

文章编号:1671-6833(2010)04-0052-04

基于 TGPS 调度的多用户 MIMO-OFDM 系统资源管理

陆彦辉, 梁卫敬, 齐 林

(郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 针对多用户 MIMO-OFDM 系统下行链路, 提出一种基于截断广义处理器共享调度算法的资源管理方案, 该方案可以有效满足用户 QoS(速率要求)。该资源管理方案包括两步: 首先对用户进行调度, 根据用户分配权重确定用户需要的子载波数; 其次根据得到的调度信息, 采用基于最优波束成型的子载波分配算法, 为用户分配子载波, 最后形成 OFDM 符号发射。对提出来的资源管理方案进行仿真, 表明该资源管理方案可以满足用户的速率要求, 提高系统的整体性能。

关键词: MIMO-OFDM; 截断广义处理器共享; 服务质量要求; 波束成型

中图分类号: TN912 **文献标识码:** A

0 引言

无线信道的多径效应引起的符号间干扰和有限的频谱资源是未来移动通信系统面临的两个主要挑战。多输入多输出(MIMO, Multiple Input Multiple Output)技术可以在不增加额外的带宽和功率的前提下提高系统容量, 正交频分复用技术(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)可以克服多径衰落引起的符号间干扰。MIMO-OFDM 系统具有有效对抗多径衰落、提高系统性能或容量的特点, 被广泛认为是第四代移动通信系统空中接口的热门方案^[1-2]。但是在 MIMO-OFDM 系统中, 频谱、功率、天线等无线资源是有限的, 必须采用合理的无线资源管理方案, 才能提高频谱利用率、满足不同用户的 QoS 要求以及提高系统性能或容量。

文献[3-4]研究了基于波束成型策略的 OFDM 系统的资源分配问题, 采用最优波束成型的子载波分配算法, 该算法没有考虑用户的 QoS(速率要求)和公平性, 并且利用的空间维度是 1, 系统容量增加不大; 文献[5]考虑了用户的速率要求, 但是子载波分配是迭代进行的, 计算量比较大。笔者提出一种新的资源管理方案, 该资源管理方案先通过截断广义处理器共享(Truncated Generalized Processor Sharing, TGPS)调度算法求出每

个用户满足其速率要求所需要的子载波个数, 然后根据得到的调度信息为用户分配子载波, 该算法满足了用户的速率要求, 并且计算量比文献 5 小很多。

在下一代通信系统中, 接入 Internet 的数据业务变得更多, 则下行链路(从基站到用户)会传输更多的业务^[6], 因此笔者主要研究多用户 MIMO-OFDM 系统下行链路资源管理方案。

1 系统模型

基于波束成型传输策略(BF, Beamforming)的自适应 OFDM 系统下行链路系统框图如图 1 所示。

假定基站(BS, Base Station)有理想的信道状态信息, 基站配置 M_t 根发射天线, 每个移动台配置 M_r 接收天线, 用户数为 K , 每个 OFDM 符号内的子载波数为 N 。

在该系统中, 先用 TGPS 调度确定用户所需带宽。TGPS 是提供公平服务的调度模型, 可以保证各业务流间的公平性、防止资源闲置, 避免给没有业务的用户分配资源; 同时可以根据用户的需求而选取不同的权重, 这样有利于不同业务 QoS 的区分。

系统在满足发送功率限制、误码率要求以及保证用户公平性的条件下, 以系统吞吐量最大化

收稿日期: 2009-08-03; 修订日期: 2010-01-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60702020)

作者简介: 陆彦辉(1972-), 女, 河南许昌人, 郑州大学副教授, 硕士生导师, 主要研究方向是无线通系统资源管理,

E-mail: ieyhlu@zzu.edu.cn.

