

文章编号:1001-9081(2006)08-1791-02

滤波多音系统中的自适应算法性能分析

王少波¹,高振明¹,庄华伟²

(1. 山东大学 信息科学与工程学院, 山东 济南 250100;

2. 山东建筑大学 信息与电气工程学院, 山东 济南 250101)

(wangshaobo@sdu.edu.cn)

摘 要:提出了一种基于信号失真比的适用于滤波多音(FMT)系统的自适应比特和功率分配算法,并分析了自适应系统在平坦瑞利衰落信道下的性能。该算法与现有已知算法相比,方法简单,运算量小。通过仿真分析表明,与采用固定调制方式的 FMT 系统相比较,该算法显著提高了系统的误比特率性能,是一种实用的比特分配算法。

关键词:滤波多音调制;自适应调制;信号失真比

中图分类号: TP393.03 **文献标识码:** A

Analysis of adaptive algorithm in filtered multitone system

WANG Shao-bo¹, GAO Zhen-ming¹, ZHUANG Hua-wei²

(1. School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan Shandong 250100, China;

2. School of Information and Electric Engineering, Shandong University of Architecture, Jinan Shandong 250101, China)

Abstract: An adaptive bit and power allocation algorithm for filtered multitone (FMT) system was proposed based on Signal Distortion Ratio (SDR). Performance of adaptive system in slow fading Rayleigh channel was analyzed. The proposed algorithm is much simpler than the others. The simulation results show that the system outperforms fixed modulation FMT system in Bit Error Ratio (BER), and it is a practical bit allocation algorithm.

Key words: Filtered Multitone (FMT) modulation; adaptive modulation; Signal Distortion Ratio (SDR)

0 引言

多载波调制是一种有效的信息传输技术,它是用多个子载波并行地传输信息符号,使每个子信道内的符号时间大大延长,系统就可以有效地克服信道造成的符号间干扰(Inter-Symbol Interference, ISI),达到更高的数据传输速率。

滤波多音(FMT)调制是一种新型的多载波调制技术,首先于1999年提出,应用于高速数字用户环路(VDSL)的接入^[1]。近年来,FMT技术在无线传输方面的研究日益增多^[2,3]。采用了子信道频带不重叠的划分方法,因此具有良好的消除信道间干扰(Inter-channel Interference, ICI)的性能。在无线通信系统中,不同子载波经历的衰落是不同的。当固定调制方式应用于FMT系统时,系统性能将主要取决于衰落最严重的子信道。为有效提高系统性能并充分利用信道特性,自适应技术被大量应用于多载波传输系统中。

自适应技术的主要思想是通过研究无线信道的衰落程度、信道流量等参数动态地改变调制方式和传输参数,尽可能的提高系统的性能。本文基于FMT系统,从固定比特速率出发,在保证传输可靠性的前提下,提出了一种基于信号失真比(Signal Distortion Ratio, SDR)的自适应比特和功率分配算法。该算法首先在接收端测量每个子载波的信号失真比,据此确定每个子载波的调制方式,最后调整各个子载波上的功率。通过仿真分析表明,采用以信号失真比为判决阈值的自适应调制算法后,FMT系统的误比特率性能得到了较大的提高。

1 系统模型

图1给出了本文的系统模型,首先输入数据由自适应调制算法根据信道估计值分配到各个子信道,映射为相应的多进制调制符号,然后这些符号流经过快速傅立叶反变换(Inverse Fast Fourier Transform, IFFT)实现各子载波的基带调制,将FMT符号的频域信息转化为它的时域抽样,此时IFFT的输出符号为:

$$St(m) = \sum_{i=0}^{M-1} A_k^{(i)} \exp\left(j \frac{2\pi im}{M}\right) \quad 0 \leq m \leq M-1 \quad (1)$$

其中 M 为子信道的总数, $A_k^{(i)}$ 为由比特流映射而成的第 i 个子载波上的传输符号。 $St(m)$ 还需并行输入到一组拥有高度频谱约束的滤波器 $\{h^{(i)}(k)\}$ 中滤波,最后经串并转换后得到信道中传输的FMT符号:

$$x(n) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k^{(i)} h^{(i)}(n-k) \exp\left(j \frac{2\pi in}{M}\right) \quad (2)$$

在接收端,先将接收到的FMT符号进行串并转换,然后通过发送滤波器的匹配滤波器组 $\{h^{(i)*}(k)\}$,经过快速傅立叶变换(Fast Fourier Transform, FFT)进行各子载波的基带解调得到发送信号的估计值 $\hat{A}_k^{(i)}$, $i = 0, 1, \dots, M-1$ 。

