

室内可见光通信在不同信道中的编码性能分析

张译心, 李萍*, 朱明兴, 张迪迪

(大连工业大学 光子学研究所, 辽宁 大连 116034)

摘要:针对可见光通信(VLC)在不同信道中的编码性能,在分析可见光通信信道特点的基础上,研究适合可见光通信传输的编解码算法。通过搭建可见光通信系统信道模块,分析可见光通信中信道编码对系统性能的影响,得到了适合可见光通信的编码方式。

关键词:可见光通信;信道编码;误码率分析

中图分类号:TN929.1 文献标识码:A 文章编号:1002-5561(2018)02-0046-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2018.02.013

Analysis of the coding performance for indoor visible light communication in different channels

ZHANG Yixin, LI Ping*, ZHU Mingxing, ZHANG Didi

(Research Institute of Photonics, Dalian Polytechnic University,
Dalian Liaoning 116034, China)

Abstract: According to the coding performance of visible light communication in different channels, this paper studies the encoding and decoding algorithm is suitable for visible light communication transmission, which based on the characteristics of visible light communication channel. The channel module of visible light communication system is built and the influence of channel coding on the system performance is analyzed. Then the coding mode is suitable for visible light communication is obtained.

Key words: visible light communication; channel coding; BER analysis

0 引言

可见光通信(VLC)采用白光LED为光源,结合无线光通信技术,兼顾照明与通信功能,且具有较强保密性、发射功率高和传输速率快等优点,实用化发展前景十分广阔^[1]。2000年,日本最早提出了利用白光LED实现室内可见光通信的方案。2015年,经我国工信部测试认证,我国可见光通信系统研究获得重大突破,实时通信速率提高至50Gb/s。近年来,北京邮电大学建立了可见光通信数学模型,并优化接收端信噪比分布来降低误码率。然而,目前在可见光通信中,并不具备明确的信道模型和编码方式,从而难以提高误码率及系统性能。因此,构建贴合实际可见光通信的信道是其关键所在^[1-5]。实验室大多实验都简化信道存在,尤其在模型仿真中,大多都只是在高斯信道下进行仿真实验,与实际信道相差甚远。

收稿日期:2017-09-01

作者简介:张译心(1994-),女,硕士研究生,主要研究方向为LED可见光通信技术。

*通信作者:李萍(E-mail:liping@dlpu.edu.cn)。

要降低信道失真对可见光通信造成的影响,可采用信道纠错编码技术来降低误码率,提高系统性能^[6,7]。选择合适的信道编码方式,是信道编码实用化的主要研究内容^[8-10],但目前可见光通信领域中编码核心技术还有待优化。西安邮电大学张莹等人对可见光信道搭建了模型,并对RS码和BCH码这两种简单的线性码进行了比较^[9]。近年来,除了上述两种码型,LDPC码和Turbo码被广泛应用,并显示出了良好的性能。因此,本文分析室内可见光通信信道的特点,分别对几种不同情况的可见光通信信道建立数学模型,并在此基础上对采用Simulink仿真软件构建信道仿真模块,同时搭建可见光通信系统。在系统中分别加入线性分组码、RS码、LDPC码和Turbo码,分析几种编码方式在不同信道下对系统误码率的影响,以得到适合于可见光通信的编码方式。

1 可见光通信模型的建立

在本文所建的室内可见光通信模型中,系统定位

为线性时不变系统,发射端 LED 和接收端位置相对静止。假设白光 LED 光源为朗伯辐射模型,其模型具有轴对称性,光源辐射角 φ 的辐射强度为:

$$I(\varphi)=I(0)\cos^m(\varphi), \varphi \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \quad (1)$$

其中, m 为朗伯阶数,用来表示光源方向性。假定光滤波器的传输函数为 $T_l(\psi)$,接收端入射角为 ψ ,有效信号的接收面积为 A_e ,则关系表达式为:

$$A_e(\psi)=A_r \frac{n^2}{\sin^2(\psi_c)} T_l(\psi) \cos(\psi) \text{rect}\left(\frac{\psi}{\psi_c}\right) \quad (2)$$