为目标建立一个优化模型,可以用下面的一组数学公式描述:

$$\max \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N w_n^k c_n^k \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N w_n^k p_n^k \leq P_t \quad (2)$$

$$BER_n \leq BER_0 \quad (3)$$

每个子载波只能分配给一个用户,用布尔变

量 w_n^k 来表示是否将子载波 n 分配给用户 k , 当 w_n^k 为 1 时就表示子载波 n 分配给用户 k , 反之亦然。式中 P_t 是 BS 的总功率, p_n^k 是在子载波 n 上分给用户 k 的功率。其中,

$$c_n^k = \log_2 \left(1 - \frac{1.5 \times p_n^k \times g_n^k}{\sigma^2 \times \ln(5BER)} \right) \quad (4)$$

式中: g_n^k 是用户 k 在子载波 n 上的信道增益。

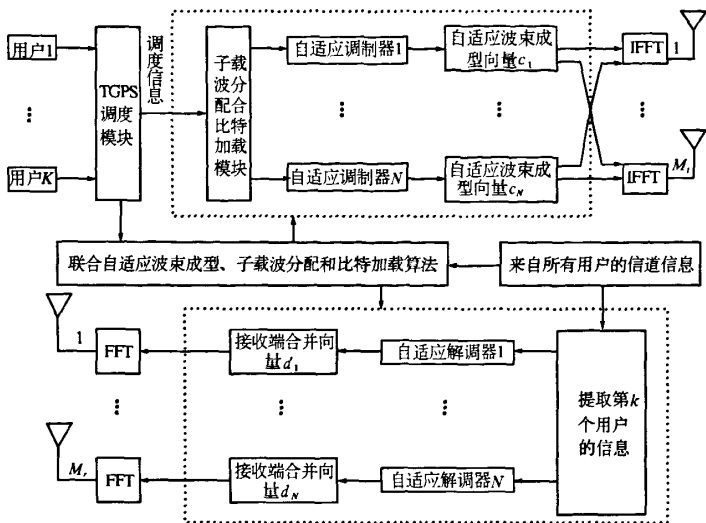


图1 基于波束成型的多用户MIMO-OFDM系统框图

Fig. 1 Transceiver Structure of Multiuser MIMO-OFDM Systems Based on BF

该优化问题其实是一个非线性优化问题,其最优解在现实生活中很难找到,因此一般通过放松约束条件寻求次优解。

2 次优资源管理方案

2.1 平均功率分配

考虑到在使用自适应速率控制的系统中,应用自适应功率分配对系统的性能改善不大,但是算法复杂度却大大提高,因此这里采用平均功率分配,即 $p_n^k = \frac{P}{N}$, 每个用户在所有子载波上的功率相等。则把上述非线性优化问题简化为线性优化问题求解,降低了计算的复杂度。

2.2 TGPS 调度

TGPS 调度通过用户分配权重确定每个用户需要的子载波数,用户分配权重是根据用户的速率要求设置的,并且当用户不需要服务时,就将其得到的资源重新分配。在子载波分配之前,先对用户进行调度可以保证用户公平、高效地共享带宽资源。TGPS 调度算法描述如下。

设所有队列处于积压状态的用户集为 Λ , 当用户完成其分组传输时即离开 Λ 。在某一资源管理周期 m 内,对用户 k 首先分配 $N_{k,m}$ 个子载波:

$$N_{k,m} = \left\lfloor \frac{\varphi_k}{\sum_{j \in \Lambda} \varphi_j} N \right\rfloor, \forall k \in \Lambda \quad (5)$$

定义每个用户的积累量化误差为:

$$\Delta N_{k,m} = \Delta N_{k,m-1} + \left(\frac{\varphi_k}{\sum_{j \in \Lambda} \varphi_j} N - N_{k,m} \right), k \in \Lambda \quad (6)$$

利用(5)式分配后,系统中可能还有一些子载波没有被分配,根据工作连续的原则,未被分配的子载波需要重新分配给一些用户。因此引入一个补偿算法对剩余子载波进行分配。

(1) 选择具有最大积累量化误差的用户:

$$\Delta N_{j,m} = \max \{ \Delta N_{k,m}, k \in \Lambda \} \quad (7)$$

(2) 分配给用户 j 一个未分配的子载波,即使该用户的子载波数增加 1 个,然后使该用户的积累量化误差减 1,剩余未分配子载波数减 1;

(3) 重复步骤(1)和步骤(2),直到剩余未分配子载波分配完毕。

2.3 子载波分配算法

在调度算法确定用户所需子载波数后,根据调度信息为各用户选择最合适的子载波,其原则是充分利用多用户复用效益,采用基于最优波束成型的子载波分配算法。

基于最优波束成型的子载波分配准则是:将第 n 个子载波分配给在其上特征值最大的用户 k ,这个准则可以用公式表示为:

$$w_n^k = \begin{cases} 1, & k = \arg \max (\lambda_{n,\max}^1, \dots, \lambda_{n,\max}^i, \dots, \lambda_{n,\max}^K) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

