

白光 LED 可见光无线通信系统的研究

熊飞娇, 敖邦乾

(遵义师范学院 物理与机电工程学院, 贵州 遵义 563000)

摘要: 白光 LED 技术与可见光通信技术相结合, 可以构建出 LED 可见光无线通信系统。通过对 LED 白光作为光源的室内可见光通信信道的分析, 给出了能有效抵抗多径干扰的 OFDM 技术的优缺点, 以及改进后的 OFDM 版本, 即一种单载波频分复用(SC-OFDM)接入技术, 模拟了互补累计分布函数的实验数据, 给出了仿真后不同调制情况下的比较图。

关键词: 白光 LED; 频分多路复用; 可见光无线通信

中图分类号: TP512 文献标识码: A 文章编号: 1002-5561(2013)01-060-03

Research on white LED visible light wireless communication system

XIONG Fei-qiao, AO Bang-qian

(Physical and Mechanical & Electrical Engineering of
Zunyi Normal University, Zunyi Guizhou 563000, China)

Abstract: White LED technology, combined with the optical communication technology, can construct the LED visible light wireless communication system. By the analysis of the LED white light communication channel, presented the advantage and disadvantages of OFDM technology, which can effectively resist multi-path interference, and the improved version of OFDM, that is the single carrier frequency division multiplexing(SC-OFDM) access technology. Simulated the experimental data of complementary cumulative distribution function, and gave the comparison of the different modulation condition.

Key words: white LED; OFDM; visible light on wireless communication

0 引言

发光二极管(light emitting diode, LED)在性能方面比现有的白炽灯有很多优势, 如高亮度、高可靠性、低功耗和使用寿命长等。LED 现已广泛应用在全彩显示屏、交通信号指示和许多其它照明。目前, 高效的蓝色和绿色 LED 已经应用。混合三种原色(红色、绿色和蓝色), 我们可以得到白色光。与射频无线通信相比, 可见光具有发射功率高、无需申请无线电频谱证、无电磁干扰以及造价低等优点。近年来基于白光 LED 技术的可见光通信开始被人们关注, 并被认为是一个很有潜力的未来照明技术与通讯传输系统相结合的新兴技术。许多学者提出了一种基于 LED 白光的室内

收稿日期: 2012-09-12。

基金项目: 贵州省科技厅(黔科合 J 字[2012]2339 号)资助。

作者简介: 熊飞娇(1957-), 教授, 主要研究方向为光学信号处理和光通信。

可见光通信(visible-light communication, VLC)系统, 认为 LED 白光设备不仅可以用于照明, 同时也可以用于短距离无线光通信系统。

1 室内可见光通信信道分析

在室内可见光通信系统中, 光源固定在室内的天花板上, 以其为信号光源的室内无线光信道可分为直射视距光信道(如图 1 所示)和漫射光信道^[1](如图 2 所示)。直射视距链路中, 接收机直接指向白光 LED 光

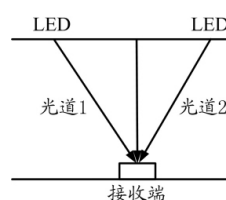


图 1 LED 直射视距光信道模型

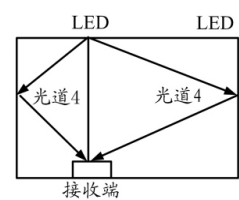


图 2 LED 漫射光信道模型

源, 信道损耗低, 信号光源功率利用率高且稳定, 易于实现高速数据链接, 但会因链路上存在障碍物而被阻断, 尤其是在有运动目标的情况下。漫射链路设计中接收机视角一般较大, 大大降低了对指向的要求, 系统不易受阴影效应影响, 但链路中存在多径效应会引起码间干扰 (ISI)^[2], 而且受背景光的影响较大, 从而限制信号传输速率^[3]。

