

## TD-SCDMA HSUPA 基于系统 RoT 调度的干扰控制策略

游思晴 张京 王亚峰 杨大成  
(北京邮电大学无线通信中心 北京 100876)

**摘要:** 该文提出了系统 RoT 的概念, 以及利用系统 RoT 进行资源调度的策略, 从而控制 TD-SCDMA HSUPA(High-Speed Uplink Packet Access)技术中小区间干扰水平。在该策略中, 系统 RoT 充分考虑了用户位置信息, 因此在 TD-SCDMA HSUPA 这种“分散”调度模式下也能很好地控制小区间的干扰。由系统仿真表明, 该策略显著改善了系统性能。

**关键词:** HSUPA; HSDPA; RoT; Geometry; 绝对分配指令; 相对分配指令

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)11-2561-04

## A Novel Intercell Interference Control Based on Scheduling for TD-SCDMA HSUPA

You Si-qing Zhang Jin Wang Ya-feng Yang Da-cheng  
(Wireless Communication Center of BUPT, Beijing 100876, China)

**Abstract:** In this paper, system RoT and a novel intercell interference control scheme for TD-SCDMA HSUPA(High-Speed Uplink Packet Access) based on system RoT is presented. The scheme controls the user admission and the resource distribution according to the information of users' geometry. System simulation results proves that this scheme improves the system performance.

**Key words:** HSUPA; HSDPA; RoT; Geometry; Absolute grant; Relative grant

### 1 引言

TD-SCDMA 的技术演进分为两个阶段, 分别为 Release 5 中提出的高速下行分组接入 HSDPA(High-Speed Downlink Packet Access), 以及目前 Release 6 中提出的上行增强技术。

TD-SCDMA HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)的主要目的是在减少上行链路的时延的同时, 提高系统的吞吐量和小区的覆盖范围。而目标 RoT 是关系小区吞吐量和覆盖之间的重要指标<sup>[1]</sup>。所谓的 RoT 是指总接收功率与噪声功率的比值, 这里的总接收功率包括期望的信号和干扰功率<sup>[2]</sup>。当某一个用户的传输功率增加时, 它对别的用户的干扰也将增加, 因此也就引起对系统 RoT 贡献的增加。从以上分析来看, RoT 是系统干扰的重要指标。RoT 的变化主要决定于无线信道的变化, 业务的到达或离去, 传输功率的更新以及用户的移动。在上述几种因素中, 只有用户的数据速率是可控的。许多的调度策略都是通过改变用户的数据速率来控制 RoT 的变化。

TD-SCDMA HSUPA 中为了实现低时延和快速资源分配, 调度和 HARQ 必须靠近空中接口, 因此提出了基于 Node B 的快速调度。这种调度属于“分散”调度, 也就是说每个小区的调度器与其他小区的调度器相对独立, 在调度用户时

没有考虑对其他小区的干扰。因此, 即使对小区内 RoT 进行了严格控制, 被调度的用户对其他小区仍存在严重干扰。

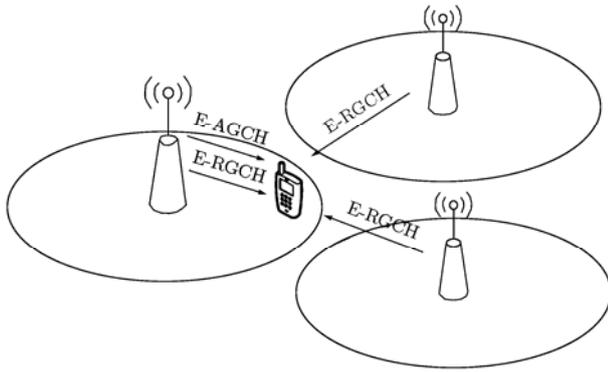
针对 TD-SCDMA HSUPA 小区间严重的干扰问题, 本文基于 TD-SCDMA HSUPA 现有版本信令结构和无线资源管理模块功能划分的特点, 提出了一种新的干扰控制策略, 该策略考虑用户的位置信息, 使用系统 RoT 来控制小区负载。

本文的组织结构如下。第2节介绍 TD-SCDMA HSUPA 干扰控制策略与 WCDMA HSUPA 的异同; 第3节介绍了 TD-SCDMA HSUPA 用户位置信息; 第4节介绍本文提出的干扰控制策略; 第5节给出了系统级仿真条件以及结果; 第6节为文章结束语。