式中: $\lambda_{n,\max}^i$ 是将子载波 n 的信道矩阵 $(H_n)^H H_n$ 进行特征值分解后的最大特征值。

综上所述,整个资源管理方案分为三步:(1)根据 TGPS 调度决定每个用户需要的子载波数;(2)根据得到的调度信息,采用最优波束成型的子载波分配算法,确定每个用户得到的实际子载波情况;(3)形成 OFDM 符号,并且将 OFDM 符号从分配给它的子载波上传输出去。

3 仿真与分析

设 MIMO-OFDM 系统总带宽 6 MHz,分为 128 个子载波,其中传输用户数据的子载波为 120 个;基站有 4 根天线,每个移动台有 4 根天线,每对发射天线和接收天线之间的衰落信道采用了 IMT-2000 Vehicular A 信道,它是一个六径的 rayleigh 信道模型;系统中共有 3 个用户在等待服务;目标误码率均为 $BER_0 = 1e^{-4}$ 。

首先研究用户吞吐量和用户分配权重之间的关系:

在用户的分配权重分别是 $\varphi_1 = 0.7, \varphi_2 = 0.2, \varphi_3 = 0.1, \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = 1/3, \varphi_1 = 0.4, \varphi_2 = 0.4, \varphi_3 = 0.2$ 、矩阵 $(H_n)^H H_n$ 的最大 $\varphi_1 = 0.1, \varphi_2 = 0.5, \varphi_3 = 0.4, \varphi_1 = 0, \varphi_2 = 0.6, \varphi_3 = 0.4$ 的情况下,分别对提出的资源分配算法进行仿真,得到每个用户的容量与其分配权重之间的关系。仿真结果如图 2~4 所示。

图 2~图 4 分别是 3 个用户的吞吐量随其权重的变化曲线,从中可以看出,当分配给用户的权重不同时,用户的吞吐量就不同,权重越大,用户的吞吐量也就越大,说明该资源分配算法可以通过改变分配给用户的权重大小满足用户的不同速率要求。

将笔者提出的资源分配算法与不采用用户调度的资源分配算法得到的性能作比较,这里与基

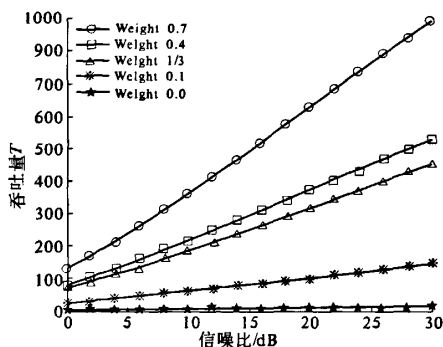


图 2 用户 1 的吞吐量与权重的关系

Fig. 2 The relationship between first user's throughput and its' weights

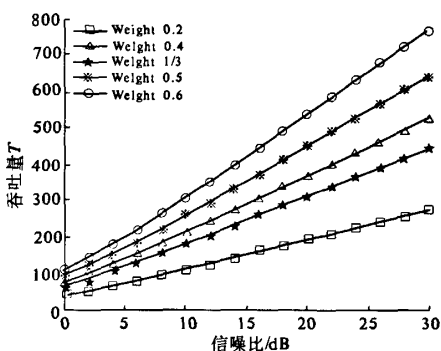


图 3 用户 2 的吞吐量与权重的关系

Fig. 3 The relationship between second user's throughput and its' weights

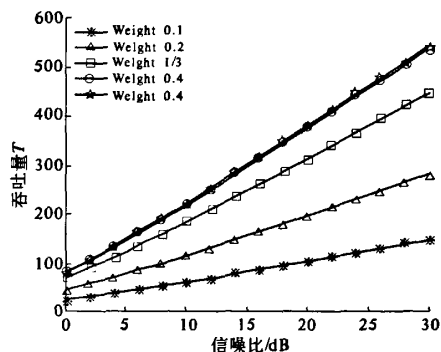


图 4 用户 3 的吞吐量与权重的关系

Fig. 4 The relationship between third user's throughput and its' weights

于最优 BF 的分配算法作比较,验证提出算法的性能。仿真结果如图 5 所示。

图中横坐标是每个 OFDM 符号的平均信噪比,纵坐标是每个 OFDM 符号的系统吞吐量。从图 5 可以看出,提出的资源分配算法得到的系统总吞吐量只比仅采用最优波束成型的频谱分配

