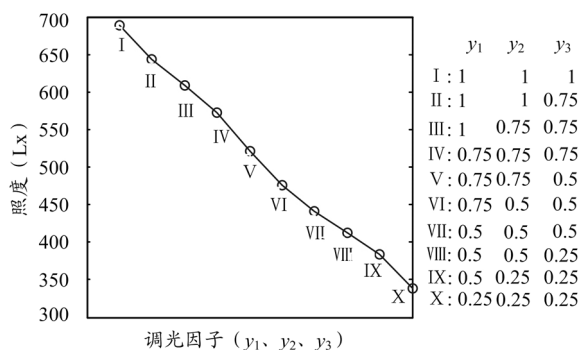


图 8 V-MPAPM 系统照度随调光因子变化曲线

γ_1 、 γ_2 和 γ_3 变化时,本系统能在一定调光范围内实现较高的调光分辨率。

4 结束语

本文提出了一种用于室内可见光通信的 V-MPAPM 调制技术,在没有显著增加系统硬件成本及算法复杂度的情况下,提高了系统通信速率和调光分辨率。并且在搭建的实验平台上进行了系统通信测试,在通信距离为 5~20cm 时本系统通信较稳定,并且初步实现了 45%~100% 的动态范围调光控制功能。

参考文献:

- [1] PATHAK P H, FENG Xiaotao, HU Pengfei, et al. Visible Light Communication, Networking, and Sensing: A Survey, Potential and Challenges [J]. IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, 2015, 17(4): 2047-2077.
- [2] 裴伟程,徐智勇,汪井源,等. 无线光通信中的脉冲宽度间隔调制方案[J]. 光通信技术,2014,38(11):46-49.
- [3] LEE K, PARK H. Modulations for Visible Light Communications With Dimming Control [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2011, 23(16): 1136-1138.
- [4] LOU Shun, GONG Chen, WU Nan, et al. Joint Dimming and Communication Design for Visible Light Communication [J]. IEEE Communications Letters, 2017, 21(5): 1043-1046.
- [5] LIAN Jie, BRANDT-PEARCE M. Adaptive M-PAM for Multiuser MISO Indoor VLC Systems [C]// 2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), December 4-8, 2016, Washington, DC, USA. Piscataway: IEEE, 2017.
- [6] YI Li, LEE S G. Performance Improvement of Dimmable VLC System with Variable Pulse Amplitude and Position Modulation Control Scheme [C]// International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, December 13-14, 2014, Wuhan, China. Piscataway: IEEE, 2014.
- [7] 旷亚和. 基于 LED 的无线数据传输技术研究与设计实现 [D]. 大连: 大连海事大学, 2014.