

文章编号:1000-582X(2010)09-109-04

低压电力线通信子信道等效优化方法

李姣军^{1a}, 陈兵², 肖红亮³, 苏理云^{1b}, 李恒^{1a}, 李刚^{1a}

(1. 重庆理工大学 a. 电子信息与自动化学院; b. 数理学院 重庆 400050; 2. 重庆航天火箭电子技术有限公司, 重庆 400050; 3. 湖南省娄底电业局调度所, 湖南 娄底 417000)

摘要:根据低压电力线信道的特性, 结合自适应比特和功率分配算法, 提出了一种子信道等效优化方法。应用此方法在传输总比特数一定, 基于发送功率最小化模型情况下, 研究使用子信道优化等效方法对系统性能的影响, 等效子信道优化算法将特性相同或相近的子信道放在一起考虑, 不仅能减少信令负荷, 还可以使频谱得到更好地利用, 仿真结果表明, 使用子信道优化算法后系统能获得更低的误比特率。

关键词:电力线通信; 子信道; 正交频分复用; 自适应调制; 比特和功率分配

中图分类号: TM743

文献标志码: A

An optimal equivalent subchannel algorithm for low voltage power line communication system

LI Jiao-jun^{1a}, CHEN Bing², XIAO Hong-Liang³, SU Li-yun^{1b}, LI Heng^{1a}, LI Gang^{1a}

(1a. School of Electronic Information and Automation; b. School of Mathematics and Physics, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, P. R. China; 2. Chongqing Aerospace Launch Vehicle Electronic Technology CO., LTD., Chongqing 400050, P. R. China; 3. Electric Power Bureau of Loudi, Loudi, Hunan 417000, P. R. China)

Abstract: According to the low voltage power line channel features, combined with adaptive bit loading and power allocation algorithm, an optimal equivalent subchannel algorithm is proposed. Under the condition of fixed amount of transmitted bits and the minimum transmitted power model, impact of optimal equivalent subchannel on the system performance is studied. The optimization algorithm sorts subchannels with similar transmission features into groups, thus the signaling load can be reduced, and the spectrum can be better used. The simulation results show that system can get lower bit error rate (BER) by adopting optimal equivalent subchannel algorithm.

Key words: power line communication; subchannel; orthogonal frequency division multiplexing (OFDM); adaptive modulation; bit loading and power allocation

低压电力线通信是当今研究的热点之一。电力线传输高速数据时, 其信道呈现出高衰减、时变性强、噪声干扰大等特性^[1-2]。在低压电力线通信系统中引入 OFDM(正交频分复用)调制技术能有效地

抵抗多径衰落和噪声干扰^[3-6], 与之相应的子信道优化分配算法也成为目前研究的重点领域^[7-9]。在低压电力线通信信道中, 子信道特性好坏使得各子信道传输比特数不一样, 信道特性好的传输比特数多,

收稿日期: 2010-05-14

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC 2009BB2420); 重庆市教委科技研究项目(KJ100810)

作者简介: 李姣军(1965-), 女, 重庆理工大学副教授, 主要从事通信信号处理及电力线通信、小波低截获概率通信系统研究, (E-mail)cqjiao@163.com。

反之传输比特数少或者不传输,这种子信道的不均衡特性会影响整个系统的数据传输效率。发送端根据子信道特性选择适合子信道的调制方式时,会产生大量的信令信息,从而降低系统的频谱利用率。文献[7]提出了一种面向用户的渐进公平分配算法,可以保证每个用户获取相同的服务质量,但其复杂度随用户数量及迭代次数的增加而增加;文献[8]根据子信道调制比特的任意正实数和无限粒度假设分析子信道集合划分和比特功率分配问题,由此得到一种实用的次最优子信道集合划分和比特功率分配方法。此方法根据子信道的特性将子信道划分成一集合形式,但比特和功率分配时不能有效减少信令负荷。文献[9]提出了一种理论上最优的动态子信道分配方案,但其需要接收端回馈大量的信道信息以保证算法的准确性,降低了频带的利用率。笔者提出子信道等效优化方法,再结合自适应比特和功率分配算法,可以减少信令负荷,提高系统传输性能。

