

分布式天线系统中的分组调度算法研究

吴志彪 曹雅春 喻文芳 赵新胜 东南大学移动通信国家重点实验室

【摘要】文章研究了分布式天线系统中的分组调度算法,通过计算机仿真,模拟了轮询、最大载干比和正比公平调度算法在分布式天线系统下行信道中的吞吐量和时延性能,指出正比公平调度是一种适合于分布式天线系统的调度方法。

【关键词】分布式天线系统 分组调度 轮询调度 最大载干比调度 正比公平调度

1 引言

在移动通信技术的发展过程中,为了解决更高传输速率需求与有限带宽之间的矛盾,人们通过各种途径寻找解决的方法,其中之一就是在移动通信系统空中接口的物理层采用MIMO、OFDM和多载波等无线宽带技术提高用户的峰值传输速率。通常点对点的MIMO系统主

要是指在发送端和接收端本地使用多个天线,在无线网络中,另外还有一种利用多个天线的方式,就是在较大的空间范围内安装多个基站天线,每个基站天线将接收到的移动台信号统一传送到一个中心基站进行处理,而中心基站也可以将信号同时通过多个基站天线发送给移动台,这种利用多个天线的方式被称为分布式天线系统(Distributed Antenna System)。分布式天线系统其实质是一种宏分集方式,它能够有效对抗阴影衰落^[2]。

收稿日期: 2010-12-06

参考文献

- [1] 梁鹏. 手机二维码业务研究[J]. 电信科学, 2006(12): 36-39.
- [2] 祖雄. 基于iPhone嵌入式平台的QR码识别系统[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(14): 3764-3765, 3767.
- [3] 胡孝鹏, 董强, 于忠清. 基于图象处理的QR码识别[J]. 航空计算机技术, 2007, 37(2): 99-102.
- [4] 孙明, 付隆生, 杨信廷, 等. 用于QR自动码识读的图像分析方法[J]. 电子科技大学学报, 2009, 38(6): 1017-1020.
- [5] 赵莉, 张雪峰, 范九伦. 基于混沌序列的数字图像加密算法[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(2): 73-74, 78.
- [6] 张定会, 潘永华, 张兴华, 等. 彩色数字图像的混沌加密和解密方法研究[J]. 通信技术, 2009(1): 245-247. ★

【作者简介】

张定会: 上海理工大学光电信息与计算机工程学院教授, 主要研究方向为: 信号与信息处理, 数字通信, 信息安全等。

郭静波: 上海理工大学光电信息与计算机工程学院硕士研究生, 研究方向为: 信号与信息处理, 信息安全等。

江平: 上海理工大学光电信息与计算机工程学院硕士研究生, 研究方向为: 信号与信息处理, 信息安全等。

2 分布式天线系统建模

分布式天线系统与传统的移动通信系统不同，它由一个移动台（MT）和N个相隔较远的无线接入单元（RAU，Radio Access Unit）构成，RAU通过高速宽带有线网络连接到基站（BTS）。仿真模型的拓扑结构如图1所示：

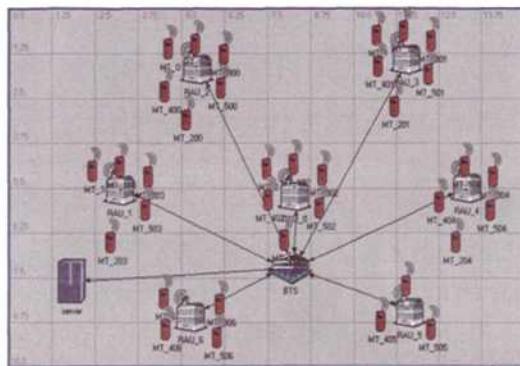


图1 分布式天线系统拓扑结构示意图

以下行信道为例，假设信道满足平坦衰落条件， $x(t)$ 为 $N \times 1$ 的具有零均值单位协方差的发送信号矢量。由于分布式天线系统信道中多个RAU在空间上分别位于不同的位置，因此接收端接收到的信号将与各个RAU到移动台的距离有关。总的接收信号可以表示为：

$$y(t) = H(d)x(t) + n(t) \quad (1)$$

其中 $n(t)$ 是具有独立同分布、零均值单位方差的高斯白噪声； d 是一个 $N \times 1$ 的距离矢量，表示移动台与RAU之间的距离； $H(d)$ 是信道矢量， $H(d) = [H_1(d_1), H_2(d_2), \dots, H_N(d_N)]$ 。

假设接收方已知信道状态，根据文献[3]中经典的MIMO信道容量公式可以推出分布式天线系统下行瞬时容量为：

$$C_{down} = \log_2 \det \left[\mathbf{I}_M + \frac{\Gamma}{N} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \right] \quad (2)$$

其中， \mathbf{I}_M 为 M 维的单位矩阵， $\Gamma = P_r / \sigma_n^2$ 是总的信噪比， \mathbf{H} 是信道矩阵， N 为天线的数量。

