

## 一种基于速率控制的反向链路分组数据新传输方案

郑瑜生 张欣 张定业 杨大成  
(北京邮电大学 93 信箱 北京 100876)

**摘要** 该文介绍了在CDMA2000 中反向链路数据传输采取的速率控制机制;然后提出了一种在CDMA2000 1x Release C系统中实现该机制的方案。通过分析和系统仿真可知,该方案有利于提高反向链路的数据吞吐量,又能保持RoT(Rise-over-Thermal)的稳定,而且所需的时延相对于调度方式要小,能较好地适应对时延敏感业务的要求。

**关键词** CDMA2000 1xEV-DV, 速率控制, 集中式调度

中图分类号: TN929.533 文献标识码: A 文章编号: 1009-5896(2006)04-0703-04

## A Novel Rate Control Based Packet Data Transmission Scheme for Reverse Link

Zheng Yu-sheng Zhang Xin Zhang Ding-ye Yang Da-cheng  
(PO Box 93, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract** The rate control mechanism for reverse link of CDMA2000 is introduced, and an implementing scheme in CDMA2000 1x Release C is proposed. Analysis and system simulation show that the scheme can improve the throughput of reverse link with RoT (Rise-over-Thermal) stabilized, and lead to less delay than scheduling mode, which can better meet the requirement for delivering delay-sensitive services.

**Key words** CDMA2000 1xEV-DV, Rate control, Centralized scheduling

### 1 引言

在射频载波和当前的CDMA2000 1x系统兼容的条件下,第三代移动通信系统CDMA2000 1xEV-DV能提供高速的分组数据业务;1xEV-DV系统前向链路的标准<sup>[1]</sup>已经发布,本文主要是对1xEV-DV (Release C) 系统反向链路的数据传输进行探讨研究。第三代移动通信系统除了能提供高速的分组数据业务,并且还需要能适应非实时和实时的各种数据业务类型;为了满足这些要求,对数据传输的控制策略需要根据反向链路的自身特点来设计。反向链路数据传输的关键问题是维持基站端RoT(Rise-over-Thermal)的稳定, RoT的大小体现了反向系统负荷的重轻,见文献[2-6]。通过系统仿真表明,本文提出的速率控制实现方案是能符合这些要求的一种有效控制策略。

本文结构如下:第2节介绍速率控制的基本思想,并提出了一种在1x Release C系统中实现速率控制思想的算法方案;第3节介绍实现方案的仿真平台,给出仿真结果及分析;第4节对全文总结。

### 2 速率控制及其实现

速率控制的基本思想是:数据移动台根据自身的无线链

路状况,需要发送数据时不需要经过速率申请,可以随时选定合适的速率进行传送;移动台选定的速率受到一定条件的约束。在提供高速数据业务的第三代移动通信系统HRPD<sup>[3]</sup>中,反向数据链路的控制就是采用速率控制来实现的。在该系统中,体现出移动台选定的发送速率受到自身的无线链路状况、缓冲区的数据量、所提供小区服务的负荷等条件的约束。在文献[4]中,根据HRPD系统的速率控制思想进行了仿真,在文献[5]中对速率控制的思想有了进一步改进。

CDMA是干扰受限系统,任何干扰的减少都直接转化为系统性能的提高。对于反向链路的数据传输,关键是当移动台在传送时能维持基站端RoT的稳定,为此,基站必须能掌控移动台发送数据的时间、数据量等,特别是数据移动台较多的时候,对它们的管理显得更为重要。单纯的调度算法能解决一些问题,但会有较大的处理时延,必须经历移动台提出速率申请和基站进行速率分配的过程。下面介绍本文提出的实现速率控制思想的具体方案,该方案针对1xEV-DV 中的反向补充信道(R-SCH),在追求高扇区吞吐量的同时,又能兼顾用户间的公平性,其基本流程如下:

(1) 基站在每个控制周期(仿真中控制周期选为10个20ms帧)将所有移动台按优先级由大到小进行排序,对于移动台  $i$ , 它的优先级由下式决定:

$$\text{Pri}[i] = \frac{\sum_{10} C/I[i]}{\sum_{10} T_{\text{put}}[i]} \quad (1)$$

其中  $\sum_{i=0}^{10} C/I[i]$  表示上一个控制周期基站端接收到的反向导频C/I的和,  $\sum_{i=0}^{10} T_{\text{put}}[i]$  表示移动台上一个控制周期数据吞吐量的和。

(2) 基站优先处理高优先级的移动台, 对于优先级为  $k$  的移动台, 在当前控制周期内它选定的发送速率上限  $R_{\text{Limit}}^k$  为

$$R_{\text{Limit}}^k = \min \left\{ R_{\text{max}}^k, \arg \max_R \left[ \begin{array}{l} R | \text{Cav}(j) - \text{load}_j \geq 0; \\ \forall j \in \text{ActiveSet}(k) \end{array} \right] \right\} \quad (2)$$

