

基于注水原理的快速功率和比特分配算法

蒋留兵¹, 杨昌昱¹, 李卓伟², 韦洪浪¹, 许腾飞¹

(1 桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004; 2 耐普罗有限公司 工程部, 广东 深圳 518114)

摘 要: 提出了一种新的基于注水原理的低计算复杂度的快速功率和比特分配算法. 在功率最小化问题上, 通过对公式的变形和求解, 使得问题的求解形式与注水算法一致. 利用注水性质快速调整注水线从而移除了复杂的搜索注水线计算, 实现了功率最小化快速功率和比特分配算法. 仿真结果表明, 与已有的算法相比, 提出的算法节省了大量的计算时间.

关键词: 多信道无线通信系统; 功率分配; 比特分配; 注水原理

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)03-0086-03

Fast Power and Bit Allocation Based on Water-Filling

JIANG Liu-bing¹, YANG Chang-yu¹, LI Zhuo-wei², WEI Hong-lang¹, XU Teng-fei¹

(1 School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2 Engineering Department, Nipro Plastics & Metal Products co. Ltd, Shenzhen 518114, China)

Abstract: Traditional Power Minimization problem need complicated calculation and is not applied in practice very well. To overcome this problem, formulas are transformed and solved, and the solution of Water-Filling can be applied, take advantage of properties of Water-Filling, agilely adjusting Water-Level instead of processing complex Water-Level searching process. Based on Water-Filling algorithm, fast power and bit allocation algorithms in Power Minimization for multi-channel wireless communications are realized. Simulation results shows, compared with existing algorithms, proposed algorithms runs multiple times faster.

Key words: multi-channel wireless communications; power allocation; bit allocation; Water-Filling

1 引言

正交频分复用(orthogonal frequency division multiplexing, OFDM)和多输入多输出(multiple input multiple output, MIMO)被普遍认为是实现下一代宽带无线通信系统的一项关键技术. 特别的, 在频域上, OFDM 在多信道中使用相互正交的子载波, 单载波的 MIMO 也可以通过奇异值分解(singular value decomposition, SVD)等效地把单个宽带信道分解成多个子信道^[1].

在实际的多信道无线通信系统中, 每个子信道的频率选择性不同, 具有不同的传输能力, 若按照传

统做法固定地给每个子信道分配相同功率, 则会造成系统资源的浪费, 严重时甚至会造成系统传输错误. 因此, 根据信道情况自适应地为每个子信道分配不同的功率, 可以使得系统性能达到最佳^[2].

功率和比特分配优化问题是多信道无线通信系统中的一项关键任务, 文献[3-5]提出了解决该问题的几种算法. 这些算法主要考虑三个参数: 数据比特率、可用功率和比特误码率(bit error rate, BER), 为了优化其中的一个参数, 则该参数必须受限于其余的两个参数. 本文研究在一定的数据比特率和 BER 下, 使得可用功率最小, 在移动终端的上行通道中或者对功率比较敏感的情景, 更具有实际意义. 由于实

收稿日期: 2013-04-19; 修回日期: 2013-06-05

基金项目: 国家自然科学基金(61162007); 广西自然科学基金(2013GXNSFAA019323); 广西自然科学基金(2013GXNSFAA019329)

际信道是时变的,功率和比特分配算法必须要在足够短的时间内计算完成,这样才能适应信道环境的快速变化.

注水算法是多信道无线通信系统中最大化系统容量的经典功率分配算法^[3]. 本文基于注水原理提出了一种简单快速的最小化功率注水算法,实现了在一定数据比特率和 BER 下最小化分配功率. 仿真证明,相比前人的算法,本文提出的算法节省了大量的计算时间.

2 已有的功率最小化求解算法

在文献[3]中, Hughes-Hartogs 提出一种功率最小化准则下的算法,称为 greedy 算法. 这种算法的基本原理是,在每一步迭代中,功率消耗增加最小的子信道被分配额外一个比特,直到满足所需的数据速率要求. greedy 算法是最佳的,但这种算法计算复杂度非常高.

在文献[4]中, Chow 和 Cioffi 提出了一种次优化的算法. 这种算法主要是在一定 BER 和传输比特下最小化分配功率,在这种算法中,通过一定的步长来调整余量,并按照余量公式求得每个子信道的分配比特,直到总分配比特数等于目标比特或者达到最大的迭代次数,最后根据需要进行剩余比特调整.