3 分组调度算法

无线分组调度算法也被称为PS（Packet

Scheduling）算法。未来的移动通信系统以数据业务传输为主，对数据业务进行资源管理的PS是无线资源管理的重要组成部分，其中快速分组调度算法是提高系统容量的一项关键技术。

无线分组调度算法的功能是判决在什么时间分配给哪些用户什么样的无限资源来进行通信，这里的无线资源包括频率、时间、码道甚至子载波。这种判决是以最大化系统吞吐量为目标，以保证用户间的公平为前提，以确保不同业务流的服务质量要求为基础的。为了讨论的方便，假设所有用户的业务类型都是时延不敏感的数据业务。由于数据业务主要集中在下行链路，所以我们讨论的无线分组调度算法也是针对下行链路而言的。

3.1 轮询（Round Robin）调度算法

其目标是保证用户间的公平，即保证每个用户都能得到一定的服务时间和满足最低时延要求。Round Robin调度的要点如下：

（1）在调度实体中，非空的源队列以循环方式进行服务；

（2）一个用户被再次服务之前，其它非空源队列必须都被服务一次；

（3）因此，当前帧中被服务的用户不能在紧接着的下一帧中继续被服务，除非调度器中只有一个非空源队列；

（4）调度器可以对一个帧中所选定的源队列的数据进行分组。

轮循调度虽然可以保证用户间的公平，但没有考虑无线信道的时变特点，也没有利用无线信道所提供的信息（如载干比值等）。它是一种简单调度算法，难以充分利用系统资源以达到较高的系统容量。

3.2 最大载干比（Max C/I）调度算法

最大载干比调度的目标是获得最大的系统容量和最高的资源利用率，它在每一帧都选择C/I最高的移动台进行服务，使系统能够保持尽可能高的传输速率。Max C/I调度的要点如下：

（1）在调度时刻，所有的非空源队列都按照对应帧传输期间的C/I值进行排序；

(2) 调度器可以一直传输具有最高C/I值的移动台的数据, 直到该移动台数据队列为空, 或者具有更高C/I值的用户数据到来, 或者有更高优先级的重传被调度。

Max C/I调度虽然能够达到较高的系统容量和资源利用率, 但有可能使用户公平性变差, 出现信道条件相对较差的一些用户长时间得不到服务的情况。

3.3 正比公平 (Proportional Fairness) 调度算法

原则上, 系统吞吐量的降低会使公平性有更多的保障, 因此, 必须在两者之间进行权衡。正比公平算法就是在吞吐量和公平性二者之间折中而产生的。在正比公平分组调度算法中, 每个用户被分配一个相应的优先级, 在任意时刻, 小区中优先级最大的用户接受服务。该优先权如下所示:

$$prio_k(t) = \frac{(C/I)_k(t)}{R_k(t)}, k = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

这里 $(C/I)_k(t)$ 指第 k 个用户在 t 时刻的载干比, 而 $R_k(t)$ 指该用户在时隙 t 内的平均传输速率。

显然, 在覆盖多个用户的小区中, 一个用户不可能总是进行通信。这是因为当用户连续进行通信时, $R_k(t)$ 逐渐变大, 从而使得该用户的优先级变小, 无法再获得服务。如果用户信道条件较好, 则该用户的优先级提高; 如果用户信道条件较差, 特别是由于它处于小区边缘, C/I长时间较低, 得不到传输机会, 则其平均传输速率就会减小, 由式(3)可知, 这同样会使其优先级提高并获得传输机会。因而, 正比公平调度算法实现了使系统吞吐量最大化与尽可能保持各用户之间公平性的折中。

4 仿真结果及分析

以上三种典型调度算法之间的吞吐量和延时性能的差别将通过系统仿真得到验证。仿真中采用的业务模型为HTTP业务, 为了提高仿真效率, 假定在整个仿真期间, 一个HTTP业务用户总是在一个呼叫内, 整个仿真期间会话不会结束。仿真采用网络仿真软件OPNET Modeler。OPNET Modeler是当前业界领先的网络技术开发环境, 以其无与伦比的灵活性用于设计和研究通信网络、设备、协议与应用, 它采用分层建模机制和离散事件驱动的模拟机理来描述现实的系统。

仿真模型的拓扑结构见图1。其中包括1个服务器(SERVER)、1个BTS和7个RAU, MT的数量可以根据仿真进行调整。仿真模型的工作原理如下:

(1) SERVER负责根据MT产生的业务请求产生相应数据包;

(2) BTS根据各个RAU和MT的注册信息, 负责将SERVER产生的数据包按照不同的调度算法分发到相应的RAU;

(3) RAU负责把从BTS来的数据包转发给MT;

(4) MT发起业务请求并接收分组数据包。

仿真参数如下: 载波的频率为2.0GHz; RAU的最大发射功率为20w; MT的最大发射功率为0.2w; 分组调度以时隙5ms为单位。将系统吞吐量和端到端时延作为统计量的性能指标来对不同调度算法的性能进行分析比较。

