

# 基于 cdma2000 系统的数据传输控制方案的研究<sup>1</sup>

杨 光 杨大成 王文博

(北京邮电大学 93 信箱 北京 100876)

**摘 要** 数据传输控制方案对分组传输时延和系统容量有显著的影响, 该文提出了三种不同的数据传输控制方案, 通过计算机仿真, 比较了它们对系统性能的影响, 得出了相应的结论。

**关键词** CDMA, 数据传输控制, 激活因子, 容量

**中图分类号** TN914.4

## 1 引言

在 cdma2000 系统中, 数据量较大的数据业务采用公共信道接入、专用信道传输的实现方案<sup>[1,2]</sup>。数据传输过程是指数据业务用户完成接入过程后, 根据数据分组到达的情况和获得的物理信道实现数据传输的过程。在该过程中, 不同的控制方案对分组数据业务的时延、物理信道的激活特性都会产生影响, 并进而影响系统容量特性。研究分析这种影响可以使我们能比较不同的控制方案的特点, 为接入 / 接纳控制算法提供依据。

本文提出了几种不同的数据传输控制方案, 结合 cdma2000 系统协议, 仿真比较了它们对数据传输时延和系统容量的影响。仿真研究中采用了物理链路级、数据链路级和系统级等多级仿真相结合的方法, 可以分别评估数据业务在各个协议层次中的性能, 并得到相应的技术方案下的系统综合性能。本文首先讨论数据传输方案对系统性能的影响, 然后提出几种不同的数据传输控制方案, 最后给出相应的仿真结果和结论。

## 2 数据传输控制方案对系统性能的影响

**2.1 对时延特性的影响** 对于变长的分组数据 (如: IP packet), 其非确认模式的端到端时延 (Unacknowledged mode end-to-end delay) 主要由两部分组成, 第一部分是在物理信道上的传输时延, 第二部分是数据在 MAC (Medium Access Control) 层数据队列中等待被装入物理帧 (即适配过程) 所需的等待时延。

在传输控制过程方案中, 若选择高速率的物理信道, 则可以降低物理信道的传输时延, 但另一方面, 则会由于物理帧的长度较大, 为填充一帧的空间而增加等待时延 (适配时延)。反之, 则会引起较大的传输时延。所以, 需要传输控制方案在传输时延与等待时延之间寻求一种折衷的关系。

**2.2 对物理信道激活特性的影响** 由于分组数据的到达具有突发性, 其长度又不断变化, 这些数据适配入物理帧后, 也就造成了物理信道上的物理帧具有了一定的突发特性。这种突发特性与语音业务的话音激活特性相似, 可称为数据业务的激活特性。与语音激活特性不同的是, 分组数据业务的激活与休眠的持续时间都较语音业务的短, 但同样会直接影响 CDMA 移动通信系统的容量。

**2.3 对系统容量的影响** 由于在新一代的 CDMA 移动通信系统中, 下行链路是系统容量受限的主要方向, 所以我们主要研究了系统下行链路的容量情况。

CDMA 系统是一个干扰受限的系统, 其系统容量由整个系统中的干扰电平和基站、移动台的功率动态范围决定。用户的服务质量与用户的载波干扰比 (C/I) 直接对应。这样, 设系统基站的平均发射功率相同, 为  $P_b$ , 则对于某个用户有如下的表达式 (参见 [3]):

$$\frac{C}{I} = (\alpha_f \cdot P_u / L_0) / \left( \alpha \cdot P_b / L_0 + \sum_{i=1}^M P_0 / L_i + N_0 \cdot W \right) \quad (1)$$

<sup>1</sup> 2000-07-14 收到, 2001-01-12 定稿

其中  $P_u$  是基站为该用户分配的功率,  $P_b$  是基站发射功率,  $L_0$  是用户到本基站的传播损耗,  $L_i$  是用户到第  $i$  个相邻基站的传播损耗,  $N_0$  是热噪声功率谱密度,  $a_f$  是业务激活因子,  $\alpha$  是本小区不同用户间的正交因子。

一般情况下, 忽略热噪声的影响, 设  $\gamma$  是基站为某用户分配的功率比例, 则

$$\gamma = \frac{1}{a_f} \cdot \frac{C}{I} \cdot \left( \alpha + \sum_{i=1}^M L_0/L_i \right) \quad (2)$$

