

针对数据业务的上行功控算法以及 QoS 保证¹

陈磊 侯春萍 曹达仲

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

摘要: 该文针对高速数据业务传输速率可变、延迟要求不高等特点,对现有系统在传送高速数据业务时的一些弊端进行了分析之后,提出了一种适合在 WCDMA 中应用的新的上行功率控制方法以及与之相配合的数据传送质量保证措施。仿真实验,新算法有效提高了系统资源利用率,同时还可提高系统在重负载时数据传送质量和新用户的成功接入率。

关键词: 高速数据业务, 功率控制, QoS 保证措施

中图分类号: TN919.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2003)12-1703-06

Up Link Power Control Algorithm and QoS Guarantee to Data Service

Chen Lei Hou Chun-ping Cao Da-zhong

(School of Electronics and Info., Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract After analyzing several abuses of transporting data service in existing WCDMA system, this paper presents a UL power control algorithm and relevant QoS guarantee. The new algorithm utilized some characteristic of data services, such as its controllable transport speed and low delay need. It is verified by emulator analysis that this algorithm can increase efficiently the utility factor of the system resource. At the same time, it also can improve the quality of communication when the system load is heavy and assure higher ratio of access when a new user try to access to system.

Key words High-speed data service, Power control, QoS guarantee

1 前言

在现今的移动通信领域,以 WCDMA, CDMA2000 以及 TD-SCDMA3 种技术为主的第三代移动通信技术已经开始逐步成熟。第三代移动通信系统(3G)与以 GSM, IS-95 为代表的第二代移动通信系统的主要区别之一就是它能在保证语音等传统实时业务正常传输的同时,更好地适应非实时的数据业务的传输。因此如何使数据业务和语音业务在 3G 系统中得到更好的融合便成为一个重要的研究方向。

2 WCDMA 系统上行功率控制算法

在 3GPP 协议^[1]中, WCDMA 系统的上行内环功率控制算法是以基站 Node B 对上行 DPCC 信道中 pilot 比特进行 SIR 测量^[2]为基础的,目的是通过调整上行发射功率来保证测量 SIR 值逼近于事先设定的目标 SIR 值。物理信道的误码率 P_b 的计算公式为^[3]:

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(\sqrt{\text{SIR}}) \quad (1)$$

因此以 SIR 测量为基础的功率控制算法的主要特点是可以较为准确地保证在无线环境中传输的数据比特能保持一个恒定的误比特率。

¹ 2002-07-01 收到, 2003-01-09 改回
深圳华为技术有限公司科技基金资助课题

3 WCDMA 系统中高速数据业务传输质量保证算法及其存在的缺陷

WCDMA 系统承载业务的数据传送速率范围是非常宽的, 可以从几千比特 / 秒一直到 2Mb/s, 而且不同业务的 QoS 要求也往往是不同的。本文中所提到的高速数据业务将局限于具有以下特征的业务: 即非实时的, 有较严格的误码率要求, 传输速率一般较高 (100kb/s 以上) 且可以控制信源数据发送速度的业务, 例如远程文件存取之类的一些业务。

对非实时的高速数据业务来说, 系统可以通过闭环功率控制和出错重传两种机制共同保证数据的传输质量。即首先确定出一个大于业务所要求的最终数据传送质量指标 BER_{tar} 的临时质量指标 BER_{tem} (临时质量指标的确定要考虑到数据的有效传输效率), 理论上存在一个最优的 BER_{tem} 来保证数据的有效传输效率最高, 计算公式如式 (2):

$$\begin{aligned} \eta &= S/N = (E_b \times N')/N \\ &= E_b \times [N \times (1 + BER_{tem} + BER_{tem}^2 + \dots + BER_{tem}^i)]/N \\ &= [E_b(n_0 + I)/(n_0 + I)] \times (1 + BER_{tem} + BER_{tem}^2 + \dots + BER_{tem}^i) \\ &= (n_0 + I) \times SIR \times \{1 + (1/2)\text{erfc}(\sqrt{SIR}) + [(1/2)\text{erfc}(\sqrt{SIR})]^2 + \dots + [(1/2)\text{erfc}(\sqrt{SIR})]^i\} \end{aligned} \quad (2)$$