与文献[4]类似,在文献[5]中, Fischer 算法也是在迭代中逐步调整分配比特,最后再进行剩余比特调整. 不同的是, Fischer 算法在每次迭代中舍弃信噪比不理想的子信道,然后对其余子信道调整分配比特. 通过这样的改进, Fischer 算法比 Chow 算法节省了时间.

3 本文提出的功率最小化注水算法

3.1 功率最小化问题和公式表示

与容量最大化注水问题^[6]类似,功率最小化问题可用公式表示为

$$\min \sum_{n=1}^N p_n \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{n=1}^N C(n) = \sum_{n=1}^N \Delta B \log_2 \left(1 + \frac{|H_n|^2 p_n}{N_0} \right) = R_T \quad (2)$$

$$p_n \geq 0 (n = 1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

式中, R_T 为给定的数据比特率.

应用拉格朗日乘子法,解得

$$p_n = 2^{\frac{1}{N} (R_T - \sum_{n=1}^N \log_2 g_n)} - \frac{1}{g_n} \quad (4)$$

求得分配功率后,按照下式进行比特分配:

$$b_n = \log_2 \left(1 + \frac{g_n p_n}{\Gamma} \right) \quad (5)$$

式中, Γ 是 SNR gap, 定义为系统达到传输容量 C 时的理想 SNR 和实际传输容量 R 的 SNR 之比. Γ 是 BER 和信道编码方式的函数. 假设采用 QAM 调方案, 则^[7]

$$\Gamma = \frac{-\ln(5\text{BER}_{\text{target}})}{1.5} \quad (6)$$

如果 $\text{BER}_{\text{target}} = 10^{-3}$, 则 $\Gamma = 3.53 \text{ dB}$.

3.2 本文功率最小化注水算法^[8-9]

如果用式(4)直接求解则需要对数、求和和指数运算, 复杂度高, 不适合实际应用.

式(1)、(2)、(3)并不好直接应用注水原理, 利用式(5), 我们把公式变形为

$$\min \sum_{n=1}^N p_n = \min \sum_{n=1}^N \frac{\Gamma}{g_n} (2^{b_n} - 1) \quad (7)$$

$$\text{s. t. } \sum_{n=1}^N b_n = R_T \quad (8)$$

$$b_n \geq 0 (n = 1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

先不考虑约束式(9), 应用拉格朗日乘子法求解并化简为

$$b_n = \frac{R_T - \sum_{n=1}^N \log_2 g_n}{N} + \log_2 g_n, n = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

快速注水线调整算法如图1所示, 首先, 按照 g_n 从大到小进行降序排列. 其中, 注水线 $\mu = \frac{R_T - \sum_{n=1}^N \log_2 g_n}{N}$, 把子信道分成 A、B 两个部分, A 表示式(10)中大于等于0的 b_n 的集合, 即 $A = \{b_n \mid \mu \geq -\log_2 g_n\}$, B 表示式(10)中小于0的 b_n 的集合, 即 $B = \{b_n \mid \mu < -\log_2 g_n\}$.

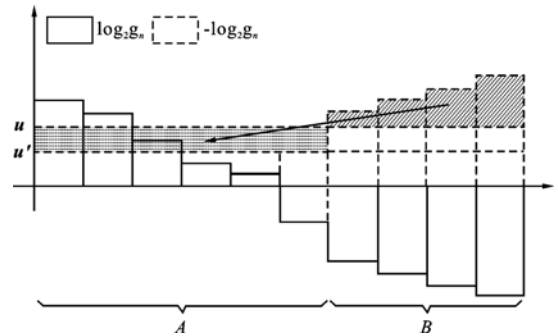


图1 应用注水原理的功率最小化比特分配算法则新的注水线

$$\mu' = \mu - \frac{\sum_{n \in B} -(\log_2 g_n + \mu)}{|A|} \quad (11)$$

式中, $|A|$ 表示求集合 A 中元素的个数.