对于某特定小区, 设导频等公共信道占用功率比例为  $\beta$ , 则有如下表达式:

$$E \left[ \sum_{j=1}^{N_v} \frac{1}{a_{fv}} \cdot \left( \frac{C}{I} \right)_v \cdot \left( \alpha + \sum_{i=1}^M L_0/L_i \right) + \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^{N_{ds}} \frac{1}{a_{fds}} \cdot \left( \frac{C}{I} \right)_{ds} \cdot \left( \alpha + \sum_{i=1}^M L_0/L_i \right) \right] = 1 - \beta \quad (3)$$

其中  $(C/I)_v$  和  $(C/I)_{ds}$  分别是话音用户和第  $s$  类数据业务用户对应的满足一定服务质量的载波干扰比,  $a_{fv}$  和  $a_{fds}$  分别是话音和第  $s$  类数据业务用户的激活因子, 反映各自的业务激活特性,  $N_v$  和  $N_{ds}$  对应一个小区中的话音和第  $s$  类数据业务用户的数量。

由前面的讨论可知, 对于特定的数据业务, 使用的数据传输控制方案将决定  $(C/I)_{ds}$ ,  $a_{fds}$  等参数。可见, 对于语音、数据混合业务的 CDMA 移动通信系统, 数据业务的数据传输控制方案直接影响着系统中可同时支持的话音和数据用户数。

### 3 不同的数据传输控制方案

数据传输控制方案位于协议层次结构中的第二层(数据链路层)中的 MAC 子层, 数据分组首先进入数据队列, 由控制方案控制进入物理层, 成帧后在物理信道上传输。本节中提出三种数据传输控制方案, 这些方案都是基于 cdma2000 1x 系统的物理层技术的。

3.1 两状态的传输控制方案(方案 1) 我们使用有限状态机(FSM)的方法, 表示传输控制方案。对于两状态的传输控制方案, 其状态转移图如图 1 所示。

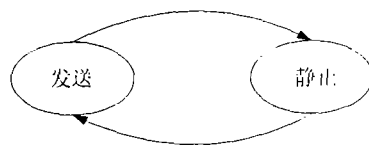


图 1 两状态控制方案示意图

当数据队列中不为空, 且数据包的个数不少于一个物理帧中能容纳的数据包个数时, FSM 处于“发送”状态, 从队列中读出数据包, 适配入相应的物理帧传输。否则, FSM 处于“静止”状态, 等待足够数量的数据包到达。若队列中数据包数量不足以填满一帧, 但等待时间已超过一定门限, 则仍转移至“发送”状态, 一帧中的其余部分用冗余比特填充。

在这一方案中, 我们需要设定的主要参数是物理帧的格式, 因为根据 cdma2000 物理层协议, 不同的物理帧格式, 对应的数据包长度和一帧中的数据包个数都不相同, 这样将直接影响到时延特性和激活特性。

3.2 三状态不同速率的传输控制方案(方案 2) 基于上述两状态的传输控制方案, 从减少等待时延和降低对其它用户干扰的角度出发, 我们提出了三状态的传输控制方案, 其状态转移图如图 2 所示。

该控制方案中由两状态的控制方案中的“发送”状态派生出“全速率”和“半速率”两个状态。这两个状态分别对应两种物理信道传输速率：全速率与半速率，即“半速率”状态下，一个物理帧中可以装入的数据包的个数（设为  $BN_h$ ）是“全速率”状态下个数（设为  $BN_f$ ）的一半。

当队列中数据包个数超过  $BN_f$ ，则 FSM 处于“全速率”状态，采用全速率信道传输。若队列中数据包个数大于等于  $BN_h$ ，但小于  $BN_f$ ，则 FSM 转移至“半速率”状态，采用半速率信道传输。否则，FSM 处于“静止”状态，等待足够数量的数据包到达。若队列中数据包数量小于  $BN_h$ ，但等待时间已超过一定门限，则仍转移至“半速率”状态进行传输，一帧中的其余部分用冗余比特填充。

