

一种基于 CPPM 的 LED 光通信系统

王凤英,胡晓莉*,秦岭,郭 瑛,徐艳红,杜永兴

(内蒙古科技大学 信息工程学院,内蒙古 包头 014010)

摘要:为提高可见光通信系统安全性,并进一步降低系统的误码率,将具有伪随机特性的混沌序列、扩频技术和脉冲位置调制(PPM)引入到发光二极管(LED)光通信系统,实现了一种基于混沌脉冲位置调制(CPPM)的 LED 光通信系统。在加性高斯白噪声(AWGN)信道下,分别分析了信噪比对 PPM 系统误码率,及密钥、信噪比和混沌序列的长度对 CPPM 系统误码率的影响。仿真结果表明:当混沌序列的长度大于 32 为时, CPPM 系统优于 PPM 系统,可降低系统的误码率,提高系统的安全性。

关键词:混沌扩频;脉冲位置调制;可见光通信;误码率

中图分类号:TN929.12 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2019)12-0007-03

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.12.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



LED light communication system based on CPPM

WANG Fengying, HU Xiaoli*, QIN Ling, GUO Ying, XU Yanhong, DU Yongxing

(Department of Information Engineer, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: In order to improve the security of the visible light communication system and further reduce the bit error rate of the system, chaotic sequences with pseudo-random characteristics, spread spectrum techniques, and pulse position modulation (PPM) are introduced into the light-emitting diode (LED) optical communication system. An LED optical communication system based on chaos pulse position modulation (CPPM) is realized. Under the additive white Gaussian noise (AWGN) channel, the influence of signal-to-noise ratio (SNR) on bit error rate of PPM system is analyzed. At the same time, the influence of the key, SNR and the length of chaotic sequence on the bit error rate of CPPM system are analyzed. Simulation results show that when the length of chaotic sequence is greater than 32, the CPPM system is superior to the PPM system, which can reduce the bit error rate of the system and improve the security of the system.

Key words: chaos spread frequency; pulse position modulation; visible light communication; bit error rate

0 引言

发光二极管(LED)不仅具有低功耗、节能环保等优点,还拥有切换快、灵敏度高和调制性能好等特点^[1,2]。可见光通信技术^[3]是利用 LED 的高速响应特性将信号调制到 LED 上,发出光载波信号;光载波信号在空间中自由传播,最后经过光电探测器接收、再生和解调信号,实现信息的传递。脉冲位置调制(PPM)是

收稿日期:2019-07-30。

基金项目:国家自然科学基金(61961033,61661044)资助;内蒙古自治区自然科学基金(2018LH06002)资助。

作者简介:王凤英(1977-),女,硕士,副教授,现任职于内蒙古科技大学信息工程学院,主要研究方向为智能交通光通信、图像处理及混沌密码学。负责和参与完成及即将完成的省部级、国家级项目 6 项,发表学术论文 20 余篇,授权发明和实用新型专利 3 项。

*通信作者:胡晓莉(E-mail: hxl7756@163.com)。



光通信系统中的一种常用的调制技术^[4]。2018 年,秦岭等人提出了一种改进的盲似然检测算法,即通过在发射端设置 PPM 帧头,接收端按帧检测分组和约束搜索。当湍流强度、背景光强度、传输距离和发光强度改变时,与其它检测算法相比,改进的盲似然算法的准确度更高,更适合应用于室外可见光通信^[5]。2018 年,王鸿喜等人设计了一种基于 PPM 的水下 LED 蓝光通信系统,实现了传输速率约为 0.98 Mb/s^[6]。2018 年,土耳其学者 Sönmez M 提出改进的 PPM 和可变 PPM 解调器,尽量减少接收器的复杂性^[7]。但以上文献均未考虑传输信息的安全性。为提高可见光通信系统安全性,并进一步降低系统的误码率,本文采用混沌序列对用户的信息扩频,建立一种基于混沌脉冲位置调制(Chaos-Pulse Position Modulation, CPPM)的 LED 光通信系统,达到对传输信息的保密作用。