### 2 TD-SCDMA 与 WCDMA HSUPA 干扰控制差异

WCDMA HSUPA 与 TD-SCDMA HSUPA 同样都采用了基于 Node B 的“分散”调度方式。位于各个小区 Node B 的调度器根据 UE 反馈信息做出的调度策略, 很大程度上没有考虑被调度上的 UE 对别的小区的干扰。为了弥补“分散”调度的缺陷, 在 WCDMA HSUPA 中, Node B 通过绝对分配(absolute grant)和相对分配(relative grant)指令完成调度, 控制小区内和小区间的干扰水平<sup>[3]</sup>。如图1所示:

能够采用这种干扰控制策略主要归功于 WCDMA 中采

图1 WCDMA HSUPA 干扰控制策略<sup>[4]</sup>

用的软切换(宏分集)。处于软切换中的终端同时与几个基站通信。当终端处于小区边缘时,为了保证传输的可靠性,必须以较大的功率发送,势必造成对相邻小区的严重干扰。此时,用户除去接收服务小区基站给其发送的绝对分配指令,涉及到的非服务小区也通过相对分配指令影响其传输速率,控制该终端对这些小区的干扰水平。

从以上分析可以看出,WCDMA HSUPA 上行资源分配主要考虑的是基站所能容忍的 RoT 门限,而每个用户分配的功率都是 Node B 所能承受接收总功率的一部分。作为 RoT 很大组成部分的小区内干扰,主要是通过服务小区的绝对分配指令进行控制,而剩余的来自邻小区干扰的 RoT,通过相对分配指令进行一定程度的抑制。

与 WCDMA 不同的是,对于 TD-SCDMA 系统,接收端通过智能天线、联合检测等技术可以消除绝大部分的小区内干扰,所以 RoT 主要来自于小区间干扰。而且,对于 TD-SCDMA 系统,并没有要求软切换,相应的 UE 端也没有必要支持接收多小区的下行控制信令,如: E-RGCH。因而,在 TD-SCDMA 上行增强技术中,没有沿用 WCDMA 中控制小区间干扰的办法<sup>[5]</sup>。

### 3 可用于干扰控制的用户位置信息

基于现有协议版本,在考虑消除 TD-SCDMA HSUPA 小区间干扰时,必须满足两个基本要求:不能要求 Node B 需要检测小区外 UE 的情况,同时 UE 也不需要接收来自非服务小区的指令。

在目前 R6 版本中,Node B 为了能够为各用户分配上行数据传输速率和发送功率,必须知道各用户的业务流队列的状况、位置等信息,这些信息称为 SI。HSUPA 标准采用周期性的方式报告 SI,并将 SI 与分组数据复用,报告周期一般是传输时间间隔 TTI (Transmission Time Interval)的整数倍。因此,Node B 为调度用户分配的功率和速率可视为业务流情况和位置信息的函数。而其中,用户的位置与小区间干扰关系密切。

目前,UE 反馈其位置信息的方式包括全反馈,慢速率的部分反馈和基于 Geometry 的反馈<sup>[5]</sup>。其中,全反馈需要

UE 将它与相邻小区的路径损耗信息全部告知服务小区的 Node B,因此需要占用很大的资源,而慢速率部分反馈在一个 TTI 内,UE 只告知 Node B 该 UE 与部分相邻小区的远近,这将影响干扰控制的准确性。因此,本文使用基于 Geometry 的反馈。

用户  $i$  的 Geometry 定义如下:

$$G_i = \frac{1}{\sum_{j \neq J} \frac{1}{\lambda_{i,j}}} \quad (1)$$

其中位置信息  $\lambda_{ij}$  为用户  $i$  到相邻小区  $j$  的路径损耗与用户  $i$  到服务小区路径损耗的比值。

$$\lambda_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_{iJ}} \quad (2)$$

其中  $L_{ij}$  表示用户  $i$  与相邻小区  $j$  的路径损耗,  $L_{iJ}$  表示用户  $i$  与服务小区  $J$  的路径损耗。

将式(2)代入式(1),可得

$$G_i = \frac{1}{\sum_{j \neq J} \frac{L_{iJ}}{L_{ij}}} = \frac{1}{\sum_{j \neq J} \frac{1}{L_{ij}}} = \frac{P_i}{\sum_{j \neq J} \frac{P_i}{L_{ij}}} = \frac{P_{RiJ}}{\sum_{j \neq J} P_{Rij}} \quad (3)$$