为了达到各子信道频谱严格带限,原型滤波器必须放松理想重构条件的要求,因此需要在系统接收端加入有效均衡以消除原型滤波器和信道引入的ISI。

收稿日期:2006-02-21;修订日期:2006-05-07 基金项目:国家自然科学基金资助项目(60372029)

作者简介:王少波(1978-),男,山东济南人,硕士研究生,主要研究方向:多载波通信、滤波多音调制;高振明(1941-),男,山东济南人,教授,博士生导师,主要研究方向:信息交换传输与网络通信;庄华伟(1978-),男,山东临沂人,讲师,硕士,主要研究方向:无线传输与网络信息技术。

在 FMT 系统中,子载波分配的信息由专门的控制信道发送给发送端。各子载波上的调制方式都是由上一帧的信道估计值来确定的,可以看出,最合适的信道环境是缓慢变化的信道或者 FMT 符号间隔大于信道相干时间的情况。本文对平坦瑞利衰落信道进行了分析,并假定信道估计是理想的。

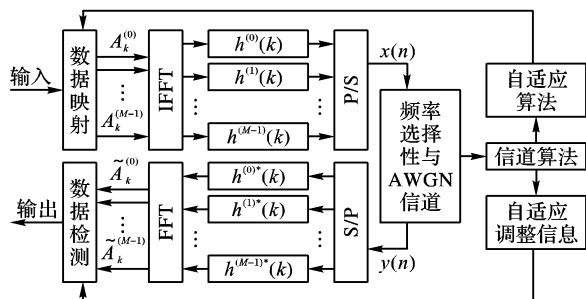


图1 FMT 系统结构

2 算法描述

自适应技术根据信道的变化自适应地改变调制方式、发送功率、编码率等参数,以便最充分地利用当前信道的环境。本文基于 FMT 系统,提出了一种基于信号失真比的自适应比特加载算法。在此,首先引入信号失真比的概念^[4]。

设 $y_m'(kT_c)$ ($0 \leq m < M$) 是多载波传输中第 m 路子载波在均衡后未经判决的信号。由于调制滤波器、频偏和信道噪声的影响, $y_m'(kT_c)$ 与发送信号 $x_m(kT_c)$ 是不相同的。定义每个子信道的失真为 $\xi_m(kT_c) = y_m'(kT_c) - x_m(kT_c)$,其中包含噪声:

$$SDR_m = \frac{M_{y'_m}}{M_{\xi_m}} \quad m = 0, 1, \dots, M-1 \quad (3)$$

其中, $M_{y'_m}$ 是接收信号 $y_m'(kT_c)$ 的功率, M_{ξ_m} 是失真 $\xi_m(kT_c)$ 的功率。应指出,这种失真的衡量方式不仅考虑噪声干扰而且将 ISI 也纳入考虑范围。

在实际系统中所采用的调制方式集是事先已经确定好的。对于给定的误码率,可以计算出对不同的调制方式所需要的 SDR,得到不同调制方式的切换阈值。这样接收端就可以根据得到每个子载波上的 SDR,确定出每个子载波上能够分配的比特数目。

表 1 给出了一组具有较好系统误比特性能的信号失真比 (SDR) 切换阈值,给定误比特率 $BER = 10^{-3}$ 。

表 1 不同调制方案的 SDR 切换阈值

调制方案	SDR 阈值/dB
不使用	<6
BPSK	6
QPSK	10
8PSK	18
16QAM	24

各子信道通过将其 SDR 值与切换阈值进行比较,选择合适的调制方式传输数据流,有效利用传输失真小的信道进行数据传输。基于 SDR 的自适应比特和功率加载算法具体地处理过程可以分为以下几个步骤:

- (1) 初始子载波的总数 M , 每个子载波上平均需要传输的比特数 b , 于是 FMT 符号包含的比特数 $B_{target} = bM$ 。
- (2) 将反馈链路上得到的 SDR 值与 SDR 切换阈值比较,为各个子载波上选取合适的调制方式。

(3) 计算初始比特分配得到的 $B_{target} = \sum_m b_m$ 。如果 $B_{target} = B_{total}$, 则转入步骤(5); 否则, 进行下一步。

(4) 计算每个子载波的 SDR 与其增加一个比特的 SDR 阈值的差值, 找到差值最小的子载波 m , 若 $B_{target} > B_{total}$, 调整该子载波传输比特数为 $b_m = b_m + 1$, 否则, 调整该子载波传输比特数为 $b_m = b_m - 1$, 重复查找计算, 直到 $B_{target} = B_{total}$ 。

(5) 根据子载波 m 上的信道频域增益 $h(m)$ 、白噪声功率 σ_n^2 以及相应的信号失真比阈值 SDR_m 决定分配给第 m 个子载波的功率为: $p_m = \sigma_n^2 \cdot SDR_m / |h(m)|^2$ 。