1 子信道等效优化方法

1.1 低压电力线通信信道

低压电力线信道特性主要表现在以下方面:阻抗不匹配、信道衰耗、噪声干扰、时变性。因而,可将低压电力线通信信道看成是一个多径衰落信道与加性噪声的组合^[2]。根据文献[1-2],具有选择性衰落和多径衰落的信道传输函数 $H(f)$ 可以用如下表达式来表述:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot A(f, d_i) \cdot e^{-j2\pi f\tau_i}, \quad (1)$$

式中: i 表示第 i 条路径; g_i 为路径 i 的人工加权系数,包含传输系数和反射系数的作用; A 为衰耗,其大小由信号长度和频率决定; τ_i 为每条路径上的时延。

1.2 自适应比特和功率最小化模型

自适应比特和功率分配最小化模型描述如下:

在 $\sum_{i=1}^C b_i = b$ 的条件下最小化 $\sum_{i=1}^C e_i(b_i)$, $b_i \in Z, b_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, C$, 其中 b 表示在一个 OFDM 符号中需传输的比特数, b_i 表示一个 OFDM 符号中子信道 i 上需传输的比特数, C 表示待分配比特的子信道总数, $e_i(b_i)$ 表示在给定的编码方案与满足一定误码率要求的条件下,子信道 i 上传输 b 比特所必需的能量。

1.3 子信道等效优化方法的实现

在 OFDM 系统中包含多个子载波,如果在每个子载波上都采用自适应调制方式,那么就需要在接收端估计每个子信道的信道信息,然后通过反馈把

信道信息发送给发送端,决定每个子载波上采用什么样的调制方式等参数。这样肯定会给系统带来大量的信令负荷,降低频谱利用率。在低压电力线通信信道中,由于多径效应带来的频率选择性衰落具有相关性,相邻子载波间的信道信息具有较大的相关性,可以考虑将多个相邻的子信道分成一组,每组只传送一个子信道的信道信息,这样可以大量地减少系统的信令负荷,提高系统的频谱效率。

假设子信道增益情况是已知的,其等效优化过程如下:

1) 由于相邻的处于相关带宽内的几个子信道具有很高的相关性,其传输特性也相似,可以得到每个子信道的信噪比情况。

$$\text{SNR}_i = \frac{|H_i(f)|^2}{N_i(f)}, \quad (2)$$

其中: SNR_i 为第 i 个子信道的信噪比; $H_i(f)$ 为第 i 个子信道的传输函数; $N_i(f)$ 为第 i 个子信道的噪声功率谱密度。

2) 将待分配比特的子信道总数 C 等间隔划分成 M 小组,每个小组中包含的子信道数目相同,传输特性相似,其小组数为 N 。

$$N = \frac{C}{M}. \quad (3)$$

3) 将各小组中的子信道按信道增益由大到小进行排序。

$$H_i (i = 1, 2, \dots, N), H_1 \leq H_2 \leq \dots \leq H_N. \quad (4)$$

4) 由于增益相同或相近的子信道分配的比特数目相同或相近,再在各小组中采取连续划分的方式将相邻的 K 个子信道放在一个子组中考虑,可得子组数目为 L 。

$$L = \frac{N}{K}, L = \frac{C}{(M \times K)}. \quad (5)$$

5) 根据以上分组可以得到各子组中子信道增益情况都相同,由此可选取一子信道作为该子组的等效子信道,其等效子信道数目为 L 个。

6) 结合自适应比特和功率分配算法^[9-14],完成比特和功率在等效子信道中的分配。

2 子信道等效优化仿真分析

2.1 系统仿真框图

图 1 所示为系统仿真框图。

信道估计对低压电力线通信信道进行估计后,利用子信道等效优化方法对系统各子信道进行等效优化得到等效子信道,系统发送端再根据信道估计得到等效子信道特性情况,并利用自适应比特和功率分配算法实现比特在等效子信道中的快速分配。