式中  $P_i$  表示用户  $i$  的发射功率。

可见用户的 Geometry 反映了服务小区 Node B 接收到用户  $i$  的功率  $P_{RiJ}$  与该用户到达别的小区 Node B 的功率  $P_{Rij}$  ( $j \neq J$ )之和的比值。

在 Rel-99/4/5/6 版本中,UE 可以通过测量来自不同小区的 P-CCPCH RSCP 获得路径损耗信息。并通过相关的上行信令信道反馈给服务小区的调度器。

### 4 一种基于系统 RoT 调度的干扰控制策略

在 TD-SCDMA HSUPA 中,位于 Node B 的调度器在每个 TTI 开始时,为用户分配功率和速率,主要考虑因数有以下几个方面:UE 上报的缓存情况,缓存中数据较多,分配的速率和功率较大,反之分配的速率和功率较小;RU 资源以及 UE 上报的可用功率资源;小区 RoT 的门限。

其中,小区 RoT 可以看作是上行负载控制参数,用来保证用户服务质量,防止系统过载。这是由于 CDMA 系统上行链路呈现干扰受限特性。

根据 RoT 的定义,可以得到 TD-SCDMA HSUPA 小区 RoT 的定义式:

$$\begin{aligned} \text{RoT}_{\text{cell}} &= \frac{\alpha((1-\beta)P_{\text{intra}} + P_{\text{intre}}) + P_{N_0}}{P_{N_0}} \\ &= \frac{\alpha \left( \sum_{i \in \text{cell}} P_{RiJ}(1-\beta) + P_I \right) + P_{N_0}}{P_{N_0}} \end{aligned} \quad (4)$$

式中  $P_{N_0}$  是噪声功率,  $P_{\text{intre}}$  表示小区间干扰功率,  $P_{\text{intra}}$  表示小区内干扰功率。

$\alpha$  表示智能天线加权因子统计值,由于用户分布以及干扰特征不同,智能天线对小区内每个用户的波束赋形各不相

同; 而 RoT 作为整个小区负载的表征, 不能用特定某一波段图, 只能用统计性增益来表示智能天线对小区内干扰的抑制。

$\beta$  表示联合检测因子, 对于小区内用户, 其接收功率相对于小区间干扰, 对系统的干扰贡献只为原值的  $(1-\beta)$  倍。

因此, 用户  $i$  的实际发送功率为  $P_i$ :

$$P_i = P_{RiJ} \times L_{iJ} \quad (5)$$

从式(4), 式(5)看出, 采用基于小区RoT调度的干扰控制策略, 基站仅仅能够对用户造成的本小区干扰作出控制和调整, 但是由式(4)可以知道, 由于联合检测对小区内干扰的消除, 使TD-SCDMA HSUPA系统负载很大程度上受到小区间干扰的影响。另一方面, 结合式(5)可知, 位于基站的调度器在进行基于小区RoT调度时, 并没有考虑用户位置的影响, 即使用户对本小区负载贡献相同, 离小区越远, 实际发送功率越大, 对相邻小区的干扰也越大。

文献[6]指出, 目前小区间的干扰控制是依赖于RNC的作用, 当某一小区负载超标时, 通过干扰/负载测量信息上报给RNC, RNC经过计算, 针对每个小区的情况发送不同的小区间干扰控制调整指令, 即小区RoT调整指令, 增大或减少每个小区的RoT门限。但是这种方法存在时延较大的问题, 不能根据各个小区的干扰变化及时准确的做出反馈控制。目前基于小区RoT的负载控制机制见图2。

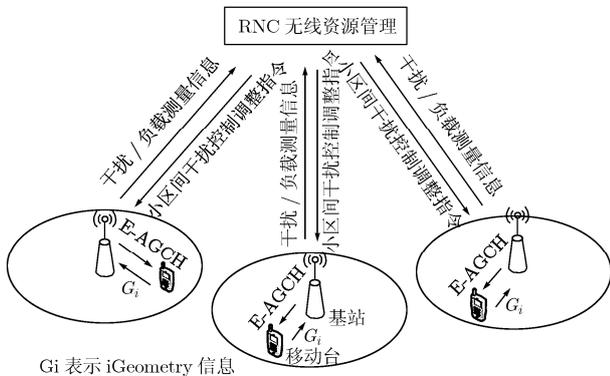


图2 TD-SCDMA HSUPA基于小区RoT负载控制机制<sup>[5]</sup>

正如本文第2节所述, 在WCDMA系统中, 由于软切换的存在和E-RGCH信道的使用, 小区间干扰可以得到较好的控制, 但这两项技术在TD-SCDMA上行增强中都不存在。在仿真中发现, 见第5节图3, 这种负载控制方式下小区内RoT水平的波动范围很大, 小区间干扰基本处于不可控状态, 使得资源分配失误和小区过载现象严重, 造成系统容量巨大损失。因此, 这种基于小区RoT调度的干扰控制, 在TD-SCDMA系统中难以获得理想效果。