证明:

假设 B 中所有 b_n 的和为 $-\Delta$, 其中 $\Delta > 0$, 则 $\Delta = \sum_{n \in B} -(\log_2 g_n + \mu)$. 因为 $b_n < 0$, 所以这部分子信道最终分配的比特为 0, 即需要加上 Δ 才能使得 B 中所有 $b_n = 0$. 而为了使总的传输速率 R_T 保持不变, A 中的比特数和必须减去 Δ . 注意到每个子信道注水线的高度都是相同的, 所以减去比特数平均分配到 A 中的每个子信道, 即 μ 必须下降 $\frac{\Delta}{|A|}$, 所以 $\mu' = \mu - \frac{\sum_{n \in B} -(\log_2 g_n + \mu)}{|A|}$. 得证.

调整一次以后, B 中 $\forall b_n = 0$, 但并不能保证 A 中 $\forall b_n \geq 0$. 因此, 该调整过程需要重复进行, 直到所有 $b_n \geq 0$.

按照注水原理调整完分配比特后, 需要对分配比特进行取整, 如果取整后分配比特不等于目标比特, 则按照文献[4]中 Chow 的方法进行剩余比特调整.

分配好比特以后, 最后根据式(5)计算分配功率.

4 仿真结果

在本节中, 我们使用 MATLAB 7.8.0 对不同算法的性能进行了仿真比较. 仿真中, 设置 $BER = 10^{-3}$, 为了不失一般性, N_0 设为 1, 假设 H_n 符合参数为 1 的瑞利分布, 每次仿真运行 10 万次^[10].

图 2、图 3 比较功率最小化问题中不同算法的性能. 从图 2 中我们可以看出, 对于一定的目标比

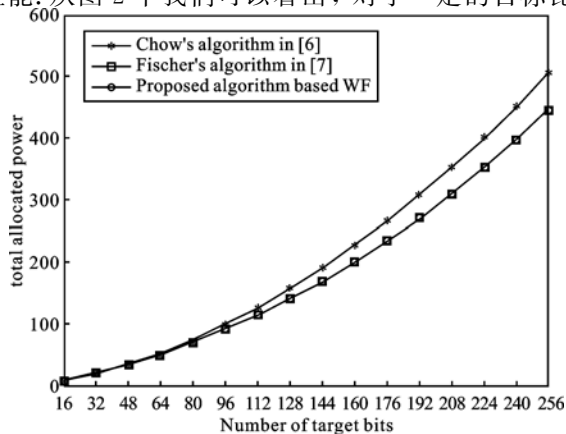


图 2 不同功率最小化算法所需总功率比

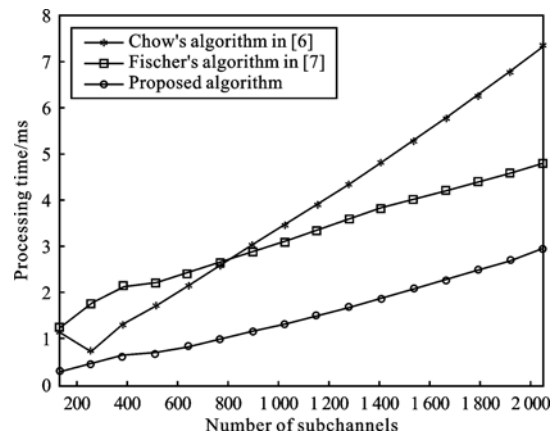


图 3 不同功率最小化算法耗时比较

特, 本文算法和文献[5]中的算法比文献[6]要节省 0~150 bit, 目标比特数越大节省比特数越多.

从图 3 中我们可以看出, 文本提出的功率最小化注水算法比文献[5]快约 1.5~2 倍, 比文献[4]快约 1.5~3 倍.

5 结束语

本文提出了一种基于注水原理的快速功率和比特分配算法, 利用注水性质快速调整注水线从而移除了较为复杂的搜索注水线计算. 仿真表明, 相比已有的算法, 本文提出的算法节省了大量的计算时间.

