

宽带多媒体 CDMA 系统中的反向 SRA 功率控制算法¹

曹达仲 任 锋

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

摘 要 第三代移动通信系统设计要求支持多媒体通信, 由于各种业务在接收端所要求的业务质量不同, 这就要求系统应根据业务种类进行功率控制. 文章通过功率等价概念的引入, 研究了应用于宽带 CDMA 系统的 SRA (Stepwise Removal Algorithm) 功率控制算法, 并通过算法仿真验证了该算法能在确保各种业务的业务质量的同时提高系统容量.

关键词 功率控制, 功率等价, 系统容量

中图分类号 TN914.5

1 前 言

在第一代和第二代蜂窝移动通信系统中, 通常只有一种业务类型, 即语音业务, 因此在整个系统中传送数据的业务质量 (QoS) 是一致的, 这样可以采用载干比 (或信干比) 平衡的准则进行功率控制. 而第三代移动通信系统要求承载多媒体业务, 如语音、传真、视频和高速数据等. 各种业务的传输速率和所要求的平均误码率是不同的, 所以不能用统一的载干比 (或信干比) 平衡的准则. 因此功率控制算法应该针对所传输的业务类型进行功率控制, 以保证各业务的 QoS. 对 CDMA 系统中的各业务进行功率控制, 一般要遵循两个准则: 一个是每种业务所要求的信干比 (SIR) 不同; 另一个是各种业务的业务优先级不同. 由于多媒体系统中存在多种业务, 那么, 当系统处于重负载或负载动态变化时, 各种业务的业务质量就不能同时得到保证. 另外不同的业务对实时性要求也不同, 因此就应该针对不同的业务设定不同的优先级, 使系统在进行功率控制时首先保证高优先级业务的 BER, 其次再尽量满足低优先级业务的 BER. 本文提出的功率控制策略是: 在保证高优先级的业务在重负载和负载动态变化时的通信质量的同时, 让优先级低的业务有尽可能高的信干比 (SIR).

2 CDMA 系统中多媒体业务的功率等价算法

由于接收端在接收各业务时所需的最低信干比不相同, 这样功率控制算法在进行功率控制时将根据不同的业务采用不同的标准, 从而增加了功率控制的复杂度. 针对此点, 我们采用了文献 [1] 提出的业务等价的概念, 即以语音业务为标准, 将各种业务的发射功率经过适当的变换等效成语音业务的发射功率. 其变换关系式为

$$P_h = P_1 PG_1 (E_b/I_0)_{QR,h} / [PG_h (E_b/I_0)_{QR,1}], \quad h = 2, 3, \dots \quad (1)$$

其中 P_1 为语音业务的功率, P_h 为其它种类业务的功率, PG_h 为第 h 类业务的处理增益, $(E_b/I_0)_{QR,h}$ 为第 h 类业务所要求的归一化信干比 (即业务质量). (1) 式描述了蜂窝系统内存在多种业务类型时功率变化的表达式, 当要分析存在多种业务的蜂窝系统时, 我们可以利用功率变换的概念, 将非语音业务的传输功率等效成语音业务的传输功率. 这样不但会大大降低系统分析的复杂度, 而且还可以直接将第一代、第二代移动系统中的某些研究方法应用到承载多媒体业务的第三代蜂窝系统中.

3 系统模型

假设一个宽带 CDMA 系统中含有大小相等的正六边形蜂窝小区, 小区数为 N . 系统中有 Q 个处于激活态的移动台, 并且移动台在系统中均匀分布. 每个移动台可承载 H 种业务, 但

¹ 2000-04-01 收到, 2000-12-09 定稿
深圳华为技术有限公司科技基金资助课题

为了分析方便，我们设定在某一时刻，移动台只能传输多种业务中的某一种。蜂窝系统带宽为 W (Hz)，第 i 种业务的传输速率和信道传输速率分别为 B_i 和 R_i 。设 $B_0 \leq B_1 \leq \dots \leq B_{H-1}$ ， R_i 与 B_i 有关，也与传输方式有关，这里采用 WCDMA 中的设定，即

$$R_i = \begin{cases} B_i, & B_i < 128\text{kb/s} \\ 128\text{kb/s}, & B_i \geq 128\text{kb/s} \end{cases} \quad (2)$$