(6) 根据发射功率限制, 对整个 FMT 数据块中所有子载波的发送功率进行归一化, 最终使总的发射功率等于某一功率限定值。

本算法在初始阶段就利用已有的信道信息对比特分配方案做出了初步的估计, 这样可以减少后续逼近算法的收敛次数, 从而降低整个算法的计算复杂度。步骤(5)和步骤(6)根据注水定理对各子载波的传输功率进行最优化分配, 从而进一步提升了整个系统的性能。所以采用基于 SDR 的自适应比特和功率分配算法, 是一种计算和实现简单、有效的自适应比特和功率分配技术。

3 仿真

本文采用图 1 所示的 FMT 系统模型进行仿真, 采用四种可选的调制模式, 分别为 BPSK、QPSK、8PSK 和方形 16QAM。所选择的信道为平坦瑞利衰落信道, 并假设信道估计是理想的。均衡方案为每子信道均衡, 均衡器设计采用最小均方误差均衡器, 均衡考虑 FMT 系统本身和信道两者引入的 ISI。所采用的子信道数为 64, 分配到每子信道帧长为 200, 测试长度为 200 帧。

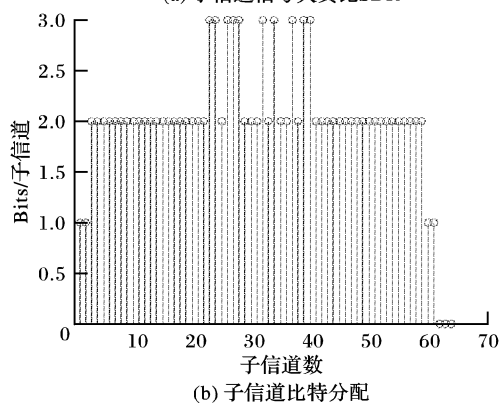
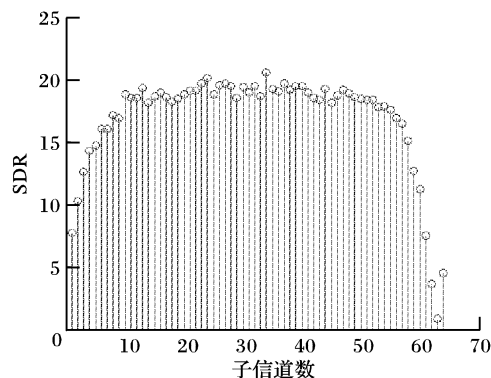


图2 64 子信道 FMT 系统——基于 SDR 的自适应比特加载

(下转第 1795 页)

内,随机散布 N 个节点,每个节点有一定的通信半径 R 。通过分别改变 N 和 R 而得到的 NR 的不同来衡量比较不同算法的性能。图2和图3表示算法分别在固定 R 和 N 时,不同算法的 NR 值。从图中可以看出,基于 DDSP 的路由算法在 NR 尺度上比 LEACH 和 DDMC 要好,这也使得该算法具有较好的可扩展性,对于大规模散布的传感器网络而言是比较有利的,这样网络的总消耗降低,从而使得整个网络的生命周期变长。

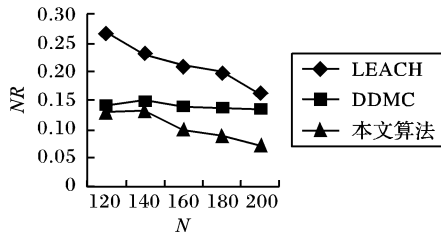


图2 R 不变 NR 的变化情况

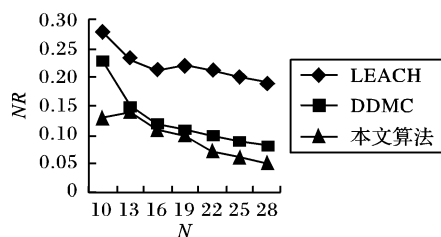


图3 N 不变 NR 的变化情况

4 结语

传感器的资源有限,为此本文提出了一种基于数据融合树的路由算法,此算法的时间复杂度要比 DDMC 和 DDSP 低,并且有效地延长了节点和整个网络的生命周期。仿真实验也表明了这一特点。但是在数据传输过程中,数据融合树的建立、父节点等待多个子节点都把数据发送完以及进行数据融