1 系统结构及原理

一种基于 CPPM 的 LED 光通信系统由信号发射电路、信号接收和信道等部分组成,如图 1 所示。

系统工作原理如下:

①信号发射时,根据用户预订信息,生成语音或者图像转成的二进制电信号,设用户信息 U 长度为 P 位。

②生成长度为 L 位的混沌二值序列 A_n 。

③将用户信息的每一位信号展宽成 L 位,与混沌二值序列 A_n 进行扩频运算,得到对应的长度为 $L \times P$ 扩频序列 SP 。

④紧接着对扩频序列 SP 进行 PPM, 将调制后的信号 PPM_Data 经过 LED 光信号发送电路发送出去。

⑤光信号经过加性高斯白噪声(AWGN)信道,到达接收信号电路。接收电路首先将 LED 光通过光/电转换电路转换成电信号,对电信号进行放大;接着进行数据采集和滤波得到接收电信号 R_PPM_Data ,经 PPM 解调后得到扩频序列 R_SP ; R_SP 与混沌二值序列 A_n 进行相关运算;取其中的最大值作为阈值,通过门限判决,得到恢复用户信息 R_U 。

⑥将用户信息 U 与恢复用户信息 R_U 进行对照,求出误码率。

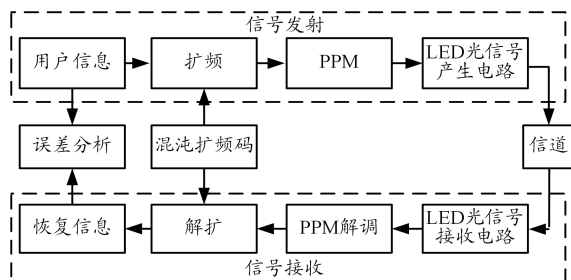


图 1 一种基于 CPPM 的 LED 光通信系统框图

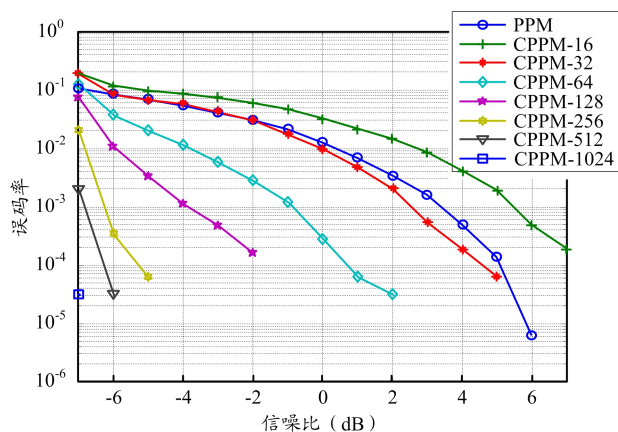
2 仿真实验及性能分析

本系统采用 AWGN 进行 Matlab 仿真。

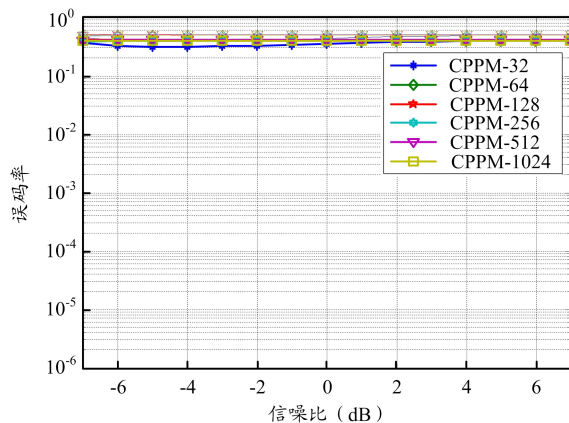
2.1 系统安全性分析

CPPM- N 调制系统表示混沌扩频码长度为 N 的混沌扩频 PPM 系统。 N 分别取值为 16、32、64、128、256、512 和 1024, 本文对同一混沌扩频码进行蒙特卡罗 1000 次实验, 信噪比为 $-7 \sim 7$ dB, 步长为 1。随机发送长度为 32 位信息码。混沌序列对初始值非常敏感, 即使密钥值有微小的变化也会得到完全不同的 2 个混沌序列, 不知密钥就很难进行解扩运算。扩频时所用 Logistic 映射的初始值均(即密钥)为 0.289999, 解扩时所用 Logistic 映射的初始值分别为 0.289999、0.289998 时得到 CPPM- N 调制系误码率随着信噪比