系统的传输质量只由各自业务的信干比来度量。同时我们假定系统中任意一对移动台和基站链路的干扰来自其它 $(Q - 1)$ 个用户。基站使用全向天线并位于小区的中心。

我们主要研究反向链路的功率控制算法，前向链路的功率控制算法类同。

图 1(a) 为反向链路的链路增益模型。其中 q, k 表示基站， m 表示移动台， G_{kmq} 表示第 q 个小区中的基站与第 k 个小区中的移动台之间的链路增益。由于 k, m, q 均为变量，使得算法分析的复杂度很大，因此有必要简化链路增益模型。根据一一对应的关系，我们为系统中每个小区里的每一个处于激活态的移动台进行标识，用 i 来表示， $1 \leq i \leq Q$ 。 i 作为移动台的标识是唯一的，可以将 (k, m) 映射为 i ，即 i 表示第 k 个小区里的第 m 个处于激活态的移动台在整个系统中的标号，记为

$$i = \sum_{n=1}^k L_{n-1} + m, \quad 1 \leq m \leq L_k \quad (3)$$

这里 $L_0 = 0, L_n (n = 1, 2, \dots, N)$ 为某一时刻第 n 个小区中处于激活态的移动台数。图 1(b) 为经过 (3) 式转化后的链路增益模型。

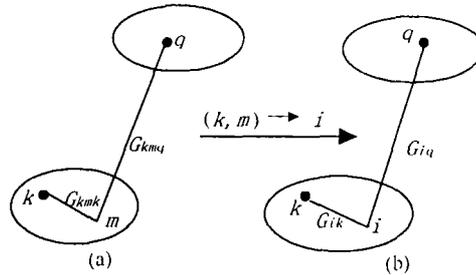


图 1 反向链路的链路增益模型

经过以上变换，我们可以得到蜂窝系统中第 i 个移动台的反向链路的信干比 Γ_i

$$\Gamma_i = P_{i,h_i} / \left(\sum_{j \neq i}^Q P_{j,h_j} \frac{G_{jk}}{G_{ik}} \right) = P_{i,h_i} / \left(\sum_{j=1}^Q P_{j,h_j} W_{ij} \right) \quad (4)$$

这里 W_{ij} 为

$$W_{ij} = \begin{cases} G_{jk}/G_{ik}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (5)$$

P_{i,h_i} 为小区 k 中第 i 个移动台的反向发射功率， h_i 标志移动台所承载的业务类型。

将 (1) 式代入 (4) 式得

$$\Gamma_i = \frac{P_{i,h_1}}{\sum_{j=1}^Q P_{j,h_1} W_{ij}} = \left[P_{i,h_1} \frac{PG_{h_1}(E_b/N_0)_{QR,h_1}}{PG_{h_1}(E_b/N_0)_{QR,h_1}} \right] / \left[\sum_{j=1}^Q W_{ij} P_{i,h_1} \frac{PG_{h_1}(E_b/N_0)_{QR,h_1}}{PG_{h_j}(E_b/N_0)_{QR,h_1}} \right] \quad (6)$$