直射视距光信道直流增益表示为 $H_d(0)$, 漫射光信道(第一反射光)直流增益表示为 $dH_{ref}(0)$ 。直射视距光信道直流增益^[4]为:

$$H_d(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi D_d^2} \cos^m(\phi) T_s(\phi) g(\phi) \cos(\phi), & 0 \leq \phi \leq \phi_c \\ 0, & \phi > \phi_c \end{cases} \quad (1)$$

漫射光信道(第一反射光)直流增益为:

$$dH_{ref}(0) = \begin{cases} \frac{(m+1)A}{2\pi D_1 D_2} \rho d A_{wall} \cos^m(\phi) \cos(\alpha) \times \\ \cos(\beta) T_s(\phi) g(\phi) \cos(\phi), & 0 \leq \phi \leq \phi_c \\ 0, & \phi > \phi_c \end{cases} \quad (2)$$

式(1)、式(2)中, m 为光源的辐射模式, A 为光电探测器接收面积, d 为发射端与接收端之间的距离, ϕ 为入射角, φ 为发射角, $T_s(\varphi)$ 为光滤波器增益, $g(\varphi)$ 为光聚能器增益, φ_c 为接收机视角。

2 OFDMA 与 SC-FDMA 调制技术

通过对室内可见光通信信道的分析, 室内可见光通信中容易引起多径效应, 引进 OFDM (正交频复用) 技术能有效抵抗多径干扰, 使受干扰的信号仍能可靠地接收, 其信号的频带利用率也大大提高^[5]。系统模型如图 3 所示。

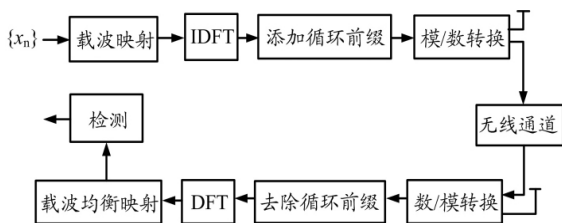


图 3 OFDM 系统模型框图

由于 OFDM 具有内在峰均功率高的特性, 使得 OFDM 信号存在失真。在可见光通信系统中, 较高的包络线会影响视力, 也会影响光器件的寿命。为了克服这个缺点, 我们对上行链路的 OFDM 技术进行修改, 修改后的 OFDM 技术版本被称为单载波的 FDMA (SC-FDMA 技术), 如图 4 所示。

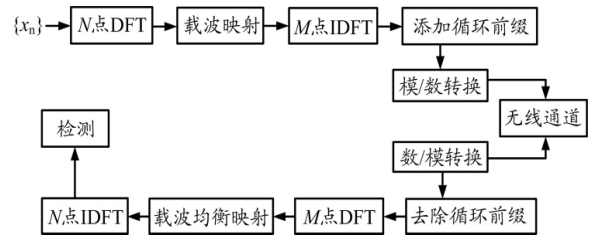


图 4 SC-FDMA 系统模型框图

SC-FDMA 技术采用单载波调制以及频域均衡原理, 具有类似 OFDM 系统的性能和基本相同的总体结构, 但是却有较低的峰均功率比。它们是连续的子载波传输, 而不是平行的。相对于 OFDM 技术, 这种技术大大降低了传输波形的包络波动, 因此, SC-FDM 的信号具有低于 OFDM 信号的 $PAPR$ 。

图 4 包括发射机和接收机, 可以看出, SC-FDM 与 OFDM 有很多共同之处, 唯一的区别是 SC-FDM 的发射机和接收机采用的是 DFT 离散傅立叶变换。出于这个原因, SC-FDMA 技术有时被称为 OFDM 技术的 DFT 扩展。目前, SC-FDMA 子载波映射模式分为两类, 即分布式和本地化^[6], 如图 5 所示。