式 (2) 中, S 表示传输中所消耗的总能量, E_b 为一个比特的能量, N 表示需要传输的数据的比特数, N' 表示实际总共传输的数据比特数 (包括出错重传后的比特), BER_{tem} 表示数据完成一次传输时的误码率, 上标表示 i 次方, n_0 是噪声频谱密度, I 是接收信号总干扰功率, 这样 BER_{tem}^{i+1} 应该等于最终数据传输所要求的误码率, 即

$$BER_{tem}^{i+1} = BER_{tar} = [(1/2)\text{erfc}(\sqrt{SIR})]^i \quad (3)$$

η 为每比特消耗的能量, η 越小, 则说明数据传送的效率越高。根据式 (2) 和式 (3), 便可以计算出使 η 值最小时所需要的 SIR 值以及所对应的数据完成一次传输时的误码率。

然后系统通过功率控制的方法来使数据完成一次传输时的质量稳定在 BER_{tem} , 最后通过出错重传的措施来使数据传送的最终质量达到业务所要求的目标 BER_{tem} 。

但是, 在上行链路中, 采用上述算法有着种种的弊端, 现分析如下:

要增大 SIR 值, 可以通过增大发射功率来提高 E_b 值的方法实现, 但是这会增大对其它用户的干扰, 同时导致系统总干扰功率的增大。当系统中的总干扰功率超过一定的门限值时, E_b 增大对 SIR 值的改善将完全被同时造成的干扰功率的增加所抵消, 这时系统将达到容量极限。这意味着 WCDMA 上行链路的系统容量是由最大允许的上行总接收功率来决定的, 根据参考文献 [3], 当前小区中总干扰功率的计算可以用式 (4) 来表示:

$$I = n_0 + I_{cell} + I_{out} = n_0 + \sum_{i=1}^M \frac{2k_i}{3P_G^i} \times E_b^i + I_{out} \quad (4)$$

其中 I_{cell} 表示由小区内用户造成的干扰, I_{out} 表示由其它小区造成的干扰, M 表示小区中当前所有的业务种类数量 (如果一个用户同时传输多种业务的话, 将这多种业务的组合算作一个新的业务, 这样可以保证一个用户在某一时刻只传送一种业务), k_i 表示小区中传输第 i 种业务的用户数。从 (4) 式中可以看出, 假设由其它小区造成的干扰 I_{out} 和背景噪声 n_0 保持不变的话, 则小区中总干扰功率是由当前小区中不同业务用户的数量以及 E_b , P_G 的值决定的。处理增益 P_G 是由扩频因子 SF 决定的, 而 SF 是由用户数据的传送速率决定的, 因此只有在用户数据的传送速率发生比较大的变化的情况下, P_G 的值才可以调整, 以达到改变小区中的总干扰功

率的目的, 这与通过降低小区中总干扰功率来增加系统容量的初衷相违背了, 因此不能采取减少用户数的方法。另外, 还可以采用调整 E_b 的方法。

E_b 可以通过采用功率控制的方法来调整, 但是如果单纯的通过降低发射功率的方法来降低 E_b , 势必又将影响到数据的正确传输, 也是不可取的。再者, 由于不同业务之间的处理增益 P_G^i 的差别很大, 因此一个低 P_G 用户产生的干扰相当于很多个高 P_G 用户产生的干扰。这样, 如果一个低 P_G 用户的 E_b 发生 1dB 的波动的话, 其对小区中总干扰功率造成的波动影响将远远高于一个高 P_G 用户的 E_b 发生 1dB 的波动时对总干扰功率的影响。可以从图 1 中看出这种差别。

由于受系统容量的限制, 小区中无法同时容纳较多的小扩频因子的用户, 因此不同用户的接收功率的调整无法互相弥补而保证总接收功率的基本不变, 这样可得出当小区中存在高速率业务时上行总干扰功率的变化曲线图 (图 2)。

图 2 中, 为了保证数据的正确传输, 系统必须保证当前小区中的上行总干扰功率不能超过系统所允许的最大干扰功率, 即图中小区可能占用的最大资源必须小于或等于系统所允许的最大容量。否则造成的后果就是图中阴影部分所示的系统资源无法得到有效的利用, 这对宝贵的频率资源来说不能不说是一种浪费。