为了克服这个问题, 本文提出了系统RoT的概念, 取代小区RoT。系统RoT与小区RoT类似, 是一种负载控制因子, 表征小区内用户对系统造成的总体干扰。

$$\begin{aligned} \text{RoT}_{\text{sys},J} &= \sum_{i \in \text{cell}J} \text{RoT}_{\text{sys},i} \\ &= \frac{\alpha \left\{ \sum_{i \in \text{cell}J} \left[ (1-\beta)P_{RiJ} + \sum_{j \neq J} P_{Rij} \right] \right\} + P_{N_0}}{P_{N_0}} \end{aligned} \quad (6)$$

这里  $\text{RoT}_{\text{sys},J}$  是小区  $J$  造成的系统负载,  $\text{RoT}_{\text{sys},i}$  是小区  $J$  内用户  $i$  造成的系统负载分量;  $P_{Rij}$  是指用户  $i$  对小区  $j$  基站端造成的干扰。

将用户的 Geometry 式(2), 代入式(6), 可得

$$\text{RoT}_{\text{sys},J} = \frac{\alpha \left( \sum_{i \in \text{cell}} P_{RiJ} (1-\beta) + P_{RiJ} / G_i \right) + P_{N_0}}{P_{N_0}} \quad (7)$$

由式(2), 式(7)可知, 当用户处于服务小区基站较远的位置, 用户的Geometry  $G_i$  越小, 对  $\text{RoT}_{\text{sys},J}$  贡献越大, 即对小区间干扰的贡献也就越大。

因此,  $\text{RoT}_{\text{sys},J}$  充分考虑用户位置对小区间干扰的影响, 弥补  $\text{RoT}_{\text{cell}}$  无法精确控制小区间干扰的缺陷。

通过以上公式分析, 基于系统RoT调度的干扰控制策略, 将小区间干扰作为调度资源分配时的一个重要的参考因素, 调度器本身就可以控制小区间的干扰水平。而与前者不同, 基于小区RoT的干扰控制策略, 小区间干扰由RNC统一协调管理, 通过定期发送小区RoT门限调整指令对小区RoT门限进行调整<sup>[5]</sup>。因此基于系统RoT调度的干扰控制策略, 减少了Node B与RNC之间的信令交互的时延, 可以对干扰水平做出及时准确的反应。

综上, 在 Node B 为用户分配资源时, 考虑的因素就变为: UE 上报的缓存情况; RU 资源以及 UE 上报的可用功率资源; 系统 RoT 的门限。其中, 系统 RoT 值由 RNC 的 RRM 功能负责通知每个 Node B 调度器。同时, 各个小区的负载情况由 Node B 测量告知 RNC。

另一方面, 假设用户均匀分布且系统达到满载, 可以知道

$$\sum_{I \in \text{Serv}} \text{RoT}_{\text{sys},I} = \sum_{I \in \text{Serv}} \text{RoT}_{\text{cell},I} \quad (8)$$

这里 Serv 表示服务区小区集合。简单起见, 认为  $\text{RoT}_{\text{sys},I}$  和  $\text{RoT}_{\text{cell},I}$  分别为同分布的随机变量, 那么  $\text{RoT}_{\text{sys}}$  和  $\text{RoT}_{\text{cell}}$  具有相同均值, 即负载控制门限。

同时这种策略, 对于目前协议的改动非常的小, 仍然是由 Node B 完成快速调度, 适合 TD-SCDMA HSUPA 使用。

### 5 仿真条件及结果

本文对基于小区 RoT 和系统 RoT 这两种不同的调度干扰控制策略进行系统级仿真比较, 仿真参数如表 1 所示。

图 3 比较了在相同 RoT 门限值(7dB)下, 基于两种不同调度干扰控制策略, 小区内 RoT 的变化情况, 从图中可以看出, 基于小区 RoT 调度的干扰控制策略由于不能及时准

