

## LCR TDD 系统中关键技术对分组数据业务的影响

崔杰 刘淑慧 常永宇 杨大成  
(北京邮电大学 93#信箱 北京 100876)

**摘要:** 该文研究了 LCR TDD 系统中先进的 RRM(无线资源管理)算法及其它关键技术对分组业务的影响,提出了一种基于速率预测的正比公平算法,通过动态系统级仿真得出结合智能天线(SA)或联合检测(JD)的不同调度算法对于数据业务吞吐量的改善,并横向对比了以上关键技术分别对于系统性能提升的作用。最后通过对仿真结果的评估,可以发现采用联合检测与智能天线相结合,并使用新的 RRM 算法不仅能够保证服务用户的公平性,而且对处于交叉时隙的分组数据用户的吞吐量的改善也是很明显的。

**关键词:** 调度算法; 智能天线; 联合检测

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)11-2556-05

## Impact of Key Techniques on Packet Traffics in LCR TDD Systems

Cui Jie Liu Shu-hui Chang Yong-yu Yang Da-cheng

(Beijing University of Posts and Telecommunications P.O. Box 93, Beijing 100876, China)

**Abstract:** Key techniques and the advanced RRM (Radio Resource Management) algorithms in LCR TDD systems are researched in this paper. An scheduling algorithm based on rate-prediction is proposed. In order to compare these technique functions, different scheduling strategies combined with SA (Smart Antenna) or JD (Joint Detection), which improve the throughput of packet traffics are simulated in dynamic system layer simulation. As some curves are obtained, new RRM algorithm with both SA and JD can not only balance the opportunity of all users, but also keep the throughput of users in cross slots at a high level.

**Key words:** Scheduling; Smart Antenna (SA); Joint Detection (JD)

### 1 引言

随着 3G 高速率分组业务的激增,用户所需要的带宽以及整个通信系统的容量也必须得到相应的提升,而这与有限的频谱资源之间无疑存在着矛盾。LCR TDD 系统通过采用智能天线和联合检测技术,能够有效地对抗衰落和干扰,从而提高了频谱利用率<sup>[1, 2]</sup>。通过这 3 种技术的紧密结合,将对出于复杂信道环境的系统给予有力的补偿,并能够降低交叉时隙的干扰。

由于 LCR TDD 不仅是一个干扰受限的系统,还是一个资源受限的系统。速率预测(下行)是指移动台将当前所处的信道状况反馈给基站,基站端通过相应的算法及门限判决,为用户分配相应的数据速率;这样能够实时根据信道变化,调整相应数据速率的大小,避免系统资源的浪费,提高频谱利用率。由于以前的研究大部分都是基于链路级,无法评估关键技术对整个通信系统容量的改善,本文通过对系统级的仿真,分析了智能天线技术以及基于 MMSE 的联合检测技术,并对其在对抗干扰和衰落的性能进行了评估。同时提出一种新的调度算法,通过仿真分析此算法在改善资源利用效率上的作用。

### 2 智能天线和联合检测算法

相比于传统的全向天线技术,智能天线通过自适应的波束赋形,能提供更大的增益来达到小区扩展;并且能够对抗多径衰落,完成干扰消除,提高系统容量。智能天线是由一组低增益的天线阵元组成的,一般来说,天线阵元可以以任意方式排列;本文采用  $M$  天线的圆阵进行仿真<sup>[3]</sup>。如果平面波以角度  $\varphi$  到达此天线阵,则可以得到  $m$  号阵元与参考阵元之间的相位差为

$$\Delta\psi_m = \frac{2\pi R \cos\{\varphi + \pi[1/2 - (m-1)/M]\}}{\lambda\{2[1 - \cos(2\pi(m-1)/M)]\}^{-1/2}}, \quad m=2, \dots, M \quad (1)$$

其中  $R$  为圆阵半径,  $\lambda$  表示平面波波长。通过式(1),可以得到导引向量  $\mathbf{a}(\varphi)$  为

$$\mathbf{a}(\varphi) = [1 \quad a_1(\varphi) \quad \dots \quad a_{M-1}(\varphi)]^T, \quad a_m(\varphi) = e^{j\Delta\psi_m} \quad (2)$$