法得到的系统吞吐量有稍微的减少,并且在不同的权重下系统吞吐量有所不同,这是因为权重影响子载波的分配。

但是笔者提出的算法可以满足用户的不同速率要求,而最优波束成型的频谱分配算法却没有这种特性,也就是说笔者提出的算法以微小的容量损失换来满足用户不同速率要求的特性,这种系统容量和满足用户速率要求的折衷是可取的。

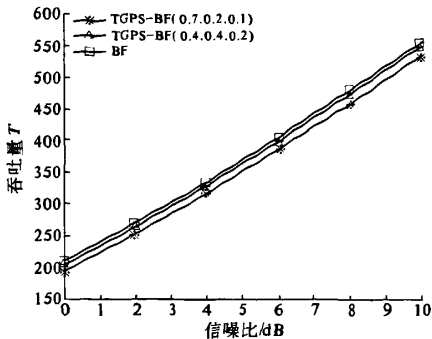


图5 2种方案下吞吐量随信噪比的变化

Fig.5 The change of Throughput with SNR

4 结论

提出一种基于 TGPS 调度的多用户 MIMO-OFDM 系统下行链路的资源管理方案,将 TGPS 调度与基于最优波束成型的子载波分配算法相结合,通过设置不同的用户权重满足用户的速率要求,虽然有少量的容量损失,但是这种代价是值得的。提出的资源管理方案特别适用于承载具有不同 QoS 要求的数据业务的无线通信系统。

参考文献:

- [1] GALDA D, ROLLING H. A low complexity structure for OFDM-FDMA uplink system[C]. In Proc. of the IEEE VTC, 2002, (04):1737-1741.
- [2] TAROKH V, JAFARKHANI H, CALDERBANK A R. Space-time block codes from orthogonal designs[J]. IEEE Trans. on Inform. Theory, 1999, 45:1456-1467.
- [3] HU Z P, ZHU G X, XIA Y, et al. Multiuser subcarrier and bit allocation for MIMO-OFDM systems with perfect and partial channel information[C]. IEEE WCNC, 2004, (2):1188-1193.
- [4] PAN Y H, LETAIEF K B, CAO Z G. Dynamic resource allocation with adaptive Beamforming for MIMO/OFDM system under perfect and imperfect CSI[C]. IEEE WCNC, 2004, (01):93-97.
- [5] 肖啸,朱光喜,刘建,等.基于波束成形的多天线 OFDM 系统中的资源分配[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2007, 35(6):23-26.
- [6] CAI J, SHEN X M, MARK J W. Downlink resource management for packet transmission in OFDM wireless communication systems[J]. IEEE Transactions Wireless Communications, 2005, 4(4):688-1703.
- [7] PAREKH A K, GALLAGER R G. A generalized processor sharing approach to flow control in intergrated services networks: the single-node case[J]. IEEE/ACM Transaction on Networking, 1993, 1(6):44-357.
- [8] 张金荣,王东,曹长修,等.一种空间相关的 Nakagami-m 衰落下 MIMO-OFDM 系统误码率计算方法[J]. 郑州大学学报:工学版, 2007, 28(2):73-76.

Resource Management for Multiuser MIMO-OFDM Systems Based on TGPS Scheduling

LU Yan-hui, LIANG Wei-jing, QI Lin

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: A downlink resource management scheme based on truncated generalized processor sharing scheduling for multiuser MIMO-OFDM systems is proposed. This scheme can satisfy the QoS(Rate Request) of user efficiently. This resource management scheme includes the following two steps: (1) To define the number of subcarriers for users by using TGPS; (2) When the number of subcarriers for users is given, spectrum resource allocation algorithm based on the Beamforming is used, then the OFDM symbol is transmitted. The simulation Shows that this resource management scheme can satisfy the rate request of users and improve the overall performance of the system.

Key words: MIMO-OFDM; TGPS; QoS; BF