在分布式子载波映射模式, 输入数据的 DFT 输出将未被使用的子载波用不连续的零来占用整个带宽。交错 SC-FDMA 技术 (interleaved SC-FDMA, IFDMA) 是一种重要的分布式 SC-FDMA 的特殊情况, 在本地化的子载波映射模式下 (localized SC-FDMA, LFDMA), DFT 的输出输入数据被连续子载波占用。

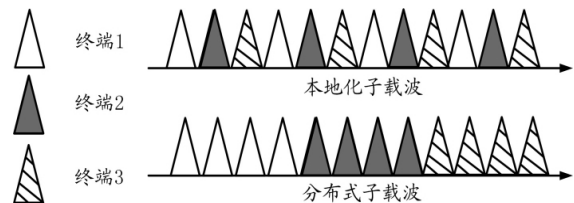


图 5 SC-FDMA 子载波映射模式

3 PAPR 的算法与仿真结果

使用 SC-FDMA 系统后, 时域数据符号必须先通过一个 M 点 DFT 操作转换到频域, 在子载波映射完成前, 必须通过一个 N 点 OFDM 调制器, 且 N 远大于 M , 设 $Q=N/M$, Q 为扩频因子, 使用 SC-FDMA 技术系统的用户在频域占用不同的子载波。因此, 整体传输信号通过用户设备后, 成为一个低 $PAPR$ 的单载波信号。设 $\{x_m; m=0, 1, \dots, M-1\}$ 为将进行调制的时域信号, $\{x_k; k=0, 1, \dots, M-1\}$ 为频域的 DFT 加工样品。在 IFDMA 中, 经过 DFT 转换的信号在子载波间被等距离的分配



到整个带宽。而在 LFDMA 中, DFT 输出的信号被分配到连续的子载波上。在每个用户设备上, 未占用的子载波用 0 表示, 得到 IFDMA 与 LFDMA 子载波分配示意图如图 6 所示。

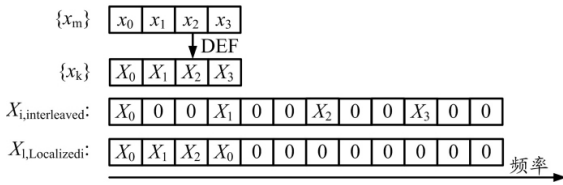


图 6 IFDMA 与 LFDMA 子载波分配示意图

在 IFDMA 中,

$$X_{i, \text{Interleaved}} = \begin{cases} \hat{X}_{l/Q}, l=Q \times K (0 \leq K \leq M-1) \\ 0, \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

在 LFDMA 中,

$$X_{i, \text{Localized}} = \begin{cases} \hat{X}_l, 0 \leq l \leq M-1 \\ 0, M \leq l \leq N-1 \end{cases} \quad (4)$$

升余弦脉冲被广泛应用于无线通讯的脉冲形状, 该发送信号的 PAPR 可以表示为:

$$PAPR = \frac{\max |y(t)|^2}{\frac{1}{NT} \int_0^{NT} |y(t)|^2 dt} \quad (5)$$

为了评估系统的峰均功率比 PAPR, 我们模拟了 100000 块传输符号来计算每个块的 PAPR, 即模拟 CCDF (互补累积分布函数) 的实验数据。CCDF 是 PAPR 高于某一特定 PAPR 值 $PAPR_0$ 的概率 $(Pr\{PAPR > PAPR_0\})^{[7]}$, 适用于传输带宽为 5MHz 的 256 个子载波。假设数据块大小 $N=64$, 扩频因子 $Q=M/N$ 。我们用 8 倍过采样来计算每个块的峰均比脉冲。为了评估对 SC-FDMA 整形脉冲的影响, 用升余弦卷积截断从 $-6T$ 至 $+6T$ 的每一个传送符号脉冲波形, 其中符号的持续时间为 T 秒。观察 $PAPR_0$ 的值, 可以看出超出的概率小于 0.1% ($Pr\{PAPR > PAPR_0\} = 0.001$)。通过仿真比较, 在没有冲击的情况下, 经 QPSK 调制低于 OFDMA 的 PAPR 大约为 10.5dB, 16-QAM 调制情况下低 7dB。QPSK 调制情况下, LFDMA 的 PAPR 低于 OFDMA 的约 3dB, 16-QAM 调制情况下低约 2dB。因此, LFDMA 的 PAPR 比 IFDMA 在两种情况调制下的 PAPR 分别高 7.5dB (QPSK 调制) 和 5dB (16-QAM 调制)。随着升余弦脉冲整形滚降系数变为 0.5, IFDMA 的 PAPR 显著增加, LFDMA 的 PAPR 难以增加。从图 7、图 8 中可看出, 在没有任何脉冲的情形下, IFDMA 的 PAPR 比 OFDMA 低大约 9dB, LFDMA 比 OFDMA 低将近 2.5dB (实线表示无冲击, 虚线表示有冲击)。