如果服务区内  $N$  个用户的归一化的波形为  $[s_1(t) \quad \dots \quad s_N(t)]$ , 设  $n$  号用户与参考天线阵元之间的信道冲激响应为  $h_n(t)$ , 则  $n$  号用户与第  $m$  号天线阵元之间的信道响应可以表示为

$$h_n^m(t) = e^{j\Delta\psi_m} h_n(t), \quad n=1, 2, \dots, N \quad (3)$$

假设天线阵元间距足够小,使其接收到的信号幅度都是

相等的,则由  $m$  号阵元接收到的来自  $n$  号用户的信号可以表示为(不考虑噪声影响)

$$r_n^m(t) = A s_n(t) h_n^m(t) = A s_n(t) h_n(t) e^{j\Delta\psi_m} \quad (4)$$

$A$  是一个增益常数,为了得到更准确的波形及更高的增益,采用基于 MMSE 准则的自适应波束成形天线,其结构<sup>[4]</sup>如图 1 所示。根据式(2),式(4),可以得到通过自适应天线阵列之后的信号

$$\begin{aligned} z_n(t) &= \sum_{m=1}^M w_m r_n^m(t) = A s_n(t) h_n(t) \sum_{m=1}^M w_m e^{j\Delta\psi_m} \\ &= A s_n(t) h_n(t) w^H a(\varphi) = A s_n(t) h_n(t) f(\varphi) \end{aligned} \quad (5)$$

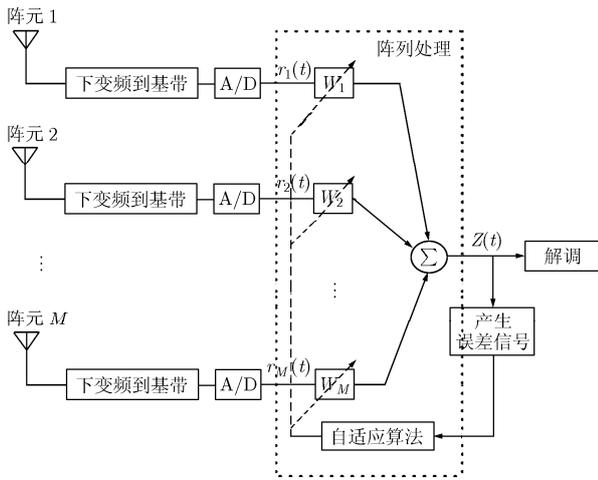


图 1 自适应天线结构

$f(\varphi)$  是阵列因子,通过调整权重因子集  $\{w_m\}$  可以使它的主瓣对准任意方向。为简单起见,考虑理想的波束赋形情况,也就是说,智能天线主瓣始终能够准确跟踪参考用户,而其他干扰用户的 DOA 估计也没有误差,并采用同一套波束图<sup>[5]</sup>进行仿真,如图 2。

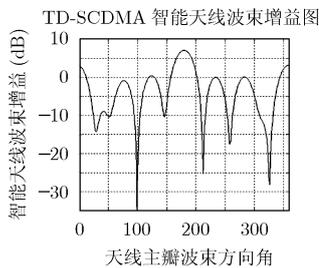


图 2 智能天线波束增益图

联合检测技术源自多用户检测(MUD),能够同时对抗用户间干扰和码间干扰,主要是降低了小区内干扰,增加了小区容量。由于仿真中不考虑器件实现的复杂度,本文采用基于 MMSE 均衡器的联合检测模块。设用户  $i$  的扩频因子队列为  $Q$ ,数据队列为  $M$ ,可以得到扩频码队列和发送数据符号队列为

$$\begin{aligned} \vec{d}^i &= [d_0^i \ d_1^i \ \dots \ d_{M-1}^i]^T, \\ \vec{c}^i &= [c_0^i \ c_1^i \ \dots \ c_{Q-1}^i]^T, \quad i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (6)$$

