

基于OFDMA资源调度分配算法的研究*

符初生** 张忠培

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

【摘要】针对OFDMA系统的特点,提出了一种按用户数据速率与信道条件进行资源调度分配算法。该算法在满足一定的公平性原则下,根据用户的信道参数与业务需求,动态分配子载波与传输时隙。同时还给出了该算法的具体实现步骤及在M.1225信道条件下的仿真结果,其结果表明:利用该资源调度算法可提高OFDMA系统的通过率近3倍。

关键词 正交频分复用; 资源调度; 通过率; 时隙分配

中图分类号 TN929 文献标识码 A

Study of Resource Scheduling Base on OFDMA

Fu Chusheng Zhang Zhongpei

(National Key Laboratory of Communication, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract A method of resource scheduling in OFDMA communication system is proposed in this paper, with this scheme, according user data rates and channel parameter, transmitting slots and subcarriers of OFDM systems are allocated dynamically. In this paper, the scheduling method and algorithm are presented and simulation results are given. The throughput of the scheduling system could be improved almost three times than moral system.

Key words orthogonal frequency division multiplexing; resource scheduling; throughput; slot allocation

正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技术能在频谱效率、频率分集、低速并行数据处理和抗干扰、实现简单等方面占有一定优势,使OFDM技术受到广泛关注,并作为新一代移动通信系统的候选方案^[1, 2]。基于OFDM技术的发射信号,经过移动通信信道时,将有频率选择性衰落特点,同一用户不同的子载波有不同的衰落;同时,不同用户的衰落又可看成是独立的。为了进一步发挥OFDM技术的特点,利用信息论的注水原理^[3],提出了OFDM的自适应编码调制与子载波功率分配方法^[4, 5]。但是,要实现每个子带上精确功率控制,有较高的实现复杂度与算法收敛性问题,在具体系统中实现起来较困难。

由于正交频分多址(Orthogonal Frequency Division Multiple Access, OFDMA)系统提供了时间与频率二维资源,可采用OFDM的频分与时分的多址技术即OFDMA来实现系统的多址接入。美国高通公司的HDR(High Data Rate, HDR)通信标准采用了在基站按最大功率发射,移动台按接收功率的强弱实现不同的编码调制方案,得到不同速率数据通信,同时在分配时隙单元上满足一定的公平性原则^[6, 7]。这种方法在功率控制上较为简单,但对功率有一定浪费。本文将这种方法与OFDM系统的特点相结合,提出了一种动态资源调度方法:在比例公平性原则下,按用户数据速率与信道条件进行资源调度,通过对用户子载波组的平均信道参数进

2003年8月29日收稿

* 国家863计划资助项目,编号:863-701-6-7.1

** 女 39岁 大学 讲师 主要从事移动通信方面的研究

平均信道参数进行相应的自适应编码调制代替对每个子载波进行功率控制与自适应编码调制, 在降低了实现复杂度的同时, 使系统的总的吞吐量为最大。

1 资源调度方法

系统资源调度的基本原理是: 为了减小反馈信息与控制信息量, 将OFDM系统的相邻子载波划分成若干组, 通过反向链路反馈回信道信息及子载波组上可传输的数据速率, 基站收到这个信息后, 根据子载波组占用的情况进行载波组分配; 同时计算该用户当前信道条件下能够下传输的数据速率和根据过去时隙的平均占用情况进行时隙分配。由于是频分与时分相结合多址方式, 分配原则是同一时隙同一子载波组上的用户数不超过1个(多址技术的要求)。这种分配方案与同时接入的用户数有关, 因此需要限制小区的最大用户数, 同时也要限制最低可靠通信速率 R_{\min} 。对于信道条件好的用户, 降低其传输时隙个数, 以适当降低其数据传输量; 对于信道条件差的用户, 可通过增加传输时隙的方法来保持一定数据传输量。这样使离基站的远近用户能达到一个比例公平性原则-在相同业务量的条件下, 数据速率最高用户的所用时隙 L_{\max} 与数据速率最低用户所用时隙 L_{\min} 之比在一个设定值的范围内。设用户数为 K , 在一个OFDM符号中所分的子载波组数为 N , 第 k 个用户的第 n 个子载波组允许的速率为 $R_{k,n}$, 第 k 个用户所需时隙数为 F_k , 则 $F_k = \lambda / \sum R_{k,n}$, 其中 λ 为系统设定的常数; 设每一用户子载波组的带宽为 P (假设每一子带是均匀化分的), 则系统平均通过率为