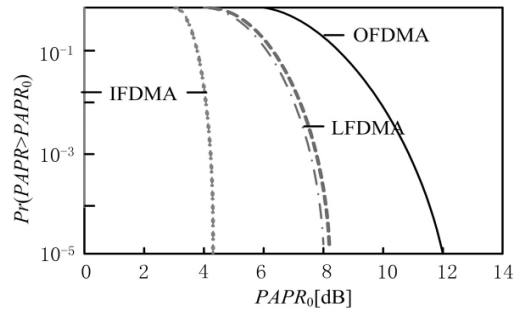


图 7 QPSK 调制情况下 PAPR 比较图

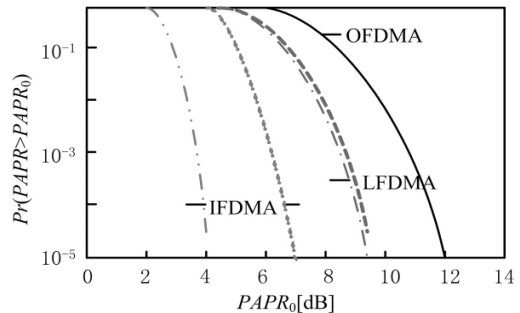


图 8 16-QAM 调制情况下 PAPR 比较图

4 结束语

可见光无线通信模型的构建表明, 基于白光的 LED 采用与 SC-FDMA 技术结合的可见光数据传输系统, 技术上是可行的。在峰值功率比方面, SC-FDMA 的低 PAPR 特性不仅使 LED 传输系统避免失真, 比 OFDM 系统具有更好的性能, 还能保护眼睛。

参考文献:

- [1] 张立, 朱娜, 张宁. 室内 LED 光无线通信多径效应抑制[J]. 通信技术, 2010, 76(7): 206-208.
- [2] 臧景峰, 朴燕, 宋正勋, 等. 基于白光 LED 照明光源的室内 VLC 系统[J]. 发光学报, 2009, 40(6): 155-159.
- [3] LI Xun, KIM Young Ju, PARK Noeyoon. The WLED Communication System Using SC-FDM Techniques for WLAN Communications. [J] Proceedings of the 6th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2010, 16(4): 42-46.
- [4] MYUNG Hyung G, LIM Junsung, GOODMAN David J. Single Carrier FDMA for Uplink Wireless Transmission [J]. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2006, 22(2): 30-38.
- [5] KOMINE T, HARUYAMA S, NAKAGAWA M. A study of shadowing on indoor visible light wireless communication utilizing plural white LED lightings [J]. Wireless Personal Communications, 2005, 34(1): 211-225.
- [6] FANG Fubo, WANG Yaohao, SONG Daihu, et al. Spectroscopic analysis of white LED attenuation [J]. Chinese Journal of Luminescence, 2008, 29(2): 353-357.
- [7] 胡国永, 陈长缨, 陈振强. 白光 LED 照明光源用作室内无线通信研究 [J]. 光通信技术, 2006, 30(7): 46-48.