参考文献:

- [1] Cho Y S, Kim J, Yang W Y, et al. MIMO-OFDM wireless communications with MATLAB[M]. Asia: Wiley, 2010:263-270.
- [2] Wang F, Liu Z. Adaptive water-filling power control for wireless communications networks[J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12(10):737-739.
- [3] Hughes-Hartogs D. Ensemble modem structure for imperfect transmission media, U S Patents Nos 4, US4731816A[P]. 1988.
- [4] Chow P S. Bandwidth optimized digital transmission techniques for spectrally shaped channels with impulse noise[D]. USA: Stanford University, 1993.
- [5] Fischer R F H, Huber J B. A new loading algorithm for discrete multitone transmission[C]//Global Telecommunications Conference. London: IEEE, 1996:724-728.
- [6] Ling X, Wu B, Ho P H, et al. Fast water-filling for agile power allocation in multi-channel wireless communications [J]. IEEE Communications Letters, 2012, 16(8):1212-1215.

(下转第 93 页)

代价、零时序开销的特点,可以满足嵌入式应用高性能低成本的要求。

5 结束语

本文针对自主设计的 PKU-DSP II 系统芯片,设计了基于串口通信的在线调试系统,详细描述了片上调试单元的结构及其与处理器的交互。调试系统可以支持硬件/软件断点、单步调试、复位以及在线程序下载等调试功能,还开发了上位机调试软件和图形界面。FPGA 原型验证结果表明设计功能正确,在不降低原有系统性能的前提下,增加调试功能后硬件资源占用增加小于 3%。设计具有低硬件代价和零时序开销的特点,可以满足嵌入式应用高性能低成本的要求。

参考文献:

- [1] 罗客露,陈云川. 嵌入式软件调试技术[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [2] Brat Vermeulen, Neal Stollon, Rolf Kuhn, et al. Overview of debug standardization activities[J]. IEEE Design & Test of Computers, 2008, 25(3): 258-267.
- [3] Kuen-Jong Lee, Si-Yuan Liang, Alan Su. A low-cost SOC debug platform based on on-chip test architectures [C]// IEEE International SOC Conference, Belfast; IEEE Press, 2009:161-164.
- [4] Test Technology Standards Committee of the IEEE Computer Society IEEE Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture[S]. New York: IEEE

Press, 2001.

- [5] Wang Gang, Zhang Shengbing. On-chip debug architecture for MCU-DSP core based system-on-chip [C]// IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering. Shanghai: IEEE Press, 2011:605-608.
- [6] 曾洁,贾世杰,陈少华. 基于串口通信方式实现对工控微处理器的代码下载与调试[J]. 化工自动化与仪表, 2009,36(1):86-88.
- [7] 梁中书,陈必龙,严晓浪,等. CPU 中可伸缩低开销的硬件调试器设计[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(8):141-144.
- [8] 王腾,谢峥,赵月明,等. 面向医疗电子应用的 16 位 RISC MCU 设计与实现[J/OL]. [2013-04-20]. 北京大学学报自然科学版, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2442.N.20130513.1546.001.html>.
- [9] 王琪,高瑛珂,华斯亮,等. 可复用微处理器片上调试功能的设计与实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012,24(10):1369-1374.

作者简介:

何勇 男,(1987—),硕士研究生. 研究方向为系统集成芯片设计与设计方法学。

王腾 男,(1988—),博士研究生. 研究方向为系统集成芯片设计与设计方法学。

王新安 男,(1963—),博士,教授,博士生导师. 研究方向为系统集成芯片设计与设计方法学、阵列处理器架构与设计。

潘滨 男,(1987—),硕士研究生. 研究方向为嵌入式系统与软件开发。

(上接第 88 页)

- [7] Lim C H. Variable-rate variable-power MQAM for fading channels[J]. IEEE Trans on Communications, 2002,50(11):18-60.
- [8] Ma Y H, Xu Y Y, Wang J L. An efficient transmit power and bit rate allocation algorithm for OFDM based cognitive radio systems[J]. IEICE Transactions on Communications, 2011(1):302-306.
- [9] Qi Q L, Andrew M, Yang Y Q(Lamar). An efficient water-filling algorithm for power allocation in OFDM-based cognitive radio systems[C]//International Con-

ference on Systems and Informatics (ICSAI). Yantai: IEEE, 2012:2069-2073.

- [10] Wang L J. An improved water-filling power allocation method in MIMO OFDM systems [J]. Information Technology Journal, 2011,10(3):639-647.

作者简介:

蒋留兵 男,(1973—),硕士,副教授. 研究方向为自适应信号处理、雷达信号处理。