$$R_{av} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N PR_{k,n} F_k}{\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N PF_{k,n}} \quad (1)$$

按时隙均衡后, 系统的最大通过率 C 为

$$C = \frac{\sum_{k=1}^{k_0} \sum_{n=1}^N R_{k,n} F_k + \sum_{k=k_0+1}^K \sum_{n=1}^N R_{k,n} F_k (L_{\min} / L_{\max})}{\sum_{k=1}^{k_0} F_k + \sum_{k=k_0+1}^K F_k (L_{\min} / L_{\max})} \quad (2)$$

由式(2)得知, 系统的通过率应该在最大用户通过率与最小用户通过率之间。 (L_{\min}/L_{\max}) 设定不同, 通过率也将有所不同。分配方法的实现步骤如下:

- 1) 由移动台反馈信道信息, 其中包括每一个用户在各个子载波组上的信道数据通过率信息;
- 2) 对不同子载波组上的用户通过率的值进行排序;

3) 如果用户数与子载波组数相等, 优化分配原则是每一个用户占用一个子载波组, 实现频分; 如果用户数小于子载波组数, 则某些用户可以占用多个子载波组, 并可以同时所有时隙上传, 即按优化准则, 只需频分, 不需时分。其优化公式为

$$C = \sum_{K=1}^k \sum_{N=1}^n \rho_{k,n} C_{k,n} \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \rho_{k,n} = 1 \quad (4)$$

式中 $C_{k,n}$ 表示用户 k 在第 n 个子载波上的调制方式对应的传输比特。如果用户数大于子载波组数, 占用同一个子载波组的用户, 再进行时分, 这时既有频分, 又有时分, 频带将有重用。引入子带重用因子 $\rho_{k,n}$ 和时隙重用因子 $\xi_{k,m}$ 。 $\rho_{k,n}$ 表示第 k 个用户占用第 n 个子带; $\xi_{k,m}$ 表示第 k 个用户占用了第 m 个时隙。如果出现了 $\sum_{k=1}^K \rho_{k,n}$ 不等于1, 即有共用子带情况, 其优化公式为

$$C = \max \frac{\sum_{k=1}^{k_0} \sum_{n=1}^N c_{k,n} F_k + \sum_{k=k_0+1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} F_k}{\sum_{k=1}^{k_0} F_k + \sum_{k=k_0+1}^K F_k} \quad (5)$$

需满足 $\rho_{k_1,n} \rho_{k_2,n} = 1$, $\xi_{k_1,m} \xi_{k_2,m} = 0$, $F_K = \sum_M \xi_{K,M}$ 。

2 调度算法实现描述

先假设在一个时频资源单元内信道是平坦的,不同单元之间的衰落服从独立的瑞利分布,不同用户的单元间衰落是独立的;采用动态资源分配的总吞吐量是所有时频资源单元的吞吐量的平均值,算法流程如图1所示。用户的传输量由用户申请的传输速率来确定。在反馈控制上,对于快变信道,为了纠正由于衰落引起的误码,在一定时隙内进行平均,再对平均值进行编码调制。当然平均时间过长,增益会减小,两个用户的服务时间情况如图2所示,图中 C 为瞬时传输能力, t_1 为用户1的服务时间, t_2 为用户2的服务时间, \bar{C}_1 为用户1的归一化短时平均传输能力, \bar{C}_2 为用户2的归一化短时平均传输能力。当用户1的平均传输能力高时,就为用户1服务,当用户2的平均传输能力高时,就为用户2服务。具体算法步骤为:

- 1) 信道按时域和频域划分出可分配的时频资源单元;
- 2) 当只采用时域动态资源分配时,根据当时所有频率上的单元总传输能力来决定该时刻为哪一个用户服务;
- 3) 同时采用频域和时域动态资源分配时,根据不同的子载波组的传输能力和不同用户的传输需求,进行子载波组分配调度。

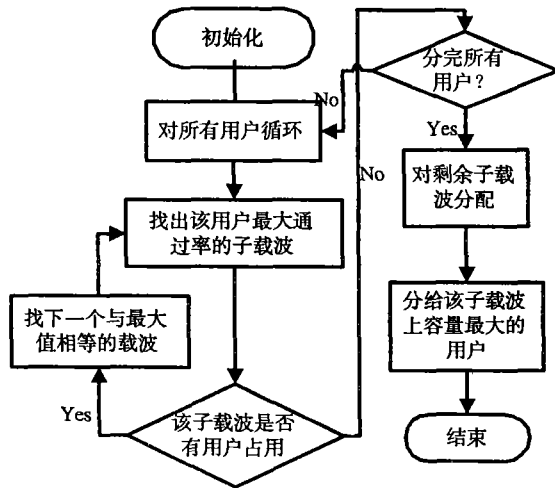


图1 子载波分配算法描述图

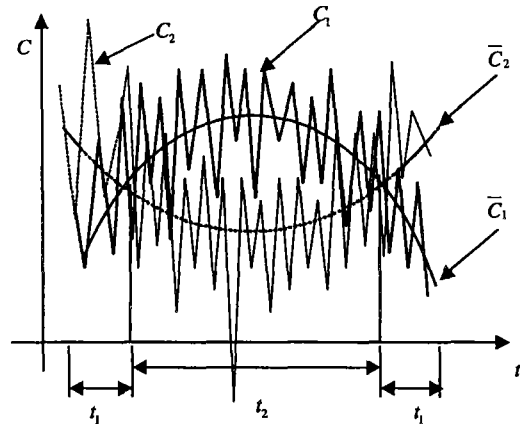


图2 两个用户传输能力比较

3 资源分配算法的简化实现方法

基于最大时延资源分配方法所利用的用户传输的数据量信息,可以通过在过去的一段时间内传输平均速率作为量度。在一个给定时隙,用户的平均通过率为: $T_1(t), T_2(t), \dots, T_K(t)$,当前时隙要求的数据速率为: $R_1(t), R_2(t), \dots, R_K(t)$;调度因子为: $R_k(t)/T_k(t)$;通过对调度因子由大到小进行排列,每次传输调度因子较大的用户,通过对数据较低的用户进行一定程度的加权,使每一次传输中可占用一个或多个子载波,从而保证一个最低的数据通过率。以用户数 >16 个子带为例,其分配算法为:

- 1) 排出调度因子较大的16个用户;
- 2) 按每个用户的信道条件分配给每个用户一个子载波组,如果出现重复分配的情况,让调度因子值较小的用户选次最大,依次类推;
- 3) 若用户数较多,在反馈信道参数时,只反馈较大的2个或3个传输子载波组。

4 仿真分析

仿真信道采用M.1225信道模型。仿真参数设置为:衰落采用5 dB的对数阴影衰落;路径损耗的指数为3;小区半径为3 000 m,参考半径为500 m;用户数为16,用户均匀分布在一个小区环境之中;发送功率为48 dBm;每一个用户25个位置;每一个位置上仿真的点数为8 192;OFDM的子带数为1 024,每一时隙8个