图2所示曲线是系统吞吐量累积分布曲线, 表明了轮询调度(DAS-RR3)、最大载干比调度(DAS-CI3)和正比公平调度(DAS-PF3)三种调度算法的吞吐量性能。从图中可以看出, 最大载干比调度获得的吞吐量最大, 轮询调度获得的吞吐量最小, 正比公平调度所获得的吞吐量介于两者之间。这表明最大载干比调度有最佳的吞吐量性能, 轮询调度的吞吐量性能最差, 而正比公平调度的吞吐量性能介于两者之间。

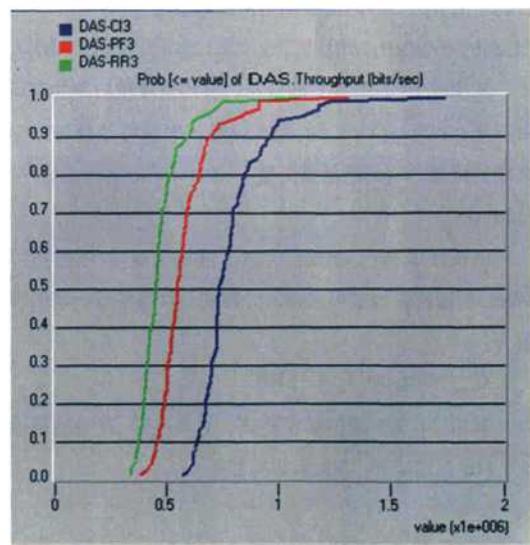


图2 系统吞吐量示意图

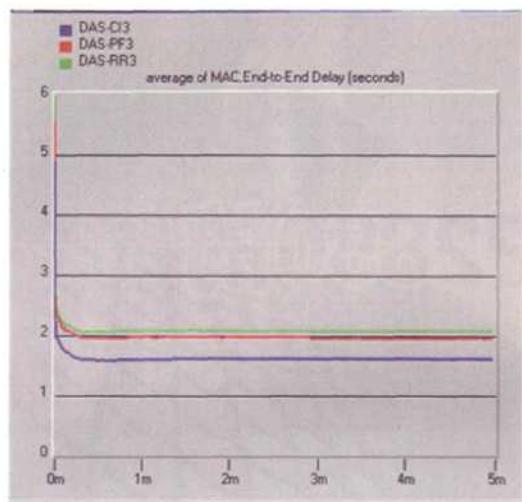


图3 系统的端到端时延

图3给出了三种算法的平均的数据包端到端延时比较。从图中可以直观地看到,最大载干比调度的数据包端到端延时最小,而轮询调度和正比公平调度的数据包端到端延时差别较小。从延时性能上看,最大载干比调度最好,而轮询调度与正比公平调度较差。

5 结论

综上所述,最大载干比调度由于能够在每一个时隙都选择信道条件最好的用户以最大速率进行传输,因此是一种满足系统吞吐量最大准则的调度方式,具有系统吞吐量最大的优良性能,而且其时延性能较好。但由于其完全不考虑用户的公平性,因此也是一种公平性最差的调度方式。轮询调度和最大载干比相反,它并不考虑用户信道质量的好坏,以循环的方式将传输时隙平均分配给所有用户,因此是一种公平性最好的调度方式,但缺点是获得的系统吞吐量较低。正比公平调度既利用了用户信道质量的差异信息来提高系统吞吐量,也保障了每个用户获得与其信道质量相适应的传输速率;它既具有比较高的系统吞吐量,也提供了较好的用户公平性保障,是一种适合于分布式天线系统的调度方法。

参考文献

- [1] 赵新胜,鞠涛,尤肖虎. 一种用于B3G移动通信系统的无线资源管理方法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2004, 34(6): 715-719.
- [2] 倪志,李道本. 一种分布式多入多处(MIMO)信道的容量研究[J]. 电路与系统学报, 2004, 9(2): 22-26.
- [3] Foschini G J, Gans M J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas[J]. Wireless Personal communication, 1978, 6(3): 311-335.
- [4] 张辉,陈明. HSDPA系统中分组调度方法的性能比较[J]. 通信技术, 2002(11): 62-64.
- [5] Yixin Cao, Li V O K. Scheduling algorithms in broadband wireless networks[C]. Proceedings of the IEEE, 2001, 89(1): 76-87.
- [6] Yongboon Choi, Youngnam Han. A channel-based scheduling algorithm for CDMA2000 1x EV-DO system[C]. Wireless Personal Multimedia Communications, 2002: 621-625. ★

【作者简介】



吴志彪: 硕士毕业于东南大学无线电系, 现在东南大学移动通信国家重点实验室, 主要从事无线通信方面的研究, 并跟踪国内外无线通信领域的技术发展状况。

曹雅春: 本科毕业于东南大学无线电系, 现在东南大学移动通信国家重点实验室, 主要从事无线网络方面的设计、研究和仿真分析。

喻文芳: 硕士毕业于西北工业大学, 现在东南大学移动通信国家重点实验室, 主要从事无线传输方向的预研工作。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>