变化的曲线图如图 2 所示。从图 2(b)可以看出, 扩频与解扩时所用的初始值仅相差 0.000001, CPPM- N 系统的误码率就很高, 约为 0.5, 系统无法接收到正确的信息。因而本系统可保证传输信息的安全性。



(a) 扩频与解扩所用密钥一致时



(b) 扩频与解扩所用密钥不一致时

图 2 PPM 和 CPPM- N 系统中信噪比与误码率的关系曲线

2.2 密钥一致情况下系统误码率分析

2.2.1 在不同的信噪比下 PPM 和 CPPM- N 调制系统误码率分析

PPM 系统和密钥一致 CPPM- N 调制系统误码率随信噪比变化特性统计表如表 1 所示。

由图 2(a)和表 1 得出以下几点结论:

◆随着信噪比的增加, PPM 系统和 CPPM- N 调制系统误码率呈现逐渐下降趋势。

◆信噪比在 $-7 \sim 1$ dB 时, PPM 和 CPPM-32 调制的误码率相近; 信噪比在 $1 \sim 6$ dB 时, CPPM-32 调制的误码率比 PPM 误码率低。在相同信噪比条件下 CPPM- N 调制的误码率随着混沌扩频码 N 的增加, 误码率逐渐降低。

◆当混沌扩频码长度 N 小于 32 时, CPPM- N 调制的误码率比 PPM 误码率高; 当混沌扩频码 N 大于

表 1 特定混沌序列扩频码长度 N 下,PPM 系统和 CPPM- N 调制系统的误码率随信噪比变化特性

信噪比	误码率							
	PPM	CPPM-16	CPPM-32	CPPM-64	CPPM-128	CPPM-256	CPPM-512	CPPM-1024
-7 dB	1.1×10^{-1}	1.9×10^{-1}	1.8×10^{-1}	1.3×10^{-1}	7.4×10^{-2}	2.0×10^{-2}	2.1×10^{-3}	3.1×10^{-5}
-6 dB	8.4×10^{-2}	1.2×10^{-1}	8.2×10^{-2}	3.7×10^{-2}	1.1×10^{-2}	3.4×10^{-4}	3.1×10^{-5}	0
-4 dB	5.4×10^{-2}	8.2×10^{-2}	5.8×10^{-2}	1.2×10^{-2}	1.1×10^{-3}	0	0	0
-2 dB	3.0×10^{-2}	5.6×10^{-2}	3.1×10^{-2}	2.8×10^{-3}	1.6×10^{-4}	0	0	0
0 dB	1.3×10^{-2}	3.2×10^{-2}	9.9×10^{-3}	2.8×10^{-4}	0	0	0	0

32 时, CPPM- N 调制的误码率比 PPM 误码率低。因此,将扩频引入到光通信系统可以降低系统误码率。

2.2.2 混沌扩频码长度和信噪比对 CPPM 系统误码率影响

图 3 为信噪比一定时 CPPM 系统误码率随着混沌扩频码长度 N 变化的关系曲线图。其中,扩频和解扩时所用 Logistic 映射的初始值均(即密钥)为 0.289999,信噪比分别取值 -6 dB、-4 dB、-2 dB 和 0 dB,随机发送长度为 32 的信息码,对同一信噪比进行蒙特卡罗 1000 次实验。