一般来说,LCR TDD系统采用的下行扩频因子为16,假设信道冲击响应的长度  $W$  是有限值,则多径的响应序列为

$$h^i = [h_1^i \ h_2^i \ \dots \ h_W^i]^T \quad (7)$$

由式(6),式(7),可以计算出预计的信道冲击响应与用户  $i$  扩频码队列之间的卷积

$$b^i = \hat{h}^i * c^i = [b_1^i \ b_2^i \ \dots \ b_{Q+W-1}^i]^T \quad (8)$$

因此可以得到所有用户的接受信号向量为<sup>[6]</sup>

$$\begin{aligned} e &= \sum_{i=1}^N e^i + n = \sum_{i=1}^N \mathbf{H}^i \mathbf{C}^i d^i + n \\ &= \sum_{i=1}^N \mathbf{A}^i d^i + n = [\mathbf{A}^1 \ \mathbf{A}^2 \ \dots \ \mathbf{A}^N] \\ &\quad \cdot [(d^1)^T \ (d^2)^T \ \dots \ (d^N)^T]^T + n = \mathbf{A}d + n \end{aligned} \quad (9)$$

式(9)中  $\mathbf{H}^i \in \mathbf{C}^{(MQ+W-1) \times MQ}$  以及  $\mathbf{C}^i \in \mathbf{C}^{MQ \times M}$  分别指代预计的信道冲击响应矩阵和用户  $i$  的扩频码矩阵。 $\mathbf{A}^i \in \mathbf{C}^{(MQ+W-1) \times M}$  表示用户  $i$  的系统矩阵,  $n$  是方差为  $\sigma^2$  的白噪声。

### 3 调度算法

由于LCR TDD是一个资源受限的系统,所以对于有限码道资源的合理分配也是非常必要和实际的。下面要提出的算法是基于LCR TDD系统速率预测的一种改进的正比公平算法。由于只考虑用户均为分组数据业务的情况,为简单起见,假设用户的实时性要求都是一样的,不区分实时或是非实时业务。一般来说,在LCR TDD系统中,往往采用PCCPCH信道的功率作为信道质量的体现,而普通的正比公平算法也正是基于信道质量和用户公平性的。这相比于基于速率预测的PF算法,就无法体现出用户所处的干扰情况,对调度的精度产生了影响。对于下行速率预测而言,用户会根据下行链路的信道质量及干扰情况,选择相应的数据传输速率进行反馈,基站根据用户推荐的数据速率,结合剩余资源以及负载情况,选择合适的速率进行传输。而用户推荐的数据速率就是信道质量和干扰情况的最好表征,具体用户  $k$  优先级函数如下

$$\text{prio}_k(t) = \frac{\text{DRC}_k(t)}{T_k(t)}, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

其中  $\text{DRC}_k(t)$  是下行速率预测的最大传输速率,  $T_k(t)$  是该用户在以  $t$  为结尾的时间窗口中的平均数据速率。对于LCR TDD系统采用的20ms TTI而言,每个调度周期更新平均速率函数如下式所示

$$T_k(i) = \left(1 - \frac{1}{T_c}\right) T_k(i-1), \quad (11)$$

如果在上一周期用户  $k$  没有被调度上

$$T_k(i) = \left(1 - \frac{1}{T_c}\right) T_k(i-1) + \frac{1}{T_c} \text{DRC}_k(i), \quad (12)$$

如果在上一周期用户  $k$  被调度上

$T_c$  为时间窗口长度, 实际上反映了一个用户对接收不到数据的容忍承受能力。较长的时间常数将允许等待较长的时间直到该用户信道质量变好, 这有利于提高系统的吞吐量, 但可能带来附加的时延。此算法的系统级实现如图3所示。