其中  $R_{\text{max}}^k$  以概率  $m$  取值为本控制周期开始时前一帧移动台数据速率(也就是上一控制周期最后一帧数据传输的速率)的两倍, 以概率  $(1-m)$  取值为本控制周期开始时前一帧移动台数据速率, 本算法中  $m$  取值如表1。

对于特殊情况  $m = 1$ , 表示前一帧速率为0, 则  $R_{\text{max}}^k = 9.6\text{kbps}$ 。其中  $\text{ActiveSet}(k)$  表示移动台  $k$  的激活集,  $\text{Cav}(j)$  为激活集中  $j$  扇区的系统容量,  $\text{load}_j$  为高优先级用户和本用户其它信道的开销, 即  $[\text{Cav}(j) - \text{load}_j \geq 0; \forall j \in \text{ActiveSet}(k)]$  是估算在扣除优先级高的用户和本用户其它信道的开销后, 当前系统负荷下所能允许(即RoT不超标的条件下)分配给R-SCH信道的速率<sup>[7]</sup>。

(3) 基站以帧为周期广播当前系统负荷消息, 用变量  $l$  表示, 它反映了系统基站端的RoT程度<sup>[3-6]</sup>; 当该时刻RoT超过门限时(RoT门限值取值为7dB),  $l = 1$ ; 否则,  $l = 0$ 。

(4) 移动台根据本帧现在的数据传输速率  $R_{\text{current}}^k$  和当前系统负荷情况, 指示下一帧的传输速率  $R_{\text{next}}^k$ : 当  $l = 1$ , 以概率  $p$  取值  $R_{\text{next}}^k = \max(9.6, R_{\text{current}}^k/2)$ ; 以概率  $(1-p)$  取值  $R_{\text{next}}^k = \max(9.6, R_{\text{current}}^k)$ 。当  $l = 0$ , 以概率  $q$  取值  $R_{\text{next}}^k = \min(307.2, R_{\text{current}}^k \times 2)$ ; 以概率  $(1-q)$  取值  $R_{\text{next}}^k = \min(307.2, R_{\text{current}}^k)$ 。 $p$  与  $q$  分别表示系统负荷重时降速率的概率与系统负荷轻时升速率的概率, 取值如表2。

(5) 移动台根据基站在本控制周期内发送的速率上限和在上帧就已经确定的速率指示, 在每帧开始时决定当前的数据传输速率, 下标  $(10 \times i + j)$  表示以帧为单位的系统时间, 即在系统运行到  $(10 \times i + j)$  帧的时候, 移动台选定的传输速率为

$$R_{\text{current}(10 \times i + j)}^k = \min \left( R_{\text{Limit}(i)}^k, R_{\text{next}(10 \times i + j - 1)}^k \right) \quad \forall i, j \in N, 0 < j \leq 9 \quad (3)$$

### 3 仿真结果及分析

#### 3.1 仿真模型

仿真模型所采用的基本方法如文献[8]中所规定的模拟动态仿真方法; 系统级仿真的主要仿真参数如文献[8]中表3.1.2-1所示; 链路级仿真的快衰信道模型如文献[8]中表2.2.1-1所示。在仿真中只有Full-buffer(即移动台的缓冲区中永远有数据等待传输)类型的数据移动台, 数据移动台可能有两条业务信道: 反向基本信道(R-FCH)和反向补充信道(R-SCH), 其中R-FCH信道一直以9.6kbps的速率传输, R-SCH信道则由系统动态分配, 速率大小从9.6kbps到307.2kbps。每个扇区固定撒入10个数据用户, 其位置随机产生, 符合均匀分布。仿真平台采用19扇区wrap-round模型, 物理层没有ARQ机制。仿真运行84000帧, 开始4000帧使系统达到稳定状态, 正式数据统计为80000帧。

#### 3.2 仿真结果

为了衡量本文所提出的速率控制算法的性能, 将其与利用集中式调度算法<sup>[7]</sup>所得出的结果进行比较。需要说明的是, 这里给出的集中式调度算法的结果是没有考虑调度时延的, 即没考虑移动台请求速率和基站分配速率带来的额外时延; 文献[7]的附录A中给出模拟这些额外时延的方法和取值范围。不模拟时延会使集中式调度算法的结果比实际要理想, 因为有了额外的时延, 移动台对数据队列、当前信道条件的估测是较理想的。

(1) 扇区平均吞吐量与系统负荷 图1是在不同的外环功控目标上限下用速率控制算法得出的结果(外环功控目标上限升高表明移动台能进一步调高发射功率)。随着功控目标上限的增大, 系统负荷(RoT)虽然增大, 但平均吞吐量却不是单调递增; 即单从系统吞吐量来看, 这时系统资源的利用率反而下降了, 也就是系统中的干扰增加了, 反而制约了扇区吞吐量的增加。

