

# CDMA2000 1xEV-DO 反向链路数据吞吐量 平衡负荷算法设计

王 洋

(深圳职业技术学院电子与信息工程学院, 广东深圳 518055)

**摘 要:** CDMA2000 1xEV-DO 是基于 3G 技术中的一种高速数据传输系统, 其反向链路采用码分复用方式. 由于数据传输系统具有数据传输突发性和速率波动大的特点, 因此需要在反向链路进行负荷控制, 防止出现热噪声超标导致信号崩溃. 为解决系统反向链路数据吞吐量的最大化和反向链路的稳定性问题, 本文引入了比例积分微分控制算法. 通过模糊控制方法自动实时整定算法中的控制参数, 结合增量型比例积分微分控制算法, 降低了计算资源损耗, 实现反向链路稳定性和反向链路数据吞吐量最大化的平衡.

**关键词:** CDMA2000 1xEV-DO; 负荷控制; 吞吐量

**中图分类号:** TP802 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 01-0083-04

## Reverse Link Data Throughput Balancing Algorithm with Balance for CDMA2000 1xEV-DO

WANG Yang

(School of Electronics & Information Engineering, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen, Guangdong 518055, China)

**Abstract:** CDMA2000 1xEV-DO is one high data rate system based on 3G, in which access terminals have the abilities to quickly transmit data from one rate to another and to support high burst rates. So the rise-over-thermal control algorithm in reverse link should be used to ensure the stability of reverse link. It is difficult for existing reverse load control algorithm to balance reverse link throughput and rise-over-thermal control in the CDMA systems. This paper designed incremental PID reverse link load control algorithm, which turned the related parameters based on fuzzy models. This algorithm can not only decrease calculation time but also realize the balance between reverse link throughput and rise-over-thermal control.

**Key words:** CDMA2000 1xEV-DO; rise-over-thermal control algorithm; reverse link throughput

### 1 引言

CDMA2000 1xEV-DO 系统是基于 3G 的高速数据传输系统, 基站通过反向功率控制机制和反向链路负荷控制共同协作完成反向链路的稳定工作. 反向链路负荷算法实现通常有两种方式, 一种是计算方式, 在基带由基带芯片处理完成, 不依赖于射频系统; 另外一种是通过射频系统进行直接测量. 终端向基站发送反向链路数据时, 经过衰减在其接收小区的天线口上产生综合能量. 除此而外, 基站的相邻小区的终端所发射的反向链路能量也会叠加在本小区的射频端. 当叠加能量超过一定阈值, 那么就会产生信号崩溃, 即基站无法解调出正确的反向链路数据包<sup>[1]</sup>.

反向负荷算法通过周期比较小区反向链路信号在

基站产生的能量与系统设定的阈值, 决定降低或者升高小区内所有终端反向链路数据的速率, 以规避出现信号崩溃的现象. 由于现有的反向链路算法<sup>[2]</sup>只是简单的采用阈值判断, 然后动作的原理, 所以在实际应用中, 反向负荷算法存在下几个问题: 1、在控制过程中, 因为没有“预见性”, 所以扇区负荷波动较大, 系统稳定性较差, 严重影响规定负荷条件下的反向最大吞吐量; 2、算法没有考虑小区中不同用户数情况, 造成用户数在实际情况允许下无法实现最大吞吐量, 浪费空口资源.

因此, 本文在研究以上问题的基础上, 提出一种能够实现反向链路吞吐量最优化的比例积分微分控制算法, 并给出基于模糊控制的算法参数整定方法, 以实现反向链路在实际应用中的最大吞吐量和稳定性的平衡结合.

## 2 反向链路数据分析

为了研究真实条件下的反向链路负荷算法控制的效果,本文在中兴商用 CDMA2000 1xEV-DO 基站系统环境下,采用韩国多部 SK 手机进行反向链路测试. 基站配置单扇区,闭环工控启动,反向采用计算方式控制负荷,在近点进行如下测试:1、关闭基站反向负荷控制,测试多部手机上传数据时基站反向吞吐量,测试其在基站天线口产生的负荷情况(计算方式);2、打开基站反向负荷控制,测试不同负荷门限下,6 部手机上传数据时基站的反向吞吐量变化. 测试结果如表 1 和表 2 所示.

表 1 关闭反向负荷控制多手机上传吞吐量结果

用户 个数	手机吞吐量 (kBps)					总吞吐量 (kBps)	负荷 均值
1	17.8					17.8	5500
2	17.3	17.1				34.4	9700
3	17.7	16.8	17.2			51.7	11230
4	16.0	15.9	17.0	14.7		63.6	13300
5	15.5	14.7	16.0	14.1	8.5	68.8	14200
6	16.0	14.7	16.2	13.9	9.6 9.7	80.1	16190

测试结果表 1 说明小区在手机数量超过 3 部时,无线环境已经无法满足每部手机都能达到最大的反向速率,此时基站的计算负荷指标为 13000,超出了高通给出的 9830 门限<sup>[3]</sup>. 从数据可以看到,2 部手机时,基站负荷已经在高通门限临界. 总体而言,尽管在 4 部手机测试时就无法满足各自达到最大吞吐量,但是直至测试手机达到 6 部,基站的总吞吐量仍然是递增的,说明对于单扇区而言,系统仍然有一定余量. 测试 2,如表 2 说明基站的负荷门限能够起到限制基站反向吞吐量的目的,负荷门限越低,基站反向吞吐量则越低.