1.1 直射可见光通信系统信道模型建立

室内直射链路下的

信道模型如图 1 所示,

φ 为发射端的光辐射角,

ψ_c 为最大视场(FoV)

角,发射端与接收端

的辐射立体角 $d\Omega = \frac{A_e \cos(\psi)}{d^2}$, 则接收端的

接收光功率可以表示为:

$$P_t = I(\varphi) d\Omega = \begin{cases} \frac{A_r(m+1)n^2}{2\pi d^2 \sin^2(\psi_c)} T_l(\psi) \cos^m(\varphi) \cos(\psi) P_i, \psi \leq \psi_c \\ 0, \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

那么,由式(3)可以得到直射信道增益为:

$$H^{(0)}(0;S,R) = \frac{A_r(m+1)n^2}{2\pi d^2 \sin^2(\psi_c)} T_l(\psi) \cos^m(\varphi) \cos(\psi) \quad (4)$$

1.2 一次反射可见光通信系统信道模型建立

图 2 为反射链路模型。

由式(4)直射情况时

增益 $H^{(0)}$,可知室内反射

条件下的信道增益 H_{ref}

的表达式:

$$H_{\text{ref}}(0;S,R) = \sum_{i=1}^k H^i(0;S,R) \quad (5)$$

其中, k 表示反射阶数。

2 信道编码

编码技术已经广泛应用于移动通信和有线通信中^[6]。可见光通信系统中针对信道编码的研究较少,因此,信道编码在可见光通信系统中的研究与实现对提升可见光通信系统性能显得尤为重要。下面我们对仿真研究中采用的几种主要编码方式进行简单介绍。

2.1 线性分组码

线性分组码由 (n,k) 表示,其中 n 表示编码后的码长, k 表示信息码长。RS 码是线性分组码中的一种循环码,其基本原理为生成多项式 $g(x)$,使得得到的码字多项式都能被 $g(x)$ 整除。如果所得结果不是 0,则存在错误,且 RS 码最多可以纠正的错误个数为 $t=(n-k)/2$ 。LDPC 码也是线性分组码的一种,LDPC 编译码过程通过校验矩阵计算。为了降低编译码算法复杂度,其校验矩阵通常满足 1 的个数远小于 0,因此也称为低密度奇偶校验码,LDPC 译码可采用 BP 算法,通过接收到的信息的对数似然比来译码。一个随机变量 c 的对数似然比定义为: $L(c)=\log(P(c=0)/P(c=1))$ 。

2.2 卷积码

若以 (n,k,m) 来描述卷积码,其中输入到卷积编码器的 bit 数用 k 来表示,每个 k 元组码字对应的卷积码输出 n 元组码字, m 为编码存储度,编码约束度用 K 来表示 ($K=m+1$)。卷积码编码生成的 n 元组元取决于前 $m-1$ 个输入 k 元组,这也是卷积码不同于线性分组码的地方。同时,当卷积码编码存储度值增大时,其纠错性能会增强。

Turbo 码是一种并行级联卷积码。最简单的 Turbo 码编码器结构由两个反馈系统卷积编码器和一个交织器组成,两个卷积编码器并联后与交织器相连。针对 Turbo 码的译码部分,为了平衡性能和复杂度,其译码算法引入反馈,进而改进译码的结构。常用的算法为 MAP 算法。

3 信道模型建立及系统仿真分析

本文采用 Simulink 仿真软件搭建可见光通信系统,其框图如图 3 所示,信源产生伯努利二进制随机数,采用 BPSK 调制,信道分别采用高斯信道、直射信道和一次反射信道。我们通过仿真实验,验证了本文所搭建的信道模型可用于模拟实际可见光通信信道,并在不同信道中,分别比较了几种线性码和 Turbo 码的性能。