因为当所承载的业务类型确定时, 相应的处理增益 (PG) 和所要求的归一化信干比 $(E_b/I_0)_{QR}$ 也就确定了, 所以我们令

$$(E_b/I_0)_{QR,h_1}/(PG_{h_1}) = \alpha_i \quad (7)$$

这样我们可以将 (6) 式化简为

$$\Gamma_i = P_{i,h_1} / \left(\sum_{j=1}^Q W_{ij} \frac{\alpha_j}{\alpha_i} P_{j,h_1} \right) = P_{i,h_1} / \left(\sum_{j=1}^Q \Phi_{ij} P_{j,h_1} \right) \quad (8)$$

$$\Phi_{ij} = W_{ij} \alpha_j / \alpha_i \quad (9)$$

4 最佳功率控制算法

由以上讨论可知, Φ_{ij} 是一个 $Q \times Q$ 矩阵, 而且满足文献 [2] 中实现 SRA 功率控制的条件, 因此可以利用 SRA 算法对宽带 CDMA 系统进行功率控制. 其具体实现过程为: (1) 根据蜂窝系统中所有处于激活态的移动台与基站之间的测量信息, 由 (9) 式和 (5) 式确定矩阵 Φ (设处于激活态的移动台数为 Q). (2) 由矩阵 Φ , 根据公式 $\gamma^* = 1/(\lambda^* - 1)$ (文献 [2]) 得到 γ^* , 其中, γ^* 是语音业务信干比, λ^* 是矩阵 Φ 的最大特征值. (3) 如果 $\gamma^* \geq \gamma_0$ (γ_0 是语音业务所需的最小信干比), 则 γ^* 所对应的特征向量 P^* 即为所求的功率向量, 否则令 $Q' = Q$. (4) 在矩阵 Φ 中删除满足以下条件的行和列:

$$r_k = \max \left(\sum_{j=1, j \neq k}^Q P_j \times W_{kj} \right), \quad r_k^T = \max \left(P_k \times \sum_{j=1}^Q W_{jk} \right) \quad (10)$$

由此得到一个 $(Q' - 1) \times (Q' - 1)$ 矩阵 W' . 由 W' 确定 γ^* , 如果 $\gamma^* \geq \gamma_0$, 则 γ^* 所对应的特征向量 P^* 即为所求的功率向量, 否则 $Q' = Q' - 1$, 重复步骤 (4).

通过以上步骤, 我们可以得到 CDMA 蜂窝系统中满足业务质量的功率向量 (这里主要是指的是语音业务).

5 算法仿真及性能分析

5.1 仿真参数设定 小区模型采用正六边形的蜂窝状小区, 小区半径为 5km. 设系统支持三种业务同时通信, 分别为语音、视频和高速数据传输. 根据业务优先级的要求, 我们设定视频业务的优先级高于其它两种业务, 语音业务和高速数据业务的优先级可以根据需要进行设定, 这里我们规定语音业务的优先级高于数据业务. 三种业务的基本参数参照表 1.

表 1 三种不同业务的参数设定

参数	业务类型		
	语音	视频	高速数据业务
$BER_{(QoS)}$	10^{-4}	10^{-5}	10^{-9}
E_b/I_0 (dB)	7	9	13
B (kbps)	9.6	384	64
R_b (kbps)	9.6	128	64
TD	实时	实时	非实时

注: $BER_{(QoS)}$ 为业务所要求的满足服务质量的误比特率; E_b/I_0 为归一化信干比; B 为业务速率; TD 为时延要求; R_b 由 (2) 式得到

传播损耗模型可以表示为传输距离的 m 次幂和遮挡损耗对数的归一化值的乘积 (参照文献 [3])。由于系统容量和运算量的限制, 我们设定每小区视频业务和数据业务的平均用户数各为 1。

5.2 仿真结果 由于每次仿真中用户在各个小区中出现的位置、信道环境都是随机的, 因此我们采用蒙特卡洛方法对实验结果进行分析。图 2 所示为每小区平均用户数和中断概率的关系曲线图。(所谓中断概率, 是指因同频干扰的影响而使得基站期望接收信号的信干比低于预先设定的门限值的概率。)