图2是集中式调度算法和速率控制在不同功控目标门限下扇区吞吐量的比较, 这表明集中式调度算法的平均扇区吞吐量随着外环功控范围上限的增大而单调上升。在系统调度允许, 且能提高一定的发射功率的时候, 集中式调度算法能选出较为合适的移动台, 以较高的速率正确传送数据。速率控制允许大多数移动台自主发送数据, 虽然图1中的RoT曲线显示系统负荷是在增加, 但是互相间的干扰也大, 最终并没有导致正确传送的数据增加, 如图1中的吞吐量曲线呈下

表1 由前一帧决定的转移概率

前一帧速率 (kbps)	0	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6	307.2
$m$	1	15/16	15/16	7/8	3/4	1/2	0

表2 速率转移概率

本帧速率(kbps)	0	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6	307.2
$p$	0	0	1/16	1/16	1/8	1/4	1
$q$	1	1/2	1/8	1/16	1/32	1/32	0

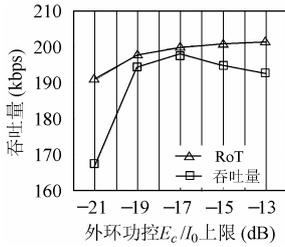


图 1 扇区平均吞吐量和系统平均 RoT

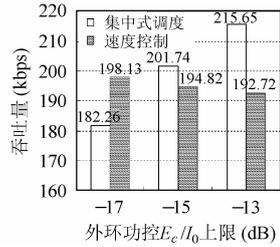


图 2 扇区平均吞吐量对比

降趋势。这是因为集中式调度算法对移动台的信道条件和管理比速率控制算法更准确所引起的，代价就是开销更大，时延也较大。对于在文献[8]中建议的  $-17\text{dB}$  外环功控上限，也就是一般情况下系统选取的值(文献[8]中对于语音用户的外环功控调整范围规定为从  $-26\text{dB}$  到  $-17\text{dB}$ ，实际上外环功控上限一般不能设得过高，这里将外环门限提到  $-13\text{dB}$  是为了更能揭示两种控制方式的特点)，在负荷不超标的条件下速率控制能达到更高的吞吐量。因为在此条件下，速率控制对数据移动台的信道情况估计已经能满足要求，速率控制允许多数移动台在可控的情况下自行发送数据，有利于提高扇区的平均吞吐量。速率控制所需要的系统开销也比集中式调度要低，减轻了系统的负担。

(2)信道误帧率 对R-FCH的功控目标是误帧率(FER)为1%，对R-SCH的功控是采取相对于R-FCH增加导频参考(Pilot reference level)的间接功控<sup>[7]</sup>。在没有物理层ARQ的条件下，图 3 是在集中式调度方式下不同的外环功控门限时 R-FCH与R-SCH信道的误帧情况，图 4 是相对应采取速率控制方式下的情况。两种方式下R-SCH的FER都偏高，主要是由于高速率传输时引起的(如从图 5 中可知，两种方式下以 307.2kbps的速率成功传输的比特百分比几乎为 0)。由上文分析可知，集中式调度时移动台相互间干扰更大，造成比速率控制更高的FER；R-FCH信道虽然是一直保持 9.6kbps的传输速率，由于速率控制下的R-SCH信道对系统的干扰比

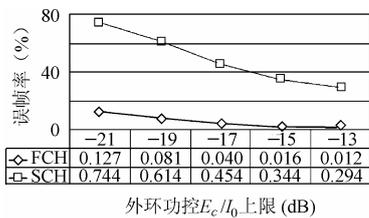


图 3 集中式调度的误帧率

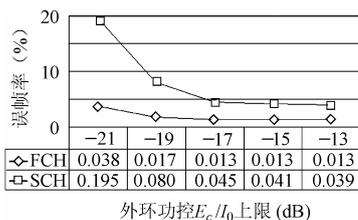


图 4 速率控制的误帧率

集中式调度方式下的 R-SCH 对系统的干扰要小，因而速率

控制方式下 R-FCH 信道的 FER 也比集中式调度时要低。对于速率控制方式，在外环功控上限为  $-17\text{dB}$  的条件下 R-FCH 信道的 FER 基本接近目标值 1%，R-SCH 信道的 FER 约为 5%，符合系统级误帧率的要求。