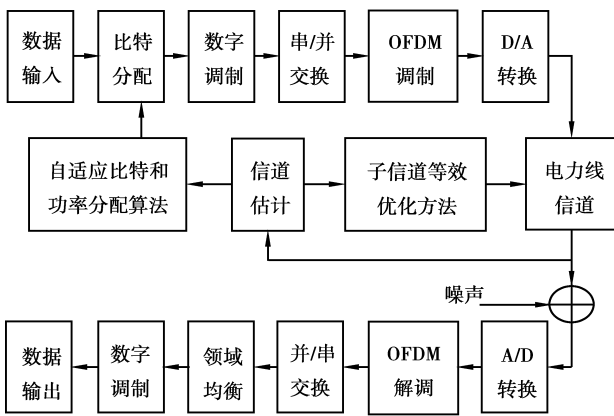


图 1 系统仿真框图

2.2 仿真参数设定和结果分析

1) 比特率取 25 Mbit/s; 2) 时延扩展取 200 ns; 3) 带宽小于 15 MHz; 4) 信道的模型采用三径 Rayleigh 衰落信道, 功率时延分布呈指数衰减为 $\{1, \exp(-1), \exp(-2)\}$; 5) 子信道等效优化仿真时待分配的总比特数保持定数。

仿真结果如图 2-6。图 2 中有 3 幅小图, 其横坐标表示子信道, 第 1、2、3 幅小图纵坐标分别表示的是各子信道的信噪比、比特分配、能量分配。由图 2 可得自适应调制子信道特性好的分配的比特数和能量就多, 信道特性差的分配的比特数和能量少甚至不分配。

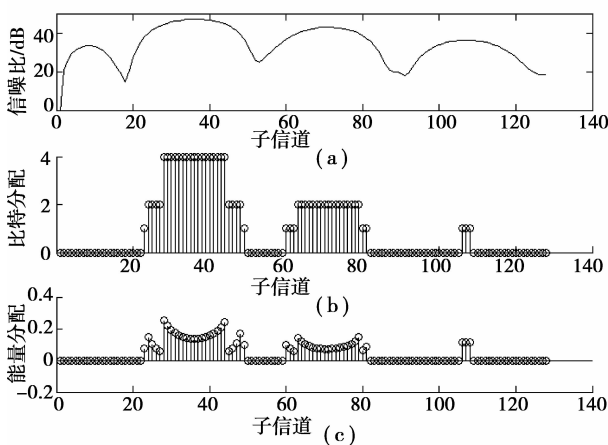


图 2 自适应调制子信道上的比特与能量分配图

在对比分析子信道优化算法时, 总的传输比特数保持不变, 子信道数可变。图 3-6 表示子信道数分别为 128、192、256、456 时使用等效子信道优化算法与没有采用该算法时系统性能的对比图。当子信道数 $N=128$ 时, 在保证子信道信噪比为 20 dB 时使用子信道等效优化算法比没有使用该算法误比特率要低约 0.032, 同理当子信道数为其他情况时, 系