因此, 为了有效地利用系统资源, 必须想办法保证上行总干扰功率的基本稳定, 即尽量减小图 2 中阴影区域的面积。

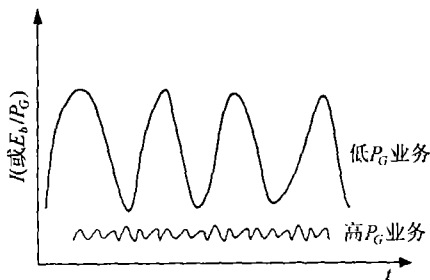


图 1 接收功率波动时高 P_G 用户和低 P_G 用户中总干扰功率的影响

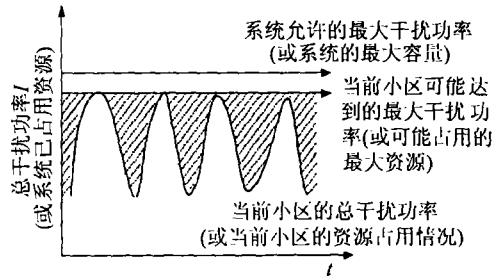


图 2 当前小区中存在高速率上行业务时上行对小区总干扰功率的变化曲线图

另外, 如果采用原始算法, 则系统中数据业务的传送速率将基本保持恒定。但是由于数据业务并不要求实时传输, 因此这种数据传送速率的恒定并不是必要的。造成的后果是: 小区负载较轻时, 系统的资源无法得到有效的利用, 而当小区用户已经达到容量极限时, 系统将拒绝新用户的接入, 即使新用户只会占用很少的系统资源, 而且这些资源是可以通过对某些数据业务的数据传输速率进行调整释放出来的。

4 以总干扰功率 I 的测量为基础的功率控制算法

从前面的分析可知, 如果要提高系统资源的利用效率, 就必须考虑如何使在基站端的接收信号总干扰功率尽量保持恒定, 即如何使基站端的接收信号总功率保持恒定。

根据前面的分析可知, 基站端接收信号总功率的波动主要是由于低 P_G 用户接收信号功率的波动造成的, 假设内环功率控制能理想地发挥作用, 即能保持实际 SIR 值和目标 SIR 值的一致, 这样造成某一条上行链路接收信号功率波动的原因有两个: 目标 SIR 值的波动和以 SIR 测量为基础的功率控制算法的使用。

目标 SIR 值的波动是由于外环功率控制造成的, 如果目标 SIR 值发生了变化, 在内环功率控制的作用下, 实际 SIR 值也将随之变化, 从而造成信号接收功率的波动。外环功率控制的目的是为了使目标 SIR 值维持在一个合理值, 以保证数据的传输质量。对于实时业务来说, 外环功率控制是必要的, 但是对于非实时业务来说, 由于可以通过出错重传、数据传输速率调整等其它手段来灵活地保证数据的传输质量, 因此外环功率控制其实并不是必不可少的。

内环功率控制的目的是保证实际 SIR 值等于目标 SIR 值, 因此在目标 SIR 值固定的前提下, 如果干扰功率 I 发生波动, 为了保证实际 SIR 值的不变, 则接收信号功率 S 必须进行相应的调整, 即造成信号接收功率的波动。

另一个造成小区中总干扰功率波动的原因是小区中用户的增减。

因此, 为了尽量保证小区中的上行总干扰功率保持恒定, 新算法将对在传送高速数据业务的链路中使用的功率控制方法进行调整, 调整后的算法如下:

对于低处理增益 (小扩频因子) 的高速数据业务, 去掉原始算法中的外环功率控制。在内环功率控制中, 采用对基站端的接收信号总干扰功率 I 的测量取代原始算法中 SIR 的测量, 并将其测量值与目标 I 值进行比较, 由此产生下行功率控制 TPC 命令来控制移动台 UE 的上行发射功率, 目标 I 值是事先设定好的经验值, 理论上应该为小区所能承受的最大干扰功率值 (实际中可以根据小区的负载情况进行灵活调整)。从上面的过程中可以看出, 由于小区中测量出来的干扰功率值是统一的, 这样对于所有的高速数据业务来说, 基站 Node B 产生并发送的下行 TPC 比特都是一样的, 这样便可以统一控制小区中所有数据业务的发射功率, 进而控制小区中的总干扰功率, 使之尽可能地维持稳定。

另外, 由于数据的传输质量是和 SIR 值相关的, 新的功率控制算法的采用势必造成 SIR 值的波动, 再加上外环功率控制的取消, 数据将无法正确传输。虽然由于采用新算法的数据业务为非实时业务, 可以通过出错重传来保证数据的正确传输, 但是根据式 (2) 可知, 对于出错重传机制来说存在一个有效数据传输效率的问题。因此如果只凭借出错重传来保证数据的正确性, 则由于 BEM_{tem} 值的波动, 系统将无法保证高速数据业务的有效数据传输效率能始终保持在较高的水平, 这将导致资源的浪费。