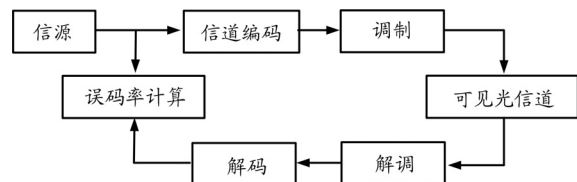


图 3 可见光通信系统框图

3.1 3 种信道下编码性能分析

选取 (7,4) 线性分组码、(7,3) RS 码和校验矩阵为

DVB-S2 标准的 LDPC 码。码率设置为 1/2,信号发生器产生每帧 45000bit 的二进制随机数,仿真中设定参数收发之间的距离为 1m,接收面积为 1cm²,墙壁反射率为 0.723,LED 发射单元半功率角 60°,仿真软件中其余参数选取默认值。

图 4 选用的码型为(7,4)线性分组码,当误码率为 10⁻³时,高斯信道下对应的信噪比约为 5dB,直射信道下信噪比约为 10dB,一次反射信道下信噪比约为 18dB。由此可见,当信道中采用线性分组码作为编码方式时,在高斯信道中传输性能优于直射信道,优于一次反射信道。

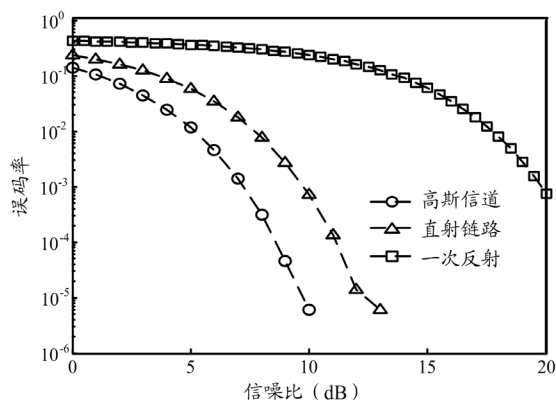


图 4 线性分组 3 种信道下误码率与信噪比关系

图 5 选用码型为(7,3)RS 码,属于非二进制 BCH 码,当高斯信道下对应的信噪比为 6.27dB、直射信道下信噪比为 8.84dB、一次反射信道下信噪比约为 18.9dB 时,误码率对应为 10⁻³。由此可见,当信道中采用 RS 码作为编码方式时,3 种不同信道下传输性能从优至劣依次为高斯信道、直射信道和一次反射信道。

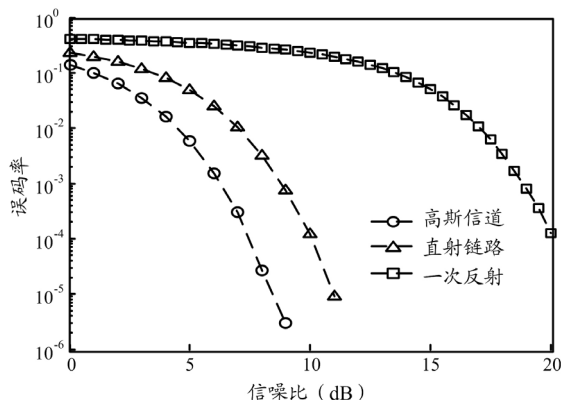


图 5 RS 码 3 种信道下误码率与信噪比关系

图 6 选用的码型为 Turbo 码,属于卷积码的一种。当误码率为 10⁻³时,高斯信道下对应的信噪比约为 3.7dB,直射信道下信噪比约为 7.78dB,一次反射信道下信噪比约为 17.8dB。由此可见,当信道中采用 Turbo

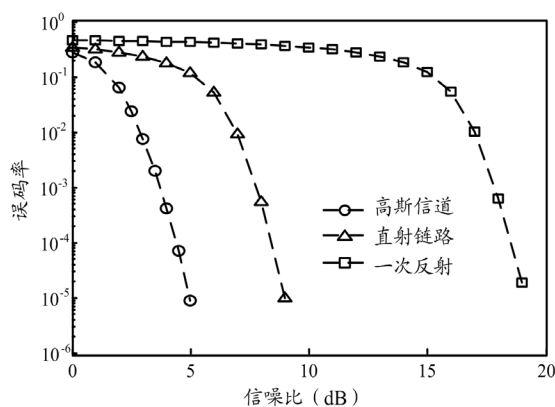


图 6 Turbo 码 3 种信道下误码率与信噪比关系

码作为编码方式时,在高斯信道中传输性能优于直射信道,直射信道优于一次反射信道。

图 7 选用的码型为 LDPC 码,也是线性分组码的一种,由图可知,当高斯信道下对应的信噪比为 2.74dB,直射信道下信噪比为 5.78dB,一次反射信道下信噪比约为 15.5dB 时,误码率对应为 10⁻³。由此可见,当信道中采用 LDPC 码作为编码方式时,3 种不同信道下传输性能依次为,高斯信道最优,直射信道次之,一次反射信道较差。