OFDM符号; 载频为1 GHz; 移动端移动速度为30 km/h; 没有临小区干扰和共信道干扰。

以下分别对ITU-M.1225信道模型中A信道与B信道进行仿真。按每一子带进行资源调度的仿真结果如图3所示。从图中可看出在没有路径损失与阴影衰落的情况下, 当子带数 >16 时, 增加子带带来的通过率增加不很明显。图中 η 为每时隙的平均通过率, N 为子带数。多用户时, 有资源调度与没有资源调度相比, 系统通过率会有较大的增加, 说明通过资源调度会给系统带来较大的通过率增益。图中所示的通过率是指在每一时隙平均通过率。

两种不同的调度更新方式对系统通过率的影响如图4所示。从图中得知方法1是每一个子带分别对应一个资源调度, 每一个用户单独参加每一个子带的竞争, 子带之间的竞争互不影响。如果单通道的调度算法为最优, 那么这种算法也为最优。但是这种调度算法的复杂度也为最大; 方法2就是并行更新, 也就是说, 每一个用户参数更新是以OFDM的时隙为单位进行的, 用户竞争每一个子带的时候, 采取了不同的数据速率外, 其他如平均速率等都相同, 时隙调度完成后, 根据子带上调度的情况进行更新。从图中还可看出这两种更新方法性能非常相近, 但在实际系统中, 可采用方法2。

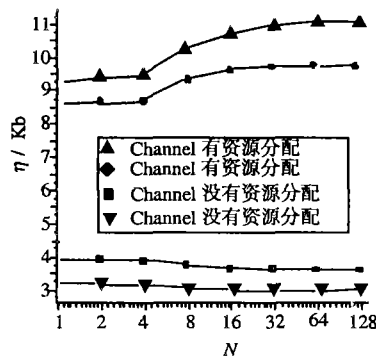


图3 子带数的大小对系统通过率的影响

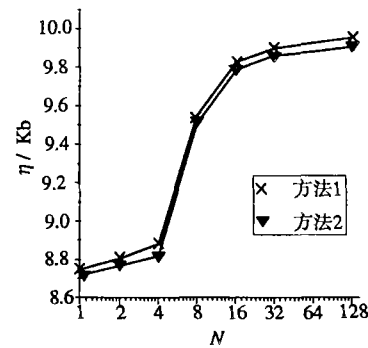


图4 方法1与方法2在不同子带下的性能比较

5 结束语

综上所述, 对于OFDMA系统, 通过对时频二维资源的有效调度, 在比例公平性原则下, 可以有效地提高OFDM系统的通过率。这种调度方法需要测量与反馈信道参数数据信息, 如果测量不准, 会带来一定的分配误差, 对整个系统的通过率性能有一定影响。本文的这种调度方法的效率与通信用户目前的平均传输量有关, 如果平均时间过长, 信道的时变性会影响目前传输能力, 如果平均时间过短, 信道的时变性会增加控制信息的开销与系统的稳健性, 因此, 需要作一折衷。但对资源调度方面的问题还有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Hara S, Prasad R. Overview of multicarrier CDMA[C]. IEEE Commun. Mag, 1997. 126-133
- [2] Kondo S, Milstein L B. Performance of multicarrier DS CDMA systems[J]. IEEE Trans. on Commun., 1996, 44(2): 238-246
- [3] Blahut R E. Principle and practice of information theory[M]. Reading, MA: Addison-Wesley, 1987
- [4] Yun Hee K, Iickho S, Seokho Y, et al. A multicarrier CDMA system with adaptive subchannel allocation for forward links[J]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1999, 48(5): 1 428-1 436
- [5] Tat M L, Wong F. Transmitter and receiver optimization in multicarrier CDMA systems[J]. IEEE Trans. on Commun., 2000, 48(7): 1 197-1 207
- [6] 张忠培, 王 艺, 周世东. 多用户自适应调制功率分配[J]. 电子学报, 2003, 31(2): 211-213
- [7] Tse D. Forward-link multiuser diversity through proportional fair scheduling[M]. Presentation at BELL Labs, 1999

编 辑 刘文珍