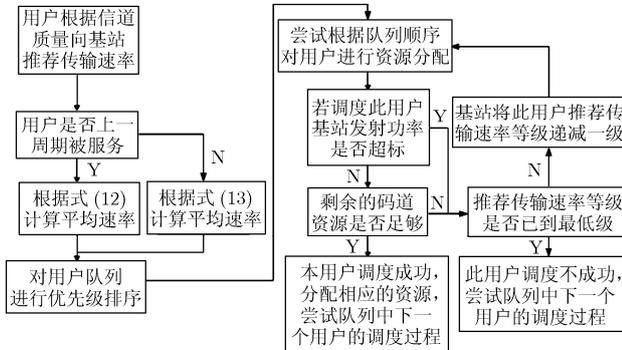


图3 基于速率预测调度算法的系统级流程

### 4 系统 SINR 模型及仿真参数设置

由于 LCR TDD 系统通过时隙分配可以自由地配置为上下行业务分配资源, 也就是能根据小区内的业务类型自适应地改变时隙结构, 从而提高了资源利用率, 并很大程度上增加了系统的容量。但是由于不同小区间可以使用不同的时隙分配, 导致相邻小区交叉时隙的干扰。不同小区在同一个时隙内承载了方向相反的业务, 带来了基站对基站或移动台对移动台的干扰, 使得系统的干扰环境进一步恶化。由于上下行计算 SINR 过程类似, 本文考虑下行业务的情况。

设  $l$  号小区为参考小区, 所以参考用户  $k$  受到来自小区  $l$  内的干扰  $I_{or}^D$  以及来自服务区内其它小区的干扰  $I_{oc}^D$  可以表示为

$$I_{or}^D = \sum_{j=1, j \neq k}^{M_l} (P_j^l \times \text{Pr op}_j^l \times g(\theta_j^l + \delta) \times (1 - \beta)) \quad (13)$$

$$I_{oc}^D = \sum_{i \in N_1, i \neq l} (P_k^i \times \text{Pr op}_k^i \times g(\theta_k^i + \delta)) + \sum_{i \in N_2, i \neq l} \left( \sum_{j=1}^{M_i} P_k^j \times \text{Pr op}_k^j \times g(\theta_k^j + \delta) \right) \quad (14)$$

式(13)中,  $M_l$  是小区  $l$  的所有用户集,  $P_j^l$  是小区  $l$  的基站对于用户  $j$  的发射功率,  $\text{Pr op}_j^l$  是用户  $j$  到小区  $l$  基站的路损和衰落总和,  $g(\theta_j^l + \delta)$  是用户  $j$  与小区  $l$  基站之间的智能天线波瓣增益,  $\theta_j^l$  是用户  $j$  到达角与当前智能天线主瓣方向的夹角,  $\delta$  是智能天线的赋形角度误差(本文理想条件下取值为 0),  $\beta$  是采用联合检测技术带来的干扰消除因子(根据不同联合检测算法获得)。式(14)中,  $N_1$  与  $N_2$  分别代表与小区  $l$  的时隙分配相同和时隙分配不同的小区集合。

根据式(13)和式(14), 可以得到下行用户端的 SINR 为

$$\text{SINR} = \frac{P_k^l \text{Pr op}_k^l g(\delta)}{I_{or}^D + I_{oc}^D + N_0 W} = \frac{P_k^l \text{Pr op}_k^l}{I_{or}^D + I_{oc}^D + N_0 W} \quad (15)$$

其中  $N_0 W$  是噪声功率, 为简单起见, 考虑理想的智能天线

赋形, 所以  $\delta = 0$ , 将波瓣增益做归一化处理, 设主瓣增益为 1, 则  $g(0) = 1$ 。

本文采用系统级的动态仿真来评估每种关键技术性能, 采用.net 2005 实现仿真器设计, 主要有以下模块组成:

服务区模型: 采用宏蜂窝的拓扑结构, 服务区由 19 个小区组成, 采用 Wrap-round 模型<sup>[7]</sup>。

信号传播模型: 由阴影衰落模型, 快衰模型以及路径损耗模型组成。

分组业务模型: 采用在 DSCH 上传输的下行 HTTP 业务。

用户到达模型: 采用泊松分布的动态到达/离去模型, 维持服务区内移动台的动态平衡。

移动性模型: 采用曼哈顿街区模型, 在仿真初始时, 为每个用户随即分配一个运动方向, 之后用户根据是否处于街角, 来进行运动方向的改变。

仿真器中所使用的具体参数配置, 如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

参数	上行	下行
载频		2GHz
对数正态分布的衰落标准差		8.9dB
噪声系数	5dB	9dB
带宽		1.6MHz
热噪声密度		-174dBm/Hz
基站最大发射功率		43dBm
数据用户平均发射功率	21dBm	30dBm
智能天线阵列数		8
联合检测算法		MMSE
可用数据速率等级		144kbps, 64kbps, 12.2kbps
调度算法		基于速率预测的 PF
信道类型		120km/h, outdoor
切换类型		硬切换
速率预测算法		基于信道质量反馈