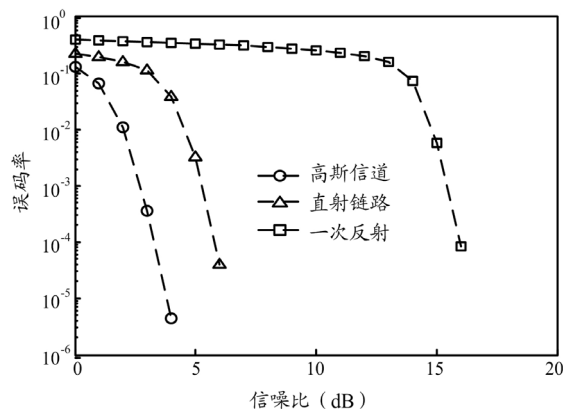


图 7 LDPC 3 种信道下误码率与信噪比关系

综合以上分析可知,传输信道为高斯信道时传输性能最优,直射信道下性能不如高斯信道,当信道中加入一次反射时,性能较差。由此也验证了加入可见光后通信系统传输性能受到影响。房间内的多径效应会引起频率选择性衰落,灯传播路径不同和墙面的反射路径也会对系统产生很大影响。

3.2 编码性能分析

为选择较适合于可见光通信的码型,我们选择 4 种码型分别为(7,4)线性分组码,(7,3)RS 码、校验矩阵为 DVB-S2 标准的 LDPC 码和 Turbo 码,码率设置为 1/2。同时,选择 3 种不同信道环境,将 4 种码型在 3 种信道中进行比较。

图 8 为高斯信道下 4 种线性分组码的比较,由图可见,LDPC 码的性能优于 Turbo 码,RS 码优于(7,4)线性分组码。4 种码的信噪比分别在 3.5dB、4.5dB、7.5dB 和 8.5dB 的时候,误码率达到 10^{-4} 数量级。

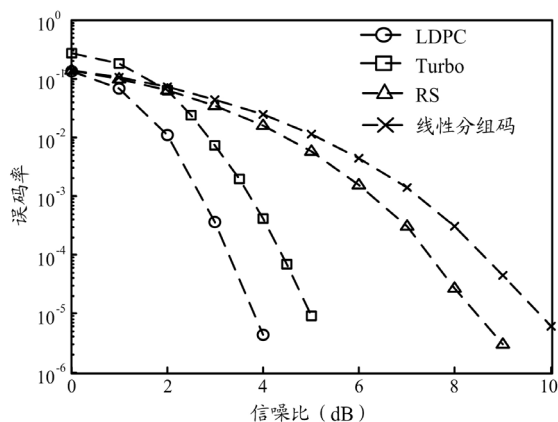


图 8 不同码型在高斯信道下性能比较

不同码型在直射信道下的性能比较如图 9 所示,4 种码的信噪比分别为 6dB、9dB、10dB 和 11dB 时,误码率达到 10^{-4} 数量级。虽然 LDPC 码的性能仍然优于其它 3 种码型,且变化趋势相近,但整个系统传输性能都降低。