表1 系统级仿真参数

参数	数值	参数	数值
载波频率	2000MHz	基站接收分集	智能天线
码片速率	1.28Mcps	联合检测因子	0.8
小区模型	19 sites with wrap-around	UE 最大发射功率	24dBm
路损模型	128.15 + 37.6 · lg(d)dB	每个小区的用户数	16
小区半径	500m	上行时隙数	4
阴影衰落标准差	8dB	业务模型	Full Buffer
基站间阴影衰落相关系数	0.5	调度算法	轮询
基站天线增益	11dBi	HARQ	采用最大合并, 最大重传次数为 4
热噪声密度	-174dBm/Hz	信道类型	PB3
基站接收机噪声系数	7dB	功率控制	内环功控和外环功控结合; 内环功控频率为 200Hz

确的控制小区间的干扰, 从而导致小区内的 RoT 波动很大, 并有大约 9% 的概率超过门限值, 而基于系统 RoT 调度的干扰控制策略, 考虑了每个调度上的用户对邻小区的干扰, 因此小区内的 RoT 波动在 1.5dB 范围内, 均值可达 6.5dB, 接近门限值, 充分利用了 RoT 资源。

图 4 比较了在不同 RoT 门限下, 基于两种不同调度干扰控制策略的小区吞吐量, RoT 的门限值由 1dB~10dB 变化, 由于基于系统 RoT 的调度策略比基于小区 RoT 的调度策略更能充分的利用 RoT 资源(如图 3 所示), 基于系统 RoT 的调度策略下的小区吞吐量较大, 大约有 33% 的增益。

## 6 结束语

综上所述, 本文提出了一种基于系统 RoT 调度的干扰控制策略, 该策略充分利用了目前 R6 版本中 TD-SCDMA HSUPA 的信令结构和无线资源管理功能模块划分特点, 克服了基于 Node B 分布式快速调度所带来的小区间干扰较大的问题。由仿真可以看出, 对于受小区间干扰影响很大的

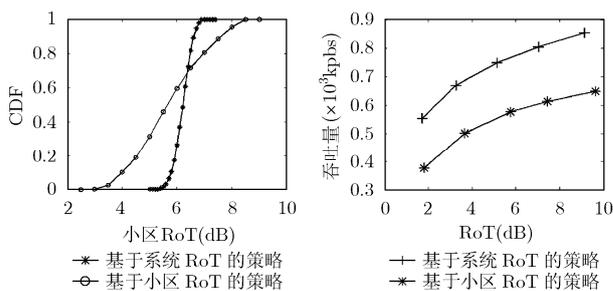


图3 基于系统 RoT 和小区 RoT 调度的干扰控制策略中, 小区内 RoT 的 CDF 曲线

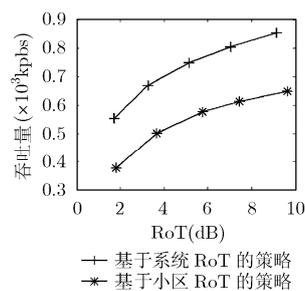


图4 基于系统 RoT 和小区 RoT 调度的干扰控制策略, 系统吞吐量和统计平均系统 RoT 关系图

TD-SCDMA 系统, 基于系统 RoT 调度的干扰控制策略, 提供了显著的系统吞吐量增益。

## 参考文献

- [1] Panasonic. R1-040780—Target RoT control methods for HSUPA. 3GPP Document, 2004.
- [2] Li Shu-peng, Cheng Fang-Chen, and Yuan Yi-fei. Adaptive Frame Switching for UMTS UL-EDCH. Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE Vol.3: 1255–1259.
- [3] 3GPP, TR25808 v6.0.0—FDD Enhanced Uplink Physical Layer Aspects, 3GPP Document, 2005.
- [4] Parkvall S, Peisa J, Torsner J, Sagfors M, and Malm P. WCDMA enhanced uplink-principles and basic operation. Vehicular Technology Conference, VTC 2005-Spring. 2005 IEEE 61st. Vol. 3: 1411–1415.
- [5] IPWireless, R1-050868 — EU-TDD Intercell Interference Control by Scheduling and Text Proposal for TR 25.826, 3GPP Document, 2005.

游思晴: 女, 1982 年生, 硕士生, 研究领域为 TD-SCDMA 及其演进技术。

张京: 男, 1985 年生, 硕士生, 研究方向为 TD-SCDMA 及其演进技术。

王亚峰: 男, 1974 年生, 副教授, 硕士生导师, 主要研究领域为移动通信。

杨大成: 男, 1951 年生, 教授, 博士生导师, 研究领域为移动通信。