合操作这三个方面可能会增加网络的平均延迟,对于这个缺点将需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282 - 1291.
- [2] INTANAGONWIAT C, GOVINDAN R. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks[A]. Proceedings of 6th Annual ACM/IEEE Int'l Conference on Mobile Computing and Networking[C]. Boston, 2000. 56 - 67.
- [3] HEINZELMAN WR, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks[A]. Proceedings of 33rd Hawaii Int'l Conference on System Sciences[C]. 2000. 3005 - 3014.
- [4] LINDSEY S, RAGHAVENDRA CS. PEGASIS: Power efficient gathering in sensor information systems[A]. Proceedings of IEEE Aerospace Conference[C]. 2002. 1 - 6.
- [5] KRISHNAMACHARI B, ESTRIN D, WICKER S. Modelling data-centric routing in wireless sensornetworks[A]. Proceedings of IEEE infocom[C]. 2002.
- [6] SHAILH A, SHIN K. Destination Driven Routing for Low Cost Multicast[J]. IEEE JSAC, 1997, 15(3): 373 - 381.
- [7] ZHANG BX, MOUFLAH HT. A destination-driven shortest path tree algorithm[J]. IEEE International Conference on Communications [C]. Kingston, Canada, 2002, Vol 4: 2258 - 2262.
- [8] FUJINOKI H, CHRISTENSEN K. The new shortest best path tree algorithm for dynamic multicast tree[A]. Proceedings of the 24th IEEE Int'l Conference of Local Computer Networks[C]. Los Alamitos: IEEE Press, 1999. 204 - 211.
- [9] BRAGINSKY D, ESTRIN D. Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks[A]. Proceedings of the 1st ACM WSN Atlanta, GA[C]. 2002. 22 - 31.
- [10] 王涛, 李伟生. 低代价最短路径树的快速算法[J]. 软件学报, 2004, 15(5): 660 - 665.

(上接第 1792 页)

图2(b)表明了采用基于 SDR 的自适应比特加载算法进行比特分配步骤(4)所得到的结果,其中 SDR 切换阈值选取如表1所示,假设每个子信道上平均需要传输2比特信息。由图2(b)可以看出,在给定目标比特速率的情况下,若某一子信道的 SDR 值过低,即严重失真时,该子载波上不传输任何信号,这样做是为了避免不必要的重传。而对于信道特性较好的子信道,则尽量多传输数据。

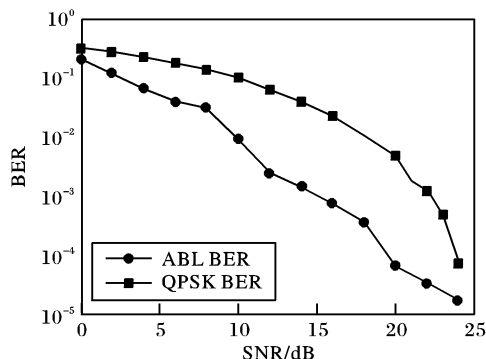


图3 FMT 系统 BER 性能

图3所示为 FMT 系统分别采用上述自适应比特和功率分配算法(Adaptive Bit And Power Loading Algorithm, ABL)及固定的 QPSK 调制方式得到的误比特率(BER)性能曲线,由仿真结果可以看出,采用自适应比特和功率分配算法使系统的误比特率性能有了较大提高。由此,可以认为在 FMT 系统中

采用基于 SDR 的自适应技术,有效地提高了系统的传输性能。

4 结语

本文提出了一种可运用于 FMT 系统的自适应比特和功率分配算法——基于 SDR 的自适应比特和功率分配算法。这种算法的优势之一在于较低的计算复杂度,其复杂度的降低主要来自预先确定的采用不同调制方案所需的 SDR 阈值。通过仿真结果表明,在保持系统目标信息传输速率和系统总功率不变的前提下,该算法能显著的提高 FMT 系统的误比特性能。

参考文献:

- [1] CHERUBINI G, ELEFTHERIOU E, OLCER S. Filtered multitone modulation for VDSL[A]. Global Telecommunications Conference [C]. Rio de Janeiro, Brazil: IEEE Communications Society, 1999, Vol 2: 1139 - 1144.
- [2] BENVENUTO N, TOMASIN S, TOMBA L. Receiver architectures for FMT broadband wireless systems[A]. Vehicular Technology Conference Proceedings[C]. Rhodes Island, Greece: IEEE 53rd VTC, 2001, Vol 1: 643 - 647.
- [3] ASSALINI A, PUPOLIN S, TONELO AM. Analysis of the effects of phase noise in filtered multitone(FMT) modulated systems[A]. Global Telecommunications Conference [C]. Hong Kong, China: IEEE Communications Society, 2004, Vol 6: 3541 - 3545.
- [4] 王秋瑾, 朱维红, 高振明, 等. FMT 和 OFDM 在频偏影响下的可达比特率性能比较[J]. 山东大学学报(理学版), 2005, 40(4): 81 - 85.