### 5 仿真结果分析

基于上述设置, 可以在系统级平台中仿真 LCR TDD 系统中分组业务对于关键技术的依赖性。仿真中为简便起见, 不考虑信令交互带来的额外时延, 假设速率预测反馈时延为 0。以小区平均吞吐量作为参考标准, 以动态平衡的用户数作为自变量, 可以得到吞吐量的直观曲线。

由图 4, 图 5 可以看出, 在没有智能天线与联合检测技术的系统中, 由于又有交叉时隙的干扰, 吞吐量普遍降低, 此时最大 C/I 的调度算法能够提升吞吐量, 但是用户公平性较差; 基于速率预测的 PF 算法在用户数不多的情况下, 能够很好地保证吞吐量与公平性; 由于信道质量恶劣, 用户所

处的通信环境普遍较差,而这种算法牺牲了较大吞吐量来保证公平性,随着用户数的不断增加,它与最大 C/I 的吞吐量差距有将近 27%。而当采用了智能天线与联合检测之后,信道质量通过波束赋形技术给予了有力的补偿,在这种条件下,基于速率预测的 PF 算法既能维持较高吞吐量,又保证了用户服务的公平性;同时提升了整个系统的容量。

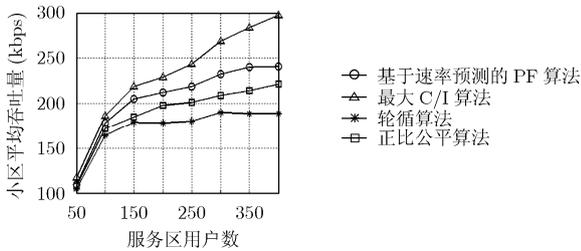


图 4 不带 SA 与 JD 的吞吐量

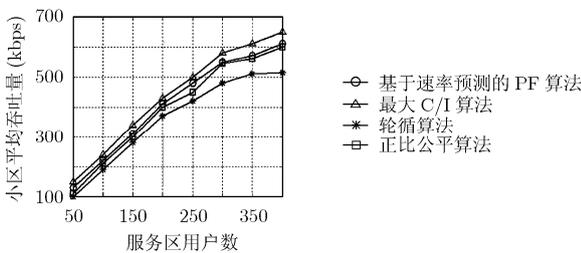


图 5 带 SA 与 JD 的吞吐量

由图 6, 图 7 可以看出,联合检测与智能天线都对系统性能有所提升,但是智能天线的作用更为明显;在有智能天线的保证下,同种调度算法的性能得到很大的提升;基于速率预测的 PF 算法带来的吞吐量与最大 C/I 算法仅差 5% 左右,却保证了更大的公平性。所以,智能天线对于信道的补偿要比联合检测明显,而对于 RRM 算法而言,基于速率预测的 PF 算法,不仅能保证用户的服务公平性,而且在智能天线或者联合检测技术辅助下,能够接近最大 C/I 算法的吞吐量性能。

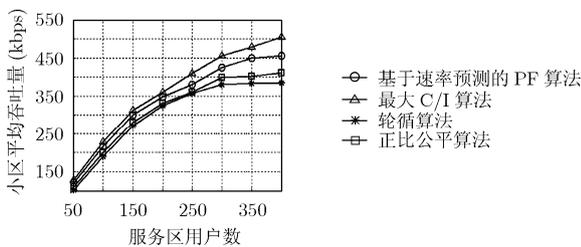


图 6 带 JD 不带 SA 的吞吐量

对于 RRM 的算法而言,都更加依赖于智能天线带来的增益,综合以上曲线可以看出,当用智能天线进行信道补偿时,正比公平算法与基于速率预测的 PF 算法性能基本持平。