在特定信噪比下, CPPM 系统的误码率随混沌序列扩频码长度 N 变化特性如表 2 所示。

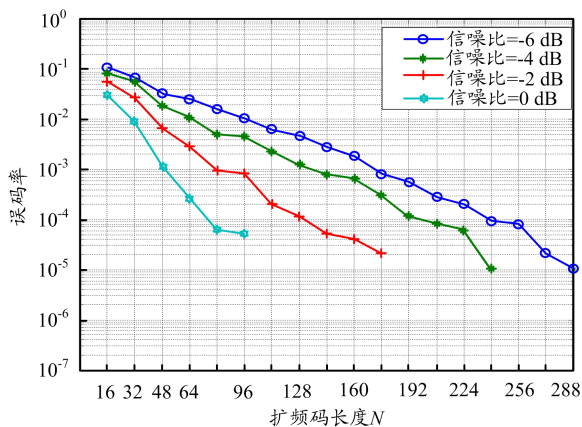


图 3 特定的信噪比下,混沌序列扩频码长度 N 与 CPPM 系统误码率的关系图

表 2 特定信噪比下, CPPM 系统的误码率随混沌序列扩频码长度 N 变化特性

信噪比	扩频码长度 N				
	16	32	64	128	256
-6 dB	1.1×10^{-1}	6.9×10^{-2}	2.6×10^{-2}	4.8×10^{-3}	8.3×10^{-5}
-4 dB	8.3×10^{-2}	5.7×10^{-2}	1.1×10^{-2}	1.2×10^{-3}	0
-2 dB	5.8×10^{-2}	2.8×10^{-2}	2.8×10^{-3}	1.1×10^{-4}	0
0 dB	3.2×10^{-2}	9.4×10^{-3}	2.7×10^{-4}	0	0

由图 3 和表 2 得出以下几点结论:

◆当混沌序列扩频码长度 N 一定时信噪比越大, CPPM 的调制系统的误码率越低。

◆相同信噪比条件下,随着混沌序列扩频码长度 N 增加, CPPM 的调制系统的误码率随之变小,但对信号发送和接收速率要求越高,对硬件性能要求也越高。因此,根据使用

硬件性能情况和系统要求误码率来确定 N 的长度。

3 结束语

本文在 AWGN 信道下分析不同信噪比的 PPM 和 CPPM- N 调制光通信系统误码率,结果表明 N 大于 32 时 CPPM- N 调制系统优于 PPM 系统,可降低系统误码率;当信噪比一定的情况下,随着混沌序列扩频码长度 N 的增大, CPPM 系统误码率变低;当混沌序列长度一定情况下,信噪比越大, CPPM 系统误码率越低。CPPM- N 系统中将 Logistic 映射的初始值作为密钥,可提高可见光通信系统安全性。混沌扩频技术引入到 LED 光通信系统也带了一些问题,如对信号发送和接收速率要求高,对硬件性能要求也高,增加电路的复杂性和硬件成本。本文在 AWGN 下分析 CPPM 系统的误码率,为该系统的实际应用提供一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 唐中剑,林嘉雯,李成勇. 白光 LED 室内可见光通信测距研究[J]. 激光杂志, 2019, 40(9): 121-124.
- [2] 郭树旭,臧玲玲,韩明珠,等. 可见光通信的间隔多脉冲位置调制[J]. 光学精密工程, 2014, 22(7): 1760-1765.
- [3] 毛焰烽. 面向智能交通的高速可见光通信技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2018.
- [4] 蒋军敏,汤琦,巩稼民. 偏振差分脉冲位置调制方法[J]. 光通信技术, 2018, 42(3): 39-42.
- [5] 秦岭,宋科宁,李宝山,等. 基于室外可见光通信系统检测算法[J]. 光通信技术, 2019, 43(2): 9-13.
- [6] 王鸿喜,贺涛涛,湛飞,等. 基于 PPM 的水下 LED 蓝光通信系统设计[J]. 光通信技术, 2018, 42(7): 46-50.
- [7] SÖNMEZM. Simplified and accelerated PPM receivers for VLC systems[J]. IET Optoelectronics, 2018, 12(1): 36-43.
- [8] 赵玲. 新四维超混沌系统的图像加密算法 [D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2017.
- [9] 于一丁,王永川,王长龙. 基于实值混沌序列的 DSSS 系统性能分析[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(11): 1-6.