为了保证有效数据传输指标 η , 新算法提出的措施是调整 (降低或增加) 信源数据的发送速率, 便可以达到调整数据传送质量指标 BEM_{tem} 的目的, 进而保证数据的传输效率。换句话说, 新算法就是通过调整上行数据的发送速率来保证数据的传输质量的。

整个算法的过程如图 3 所示:

5 新算法的主要优点

(1) 充分利用了系统资源, 更适合数据业务的特点。

采用新算法后, 系统能充分保证数据业务的接入率, 即先接入, 再考虑数据传送速率, 这更符合数据业务的特点。而且, 系统还能根据当前的负载情况合理地安排数据业务的传输速率, 同时还可以有效地提高新用户的接入成功率, 减少因为系统资源被高速率业务独占而出现的拒绝新用户接入的现象发生。

(2) 保证了总干扰功率的平稳, 从而减少了资源的浪费。

采用新算法后, 从理论上分析, 小区中的总干扰功率将保持恒定, 不会出现像图 2 那样的大幅度波动的情况, 这样也就提高了系统资源的利用效率。

6 仿真结果

图 4 是采用原始算法时小区中总干扰功率的波动情况。设新算法中高速数据业务的功率控制步长统一为 $step$, 当 $step$ 分别取 0.1, 0.5 和 1.5dB 时总干扰功率的波动曲线如图 5- 图 7 所示 ($step$ 取 0.25dB, 1dB 和 2dB 时的波动图未示出)。

采用新算法时对不同功率调整步长下总干扰功率的波动幅度进行了统计, 统计公式为

$$W = \left(\sum_{i=1}^N |I_{mea} - I_{tar}| \right) / N \quad (5)$$

其中 W 表示平均干扰功率偏差值, N 表示采样点的个数, I_{mea} 表示在采样点处测量的总干扰功率值, I_{tar} 表示预先设定的目标干扰功率的值, 根据式 (5), 经仿真得到的数据如表 1 所示。

表 1 平均干扰功率偏差值仿真结果统计

内环功率调整步长值 step(dB)	0.1	0.25	0.5	1	1.5	2	原始算法
W (dB)	3.72	2.87	2.83	3.63	4.26	4.97	7.57