3.3 三状态不同帧长的传输控制方案（方案 3）为进一步降低等待时延，在上述方案的基础上，我们提出了三状态不同帧长的传输控制方案，其状态转移图 3 所示。

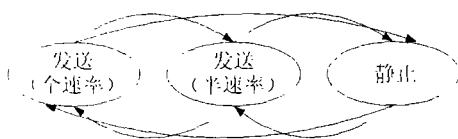


图 2 三状态不同速率控制方案示意图

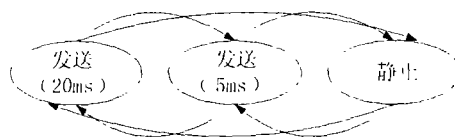


图 3 三状态不同帧长控制方案示意图

该控制方案中把上述方案中的“全速率”和“半速率”两个状态改为“20ms”和“5ms”两个状态。这两个状态分别对应使用两种不同长度的物理帧传输：20ms 长的物理帧与 5ms 帧长的物理帧。设在“5ms”状态下，一个物理帧中可以装入的数据包的个数（设为  $BN_5$ ）是“20ms”状态下可装入的数据包个数（设为  $BN_{20}$ ）的四分之一。

当队列中数据包个数超过  $BN_{20}$ ，则 FSM 处于“20ms”状态，采用 20ms 的物理帧传输。若队列中数据包个数小于等于  $2 \times BN_5$ ，则 FSM 转移至“5ms”状态，采用 5ms 的物理帧传输。否则，FSM 处于“静止”状态，等待足够数量的数据包到达。若队列中数据包数量小于  $BN_{20}$ ，且大于  $2 \times BN_5$ ，但等待时间已超过一定门限，则仍转移至“20ms”状态进行传输，一帧中的其余部分用冗余比特填充。

该方案中的 5ms 物理帧除帧长外，其它特性，如：信道编码、调制解调等都与 20ms 帧一致。

#### 4 系统仿真

针对第 3 节中提出的三种数据传输控制方案，我们分别仿真研究了它们的传输时延特性和对系统容量的影响。

4.1 时延特性的仿真 在数据链路级仿真中，我们根据 cdma2000 的 MAC 层协议<sup>[1-2]</sup>，使用网络仿真软件 BONEs 进行了时延特性的仿真。信源端使用平均数据速率 64kbit/s 的 WWW 浏览业务模型，不同分组间间隔时间服从负指数分布，分组长度服从截短的 Pareto 分布，均值为 480 字节。

分别对两种传输控制方案进行了仿真。其中，对于第 1 种方案，仿真了多组不同的物理信道速率，以便进行性能比较，其结果如表 1 所示。

4.2 对系统容量影响的评估 在系统级仿真中，我们使用自己构造的容量与覆盖仿真平台评估系统性能，该平台使用 C++ 语言、面向对象技术构造，用于评估 CDMA 移动通信系统的容量、频谱效率、覆盖效率等特性。

在此项评估中，我们仿真了 cdma2000 系统 1x 方案的下行链路性能。仿真评估的基本假设如表 2 所示。

表 1 不同方案的时延和激活特性

		平均时延* (ms)	激活因子
方案 1	信道速率 76.8kbit/s	1152	0.84
	信道速率 115.2kbit/s	295	0.56
	信道速率 153.6kbit/s	174	0.53
方案 2**		204	0.33 (全速率) 0.21 (半速率)
方案 3***		151	0.39(20ms) 0.08(5ms)

\* 非确认模式的端到端时延, \*\* 全速率: 153.6kbit/s, 半速率: 76.8kbit/s

\*\*\* 信道数据速率: 153.6kbit/s

表 2 系统级仿真参数

小区配置	36 个全向小区	小区半径	1500m
路径损耗模型	参见文献 [4]	阴影衰落模型	Log-normal $\sigma = 7.5$ dB
系统带宽	1.25MHz	热噪声功率谱密度	-169dBm/Hz
功率控制	理想快速工控	切换	软切换
BTS 发射功率	43dBm	话音业务信道最大功率	30dBm
数据业务信道最大功率	40dBm	话音激活因子	3/8
仿真时长	5s, 从 1s 到 5s 进行数据统计。		

由物理链路级仿真中 (使用 COSSAP 软件工具), 我们根据 cdma2000 的物理层协议<sup>[5]</sup>, 得到不同速率物理信道的目标 C/I 值, 列于表 3。

仿真中在每个小区中都均匀分布若干话音用户和一个数据业务用户, 话音用户的服务等级目标为 95% 的满意率。通过计算机仿真, 我们得到了不同方案及不同参数下的系统容量特性, 如表 4 所示。

综合数据链路级和系统级的仿真结果, 可以发现不同的数据传输控制方案具有不同的时延特性, 并对系统容量特性产生不同程度的影响, 如表 5 所示。

表 3 物理信道的目标 C/I

数据速率 kbit/s 9.6kbps	76.8	115.2	153.6	153.6 (5ms)
目标 C/I(dB) -11.5	-6.7	-5.0	-4.7	-1.6