统使用子信道等效优化算法比没有使用该算法误比特率要低。从而说明了此算法在总的传输比特数保持不变、保证一定信噪比情况下, 能较好地改善系统的传输性能。

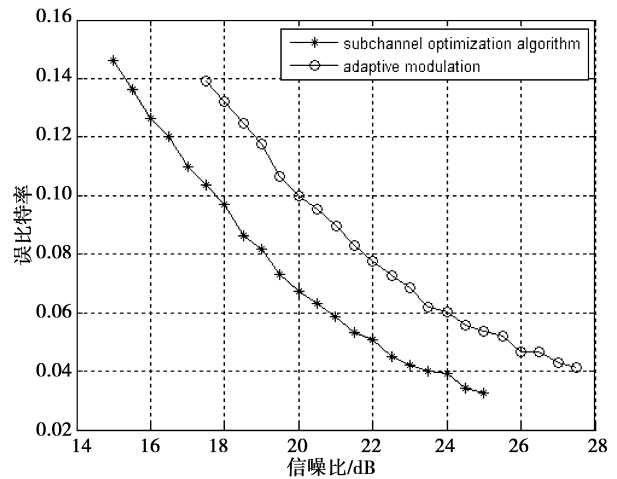


图 3 子信道数 $N=128$ 时使用等效子信道优化算法的传输特性图

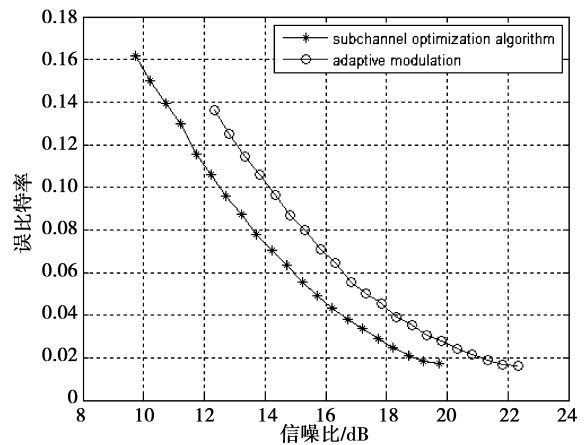


图 4 子信道数 $N=192$ 时使用等效子信道优化算法的传输特性图

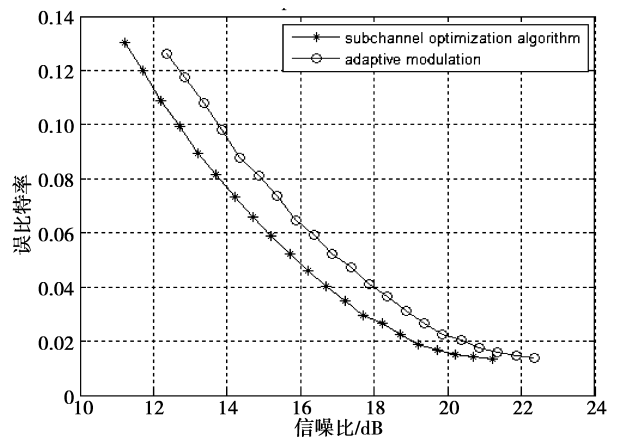


图 5 子信道数 $N=256$ 时使用等效子信道优化算法的传输特性图

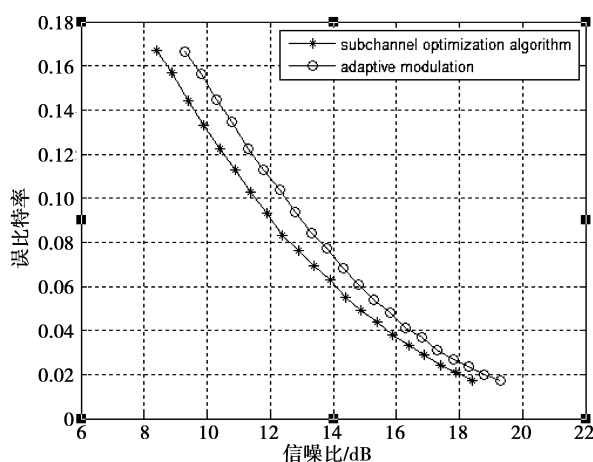


图6 子信道数 $N=456$ 时使用等效子信道优化算法的传输特性图

3 结 语

等效子信道优化算法将特性相同或相近的子信道放在一起考虑,不仅能减少信令负荷,还可以使频谱得到更好地利用。仿真结果表明:保证系统信噪比一定的情况下,使用等效子信道优化算法时系统的性能明显优于没有使用等效子信道优化算法系统的性能,而且随着子信道数目增大,使用等效子信道优化算法,系统误比特率也随之降低。

参考文献:

- [1] 赵磊,单渊达,张根度. 电力线通信技术的发展[J]. 电网技术, 2001, 25(11): 70-79.
ZHAO LEI, SHAN YUAN-DA, ZHANG GEN-DU. The development of power line communication technology[J]. Power Line Technology, 2001, 25(11): 70-79.
- [2] PAVVLIDOU N, YAZDANI J, HONARY B. Power line communications: State of the art and future trends[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(4): 34-40.
- [3] 马强,陈启美,李勃. 跻身未来的电力线通信(二): 电力线信道分析及模型[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(4): 72-76.
MA QIANG, CHEN QI-MEI, LI BO. Predictive schemes for future power line communication, part Two: PLC channel analysis and model [J]. Automation of Electronic Power System, 2003, 27(4): 72-76.
- [4] ZIMMERMANN M, DOSTERT K. A multipath model for the powerline channel[J]. IEEE Transactions and Communications, 2002, 50(4): 553-559.
- [5] MA Y H, SO P L. Performance analysis of OFDM systems for broadband power line communications under impulsive noise and multipath effects [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2005, 20(2): 674-682.
- [6] HEO K L, CHO S M. Design of a high speed OFDM modem system for power line communications signal [C]// IEEE Workshop on Processing Systems, Oct. 16-18, 2002, San Diego, CA, USA. [S. l.]: IEEE, 2002: 264-269.
- [7] RASOULI H, ANPALAGAN A. An asymptotically fair subcarrier allocation algorithm in OFDM systems [C]// The IEEE 69th Vehicular Technology Conference, April 26-29, 2009, Barcelona, Spain. [S. l.]: IEEE, 2009: 1-5.
- [8] SOUZA DE J C. Discrete bit loading for multi-carrier modulation systems[D]. [S. l.], 1999.
- [9] LI H X, YU H, LUO H W, et al. Dynamic subchannel and power allocation in OFDMA-based DF cooperative relay networks [C]// IEEE Global Telecommunications Conference, November 30-December 4, New Orleans. [S. l.]: IEEE, 2008: 1-5.
- [10] LI J J, CHEN B, LI H, et al. An adaptive power minimization algorithm for power-line communication[C]// The 2nd International Conference on Computer Modeling and Simulation (ICCMS 2010), January 22-24, 2010, Sanya, China. [S. l.]: IEEE, 2010(1): 300-302.
- [11] 李皎军,陈兵,苏理云. 一种低压电力线通信系统自适应比特和功率最小化算法[J]. 计算机科学, 2009, 36(4B): 193-194.
LI XIAO-JUN, CHEN BING, SU LI-YUN. An adaptive bit loading and power allocation algorithm in OFDM system for powerline communication [J]. Computer Science, 2009, 36(4B): 193-194.
- [12] 李皎军,曾孝平,张众发,等. 一种基于电力线通信的OFDM自适应比特与功率分配算法[J]. 信息与电子工程, 2007, 5(1): 15-21.
LI XIAO-JUN, ZENG XIAO-PING, ZHANG ZHONG-FA, et al. An Adaptive Bit Loading and Power Allocation Algorithm in OFDM system for powerline communication [J]. Information and Electronic Engineering, 2007, 5(1): 15-21.
- [13] 赵宇明,王赞基,郭静波,等. 一种应用于配电网电力线通信的快速比特分配算法[J]. 电网技术, 2005, 29(21): 67-71.
ZHAO YU-MING, WANG ZAN-JI, GUO JING-BO, et al. A novel rapid bit-loading algorithm for power-line communication[J]. Power Line, 2005, 29(21): 67-71.
- [14] CHOW P. A practical discrete multitone transmitter loading algorithm for data transmission over spectrally shaped channels [J]. IEEE Transactions on Communication, 1995, 43(2): 773-775.
- [15] UE T, SAMPEI S, MORINAGA N. Symbol rate and modulation level controlled adaptive modulation system with TDMA/TDD for high bit rate transmission in high delay spread environments [J]. Electronic Letters, 1996, 32(4): 304-305.

(编辑 王维朗)