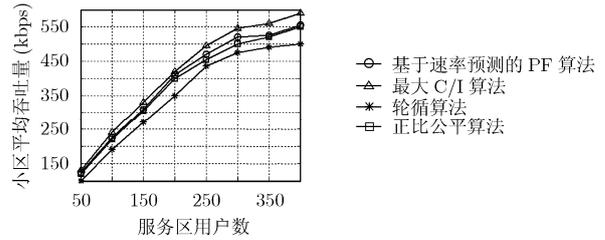


图 7 带 SA 不带 JD 的吞吐量

如前面所述,基于速率预测的 PF 算法比普通正比公平算法的优点在于,能根据用户的信道及干扰状况,以特定的数据速率尝试调度,这样能提高资源的利用率,也同时降低了丢包率。从以上曲线可以看出,智能天线由于很好地补偿了信道的衰落以及消除了用户的干扰,这样即使没有速率预测的正比公平算法,也基本能够降低丢包率,维持吞吐量。而在没有智能天线的情况下,基于速率预测的 PF 算法因为使用了更准确的反馈信息,所以性能要明显强于普通正比公平算法。

## 6 结束语

本文研究了 LCR TDD 系统中关键技术对于分组业务吞吐量的影响,分析了智能天线以及联合检测技术的实现结构,在原有的 RRM 算法基础上,提出了一种基于速率预测的正比公平算法,并对其性能进行仿真。通过对以上几种关键技术的组合应用,可以得到不同种技术之间相互依赖的关系;特别是 RRM 算法在有智能天线与联合检测共同保证的基础上,能够达到非常理想的吞吐量和公平性性能,并可以通过灵活的分配资源方案,避免交叉时隙的干扰。

本文考虑的是理想情况的关键技术,下一步也可以通过增加智能天线的赋形角度误差,联合检测的 DSP 误差,RRM 算法中速率预测的用户反馈差错,以及包括基于速率预测时反馈带来的额外时延等来深入研究现实环境下,几项关键技术对于 LCR TDD 系统性能的影响。

## 参考文献

- [1] Ye Weichen, Bar-Ness, and Haimovich A M. Usage of adaptive beam-forming antenna for cancelling neighboring base-station interferences in wireless CDMA communications. IEEE Signals, Systems & Computers, 1997 Conf. Record of the Thirty-first Asilomar Conf., Pacific Grove, CA, USA, Nov 1997, Vol. 1: 640-644.
- [2] Sud S, Myrick W L, and Goldstein J S. Joint space-time adaptive filtering for DS-CDMA systems with antenna arrays based on the multistage Wiener filter. ICC'03. IEEE International Conference on, Communications, Chantilly, VA, USA, 2003, Vol. 4: 2335-2339.
- [3] Mitjana E, Song Xiaoqin, Lu Lixin, Haardt M, Gessner C, Lehmann G, and Vollmer M. Performance of adaptive

- beam-forming antenna in LCR TD-CDMA system. Communication Technology Proceedings, 2000. WCC - ICCT 2000. International Conf., Beijing, China, Aug 2000, Vol. 1: 152-155.
- [4] Liberti J C and Rappaport T S. Smart Antennas for Wireless Communications IS-95 and Third Generation CDMA Applications. 1st edition, Prentice Hall PTR, 1999: 81-86.
- [5] China Communications Standards Association TC5\_WG1\_SWG1\_2004\_114B, Study Report for co-existence of LCR TD-CDMA and WCDMA, Dec. 2004.
- [6] Shi Kai, Serpedin E, Yan Aiguo, and Zvonar Z. Downlink joint detection for LCR TD-CDMA Systems: SNR estimation and active codes detection. IEEE Vehicular Technology Conference, Dallas, US, Sep 2005, Vol. 3: 1519-1523.
- [7] 3GPP TR 25.895 V6.0.0 (2004-09) Analysis of higher chip rates for UTRA TDD evolution (Release 6).
- 崔杰: 男, 1983年生, 博士生, 从事3G及B3G系统技术的研究.
- 刘淑慧: 女, 1984年生, 硕士生, 从事无线资源管理技术的研究.
- 常永宇: 女, 1963年生, 教授, 从事CDMA移动通信系统中的关键技术研究.
- 杨大成: 男, 1951年生, 教授, 从事CDMA移动通信技术研究.