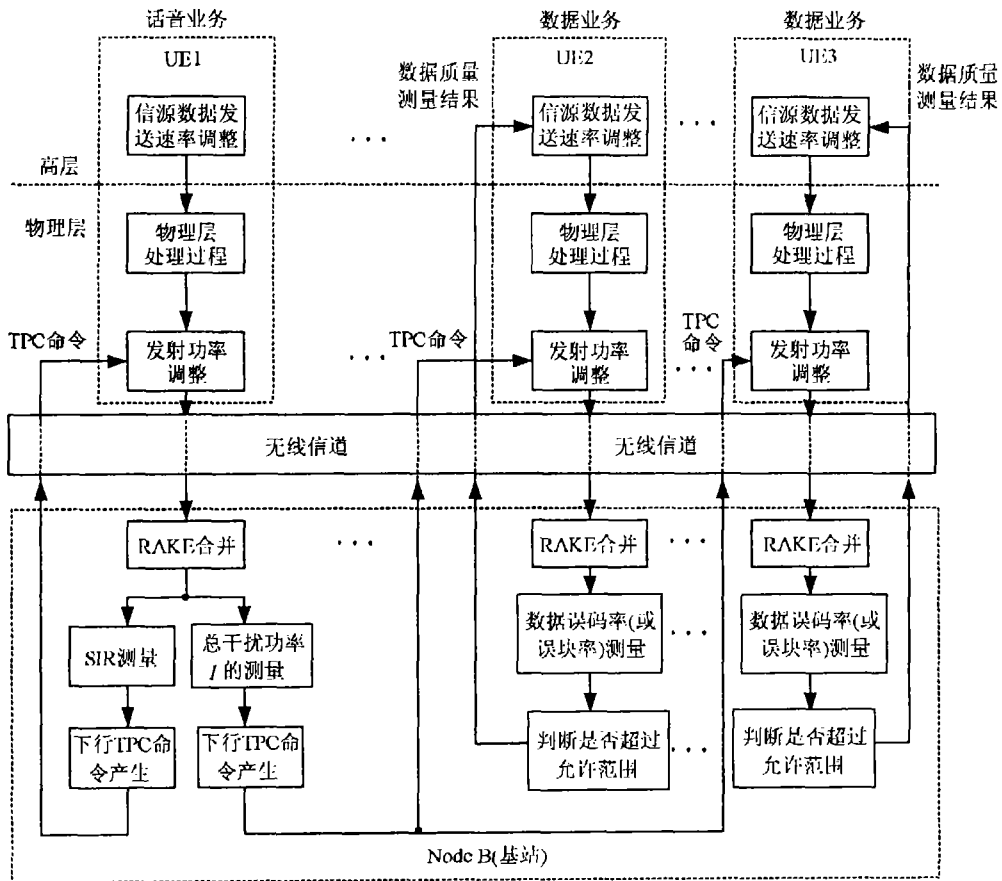


图 3 针对高速数据业务的功率控制算法和质量保证措施

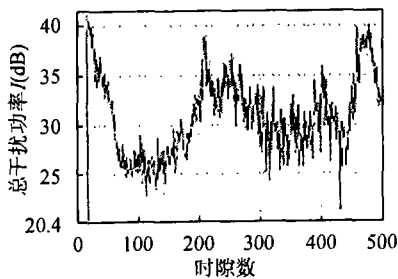


图 4 采用原始算法时总干扰功率的波动曲线图

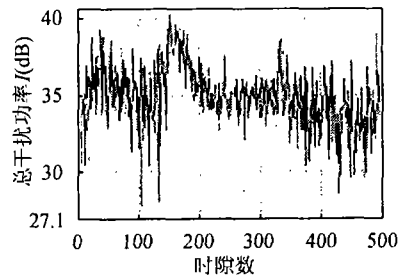


图 5 采用新算法, 功率控制步长为 0.1dB

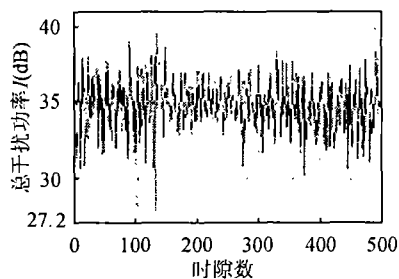


图 6 采用新算法, 功率控制步长为 0.5dB

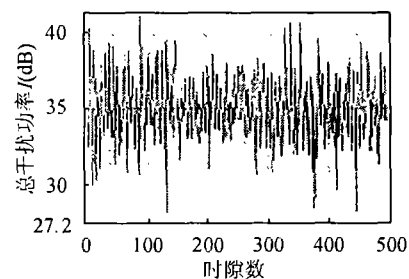


图 7 采用新算法, 功率控制步长为 1.5dB

经对采用原始算法和新算法上行信道中总干扰功率的波动曲线图比较后得出: 新算法基本能使总干扰功率保持稳定, 从而提高了系统资源的利用效率, 很大程度增大了系统的有效容量; 而采用原始算法时总干扰功率的波动比较大, 这样会浪费部分系统资源。

根据表 1 可以得出: 高速数据业务的内环功率控制功率调整步长的大小和小区中总干扰功率的波动情况有关。如果功率调整步长过小, 则无法有效地弥补由于衰落变化造成的功率损失; 而如果功率调整步长过大, 则又会造成功率补偿过量导致干扰功率的波动增大。在本文的仿真条件下, 功率调整步长为 0.25dB 至 0.5dB 时干扰功率的波动最小。

参 考 文 献

- [1] 3GPP WCDMA 协议 25.101, 25.211, 25.212, 25.213, 25.214, 25.331, Release 1999, 2001.9.
- [2] Shunsuke Seo, Tomohiro Dohi, Fumiyuki Adachi. SIR-based transmit power control of reverse link for coherent DS-CDMA mobile radio. *IEICE, Trans. Commun.*, 1998, E81-B(7): 1508-1516.
- [3] Bor-Jiunn Hwang, Jung-Shyr Wu, Yu-Chan Nieh. Improving the performance in a multimedia CDMA cellular system with resource reservation. *IEICE Trans. Commun.*, 2001, E84-B(4): 727-738.

陈 磊: 男, 1976 年生, 硕士, 研究方向为 WCDMA 系统中的功率控制。

侯春萍: 女, 1957 年生, 副教授, 博士后, 长期从事数字移动通信方面的科研和教学工作。

曹达仲: 男, 1941 年生, 教授, 长期从事数字移动通信和 ISDN 等方面的科研和教学工作。