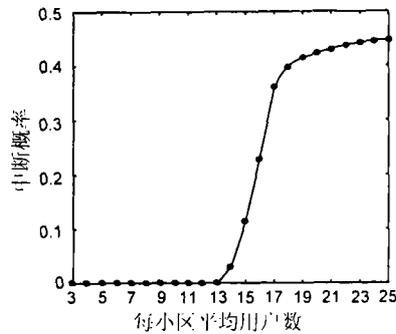
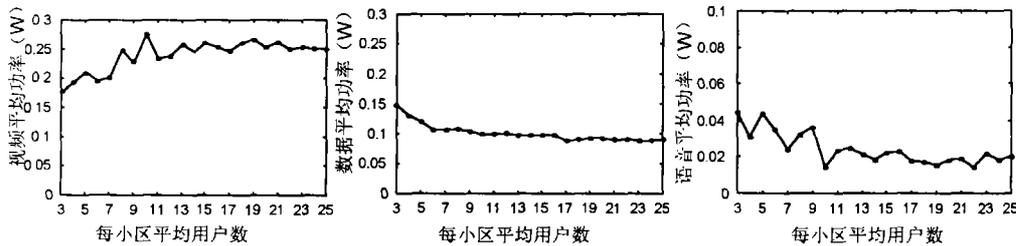


图 2 宽带 CDMA 系统每小区平均用户数和中断概率的关系

由于系统中存在多种业务, 所以各种业务的传输功率随着每小区平均用户数的增加其变化也是不同的 (如图 3 所示)。



(a) 视频业务的平均功率 (b) 数据业务的平均功率 (c) 语音业务的平均功率

图 3 各种业务平均功率示意图

由图 3 可以看出, 由于在视频、数据和语音三种业务中视频业务的业务优先级最高, 所以系统在进行功率控制时首先保证视频业务的业务质量, 即当系统中用户数上升 (也就是总的干扰增加) 时, 视频业务的发射功率也就相应的增加, 而数据业务和语音业务由于其业务优先级较低, 所以当干扰增加时, 其平均发射功率也就相应的降低。这里所说的平均发射功率的降低并不是说所有承载语音 (或数据) 业务的发射台的发射功率都降低, 而是指由于采用 SRA 功率控制算法消去干扰较大的发射台, 以至使平均发射功率降低。其实语音业务和数据业务的业务质量还是得到保证的, 并没有随着平均功率的降低而有所降低。

6 结论

由于 SRA 算法是在 FDMA 系统中抑制同频干扰的最佳功率控制算法, 因此将其经过适当的变换而应用到宽带 CDMA 系统中也会有很好的性能。实验仿真结果表明, 该算法可以随着系

统用户数的变化, 根据不同业务的优先级, 动态地调整各发射台的发射功率, 从而实现宽带多媒体 CDMA 系统的最优功率控制。

参 考 文 献

- [1] J. Zou, V. K. Bhargava, Optimized power allocation for mixed rate traffic in DS-CDMA cellular system, *Electron. Lett.*, 1995, 31(22), 1902-1903.
- [2] J. Zander. Performance of optimum transmitter power control in cellular radio systems. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1992, VT-41(1), 57-62.
- [3] K. S. Gillhousen, M. Jacobs, On the capacity of cellular CDMA system. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1991, VT-40(2), 303-312.

THE BACKWARD SRA POWER CONTROL ALGORITHM OF WIDEBAND MULTIMEDIA CDMA SYSTEM

Cao Dazhong Ren Feug

(*School of Electronics and Information, Tianjin University, Tianjin 300072, China*)

Abstract The design of Generation 3 mobile communication system is required to support multimedia communication. Effective power control is necessary, as different QoS is required at receiving ends for each service. This paper presents SRA (Stepwise Removal Algorithm) algorithm through introducing the idea of power equivalence. It is verified by emulator analysis that this algorithm can increase system capacity while ensuring serving quality of each service.

Key words Power control, Power equivalence, System capacity

曹达仲: 男, 1941 年生, 教授, 硕士生导师, 长期从事数字移动通信和 ISDN 等方面的科研和教学工作。
任 锋: 男, 1975 年生, 硕士, 研究方向为 CDMA 系统中的功率分配和功率控制。