(3) 时延分析 在对速率控制和集中式调度两种分配资源方法的系统仿真中，都没考虑算法本身带来时延。对于集中式调度算法，文献[7]的附录 A 中给出模拟时延的方法。对于其中的 20ms 帧格式的方法 B，即使能调度上，由调度算法带来的最小额外时延不会小于 38.5ms，即至少 2 帧，估计平均时延达到 4 帧(80ms)。对于速率控制算法带来的延时，主要是由基站处理优先级和广播系统消息产生，用文献[7]附录 A 中提供的数据分析，一般不超过 1 帧(20ms)。集中式调度对信道估计的准确性要比速率控制要求高，其时延又较大，因此，如果考虑了时延的影响，估计对集中式调度影响比速率控制大。对于时延敏感的业务或信道快变的移动台，速率控制算法显得更有优势。

(4) 速率分布统计 图 5 是在两种控制策略下成功传输的比特在各种速率级中所占的比例统计。对于集中式调度方式，主要是以 153.6kbps 的高速率传送；对于速率控制方式，主要以中、低级的速率传送。这表明当信道条件比较好，能进行高速率传输时，而且移动台等待传输的数据足够多的时候，调度算法更适合；当大多数移动台的信道条件一般，不适于高速率时，或等待传输的数据不多，要求的速率是中、低速就能满足时，速率控制策略已经能较好地分配资源，需要的时延和开销也小。反向链路的速率一般低于前向链路，所以用速率控制策略来控制反向链路的传输是比较理想的，例如在外环功控上限为  $-17\text{dB}$  的时候(即通常情况下的外环功控范围上限)，用速率控制得到的吞吐量大于集中式调度下的吞吐量。

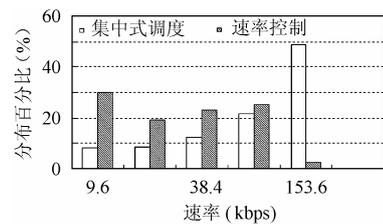


图 5 成功传输比特分布对比

## 4 结束语

前向和反向链路的数据速率一般是不对称的，反向链路的速率通常低于前向速率。在中等速率已经能满足反向链路速率要求的前提下，仿真表明本文提出的速率控制机制能很好地工作；而且由此带来的开销和时延也比调度方式要小。对于个别需要传输大数据量的移动台，并且只有在信道条件较好的情况下，集中式调度算法才更能发挥效应，这时候可以考虑用调度和速率控制相结合的方法来对数据移动台进行监控。本文提出的速率控制机制能维持基站端 RoT 的稳

定, 达到较高的数据吞吐量, 而且由算法本身引起的决策时延几乎可以忽略, 能适应对时延敏感的业务的要求。根据不同的需求, 合理调整算法中的速率转移概率( $m$ ,  $p$  和  $q$ ), 应能灵活地调整资源的分配, 适用于反向链路数据传输的控制。

### 参 考 文 献

- [1] 3GPP2, C.S0002-C\_v1.0.pdf. Physical Layer Standard for CDMA2000 Spread Spectrum Systems, Release C. May, 2002.
- [2] Viterbi A J. CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication. Massachusetts, Addison-Wesley Publish Company, 1995: 199 – 218.
- [3] 3GPP2, HRPD, C.S0024-0\_v3.0.pdf. CDMA2000 High Rate Packet Data Air Interface Specification. Dec. 2001.
- [4] Chakravarty S, Pankaj R, Esteves E. An algorithm for reverse traffic channel rate control for CDMA2000 high rate packet data systems. Global Telecommunications Conference, 2001, GLOBECOM '01. IEEE, Texas, 25-29 Nov, 2001, Vol.6: 3733 – 3737.
- [5] Cho Dong-Ho. An efficient reverse link data rate control scheme for 1xEV-DV system. Vehicular Technology Conference, 2001, VTC 2001 Fall. IEEE VTS 54th, New Jersey, 7-11 Oct, 2001, Vol.2: 820 – 823.
- [6] Chung Young-uk, Cho Dong-Ho. A novel transmission procedure for throughput maximization in 1xEV-DV reverse link. Vehicular Technology Conference, 2002, VTC Spring 2002. IEEE 55th, Alabama, 6-9 May, 2002, Vol.1: 497 – 501.
- [7] 3GPP2, C30-20030414-064R1\_1x-RelC-Sim-Specification\_Rev1 1.doc. IS-2000 Release C Simulation Configuration Specification, Rev. Apr. 2003.
- [8] 3GPP2, C30-20021209-044R3 NOK 1xEV-DV Evaluation Methodology V9.pdf. 1xEV-DV Evaluation Methodology (V9). Dec. 2002.
- 郑瑜生: 男, 1978 年生, 硕士生, 现从事 CDMA 移动通信的研究.
- 张 欣: 男, 1975 年生, 博士, 现从事 CDMA 移动通信的研究.
- 张定业: 男, 1979 年生, 硕士, 现从事 CDMA 移动通信的研究.
- 杨大成: 男, 1951 年生, 教授, 博士生导师, 现从事移动通信系统的研究.