表 4 系统容量仿真结果

		每小区话音用户数	话音信道的平均发射功率 (dBm)	数据信道的平均发射功率 (dBm)
纯话音业务		21	23.88	
方案 1	数据速率 76.8kbit/s	14	23.82	28.81
	数据速率 115.2kbit/s	12	23.86	30.51
	数据速率 153.6kbit/s	11	23.87	30.81
	方案 2*	13	23.83	30.81
方案 3**		6	23.94	30.81

\* 全速率: 153.6kbit/s, 半速率: 76.8kbit/s, \*\* 数据速率: 153.6kbit/s

表 5 不同方案的综合性能比较

		每小区的话音用户数	平均时延* (ms)
纯话音业务		21	
方案 1	数据速率 76.8kbit/s	14	1152
	数据速率 115.2kbit/s	12	295
	数据速率 153.6kbit/s	11	174
	方案 2**	13	204
方案 3***		6	151

\* 非确认模式的端到端时延, \*\* 全速率: 153.6kbit/s, 半速率: 76.8kbit/s

\*\*\* 信道数据速率: 153.6kbit/s

由表 5 可以发现, 对于两状态传输控制方案, 低的传输时延和相对大的话音容量很难同时实现。在使用该传输控制方案时, 如果服务区内的话音业务需求相对较低, 则可以为数据业务用户提供较低时延的服务。否则, 数据业务用户必须承受较大的传输时延。

对于方案 2, 根据数据队列的长度选择不同速率的物理信道, 则可以在数据传输时延和话音业务容量间寻求一种平衡。在相同的话音业务容量条件下, 可以大大降低数据传输时延。反之, 可以提供较高的话音业务容量。我们认为对于 WWW 浏览这种 Internet 业务, 采用这种可变速率数据传输能取得更好的 QoS 和容量指标。

对于方案 3, 根据数据队列长度选择不同长度的物理信道帧, 由于可以使用帧长较短的物理帧, 增加了由变长的分组到定长的物理帧的适配的灵活性, 所以可以得到更短的数据传输时延。但是由于物理帧长的缩短, 使物理链路级性能下降, 达到同样服务质量所需的载波干扰比大大增加, 这样严重降低了整个系统的容量性能。所以, 为了使数据业务能够获得更好的 QoS 指标, 就必须改进物理层技术, 如采用 Turbo 码, 提高物理层性能指标, 从而在提高数据业务性能的同时, 也可保证系统能够获得较好的话音业务的容量特性。

## 5 结 论

本文基于 cdma2000 技术, 提出了三种不同的数据传输控制方案, 通过计算机仿真比较了其性能。该研究仿真结果可以为系统的设计与实现提供相应的参考。从仿真研究中可以发现, 为使数据业务获得满意的 QoS, 并且使全系统的混合业务性能达到一定要求, 需要具备: (1) 高性能的物理层技术, (2) 灵活的数据链路层控制方案, (3) 合理有效的系统资源管理算法, 并且需要使这些因素有机地结合在一起, 才能使系统获得满意的性能。

## 参 考 文 献

- [1] 3GPP2 C. S0003-A, Medium Access Control (MAC) Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, Dec., 1999.
- [2] TIA/EIA/IS-2000-3-A, Medium Access Control (MAC) Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, Oct., 1999.
- [3] 3GPP Technical Report, 3G TR 25.942, RF System Scenarios, V2.2.1, Dec., 1999.
- [4] UMTS 30.03, Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS, 1998.
- [5] 3GPP2 C.S0002-A, Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems, Dec., 1999.

## THE INVESTIGATION ON THE DATA TRANSMISSION CONTROL SCHEMES BASED ON cdma2000

Yang Guang    Yang Dacheng    Wang Wenbo

(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract** The data transmission control schemes have the significant influences on the packet delay and system capacity. In this paper, three types of data transmission control schemes are presented and their influences on the system performance are simulated. Through the simulation, some conclusions on the feature of these schemes are made.

**Key words** CDMA, Data transmission control, Active factor

杨 光: 男, 1975 年生, 博士生, 研究方向为 CDMA 移动通信系统中的数据业务控制算法。  
杨大成: 男, 1951 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为移动通信。  
王文博: 男, 1965 年生, 教授, 研究方向为移动通信及数字信号处理。