不同码型在一次反射信道下的性能比较如图 10

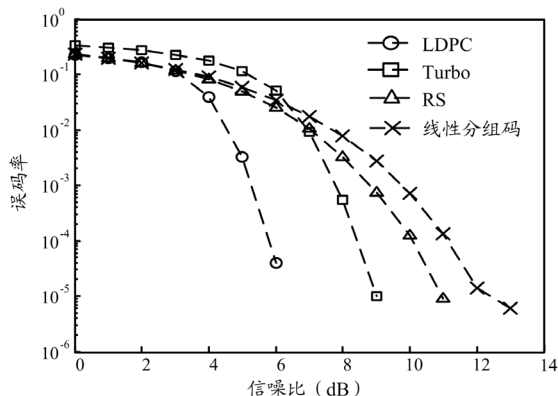


图 9 不同码型在直射信道下性能比较

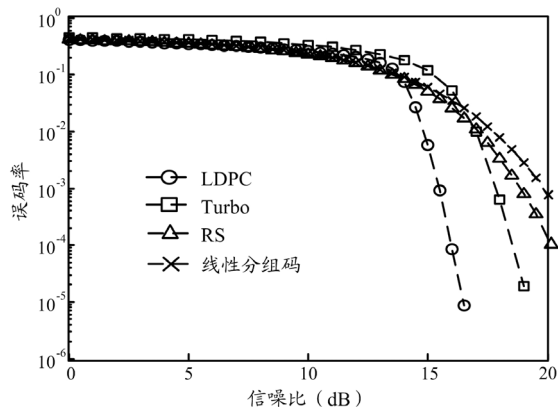


图 10 不同码型在一次反射信道下性能比较

所示,当误码率达到 10^{-4} 数量级时,4 种码的信噪比为:LDPC 码 16dB、Turbo 码 17dB,其它两种码接近 20dB。

综上所述,在 3 种不同的信道中,LDPC 码纠错性能优于 Turbo 码、RS 码和线性分组码。实验验证在模拟的可见光通信信道中,LDPC 码为最适合可见光通信传输中的一种编码方式。

4 结束语

本文建立了可见光通信信道理论模型,借助 Simulink 软件搭建了符合实际可见光通信信道特征的模型,分析了多种码型在可见光通信信道中的性能。最终得出结论:可见光通信信道中多径及噪声等因素会对整个系统传输性能带来影响,当信道中增加反射因素时,误码率变大;在分析可见光通信信道中码型对误码性能影响时,发现 LDPC 码优于 RS 码、线性分组码和 Turbo 码,因此 LDPC 可以作为一种待选的优良码型应用于可见光通信中。

参考文献:

- [1] 陈泉润,张涛,郑伟波,等.基于白光 LED 可见光通信的研究现状及应用前景[J].半导体光电,2016(4):455-460.
- [2] 张建昆,杨宇,陈弘达.室内可见光通信调制方法分析[J].中国激光,2011(4):137-140.
- [3] 丁德强,柯熙政.可见光通信及其关键技术研究[J].半导体光电,2006(2):114-117.
- [4] 孙兆伟,吴国强,孔宪仁,等.国内外空间光通信技术发展趋势研究[J].光通信技术,2005,29(9):61-64.
- [5] 张莹,阴亚芳,杨伟,等.基于可见光通信的信道模型及编码性能分析[J].光通信研究,2015(6):69-72.
- [6] LANGER K D, GRUBOR J, BOUCHET O, et al. Optical wireless communications for broadband access in home area networks [C]// Proceedings of 2008 10th anniversary international conference on transparent optical networks, June 22-26, 2008, New York. Piscataway: IEEE, 2008.
- [7] 张浩,陈长缨.可见光通信信道障碍成因分析及解决方案[J].光通信技术,2012,36(9):57-60.
- [8] 骆宏图,陈长缨,傅倩,等.白光 LED 室内可见光通信的关键技术[J].光通信技术,2011,35(2):56-59.
- [9] GONG S, ZHANG M, ZHANG Y. Optical Fibre Technology [C]// OptoElectronics and Communication Conference and Australian Conference, July 6-10, 2014, New York. Piscataway: IEEE, 2014.
- [10] YAN F, WANG Y, SHAO Y, et al. Experimental demonstration of sub-carrier multiplexing-based MIMO-OFDM system for visible light communication[C]// APCC 18th Asia-Pacific Conference, Oct 15-17, 2012, New York. Piscataway: IEEE, 2012.
- [11] 何丽,梁天宇.一种光通信系统中基于 16-QAM 的 LDPC 编码调制方案[J].光电子·激光,2013(11):2128-2134.