表 2 不同门限反向负荷控制下 6 手机吞吐量结果

配置序号	反向负荷门限	总吞吐量(kBps)
1	9830	50.6
2	10000	49.5
3	11000	56.1
4	12000	58.2
5	13000	59.7
6	14000	66.3

为进一步分析反向负荷问题,以  $R_i(t)$  代表每一个用户  $i$  在  $[t, t+1)$  时刻的反向传输速率,用  $P_i(t)$  代表用户  $i$  在相同时隙的导频功率,采用  $T_i(t)$  代表总功率与导频功率的比值,那么  $T_i(t)P_i(t)$  代表用户  $i$  发射的总功率. 其中,  $i=1, \dots, N$ ,  $N$  代表用户数. 为了表述方便,将 IS-856 规约的反向速率定义为下面的集合  $\left\{0, R_{\min}, 2R_{\min}, \dots, \frac{R_{\max}}{2}, R_{\max}\right\}$ , 其中  $R_{\min}$  代表最小速率,而  $R_{\max}$  代表最大速率.  $T_i(t)$  与  $R_i(t)$  的关系可由  $T_i(t)$

$= F_R(R_i(t))$ , 同理  $R_i(t) = F_T(T_i(t))$  关系也成立,那么速率  $R_i(t)$  受到反向负荷算法的控制,即反向激活比特(Reverse Activity Bit, RAB)的控制. 当然 RAB 比特为 1 时,用户按照一定概率下调自己的速率,反之当 RAB 比特为 0 时,用户同样按照一定概率上调自己的速率. 以  $p(R_i(t))$  表示用户按照 RAB 指示在下一时刻下调自己速率的概率函数,以  $q(R_i(t))$  表示用户按照 RAB 指示在下一时刻上调自己速率的概率函数,两者取值范围在  $(0, 1)$  之间. 以  $B$  代表在  $[t+1, t+2)$  时刻 RAB 比特的数值. 逻辑函数  $V$ , 在输入逻辑表达式为真时则为 1, 否则为 0. 函数  $\Phi$  是用户  $i$  产生的随机数,取值范围  $[0, 1]$ ; 由此可以推导用户出下一时刻的速率,如式(1).

$$R_i(t+1) = BV(\Phi \geq p(R_i(t)))R_i(t) + BV(\Phi < p(R_i(t)))\text{Max}\left(\frac{R_i(t)}{2}, R_{\min}\right) + (1-B)V(\Phi < q(R_i(t)))\text{Min}(2R_i(t), R_{\max}) + (1-B)V(\Phi \geq q(R_i(t)))R_i(t) \quad (1)$$

式(2)定义了基站小区下  $N$  个用户在天线口产生的负荷.

$$Y_i = \frac{\sum_{i=1}^N G_{\text{loss}}^i(t) P_D^i(R_i, t)}{WN_0 + \sum_{i=1}^N G_{\text{loss}}^i(t) P_D^i(R_i, t)} \quad (2)$$

其中,式(2)中的  $P_D^i(R_i, t) = F_R(R_i(t))P_i(t)$ , 代表用户  $i$  在  $t$  时刻速率为  $R_i$  时发射功率,  $G_{\text{loss}}^i(t)$  表示无线信号从用户  $i$  到基站之间天线路径损耗,  $WN_0$  是带宽内的热噪声. 一般将系统反向链路资源最大化问题表述<sup>[4]</sup>为  $\max \sum_{i=1}^N U_i(T_i)$ , 效率函数  $U_i$  表示用户  $i$  对分配的 T2P 资源  $T_i$  的满意程度. 根据文献[5~7]等研究,在手机发射功率理想化的前提下,其最大化问题最优解就是所有用户具有相同的速率. 然而,这一最优解在实际应用中受到手机发射功率限制以及  $G_{\text{loss}}^i(t)$  不确定因素难以实现. 因此本文将研究在负荷门限约束条件下,如果保证小区反向链路的最大吞吐量.

## 3 反向链路平衡负荷算法设计

CDMA 在实际运行中,系统实时采集 rise-over-thermal(ROT)值,表示为  $Z(t)$ ,通过比较  $Z(t)$  与门限  $Z_{\text{thresh}}$  比较决定 RAB 比特的输出. 定义系统 ROT 控制偏差为  $e(t) = Z_{\text{thresh}} - Z(t)$ ,  $e(t)$  小于 0 意味着系统 ROT 过载,数值越大过载越严重,  $e(t)$  大于 0 意味着系统 ROT 有一定余量,同样数值越大代表系统余量越大.

定义控制输出变量  $u(t)$ , 根据系统控制偏差来进行调节<sup>[8]</sup>, 如式(3).

$$u(t) = \alpha e(t) + \beta \int_0^T e(t) dt + \gamma \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

式(3)中的  $\alpha, \beta, \gamma$  三个参数的确定将直接关系到系统控制的结果的收敛时间和稳定性.  $\alpha$  是比例系数, 控制系统的响应速度和精度;  $\beta$  是积分作用系数, 控制系统的稳态精度;  $\gamma$  是微分作用系数, 控制系统的动态性能. 系统输出在兼顾偏差与控制时间的情况下<sup>[9]</sup>, 使系统指标 ISTE 最小, 如式(4).

$$ISTE = \int_0^{\infty} t^2 e^2(t) dt$$

(4)

通常情况下, 当系统  $|e|$  较大时, 为使系统具有较好的跟踪性能,  $\alpha$  取值较大,  $\gamma$  取值较小, 而为避免系统出现较大的超调量,  $\beta$  取很小的数值甚至为 0, 以消除积分作用. 当  $|e|$  中等大小时, 为使系统响应具有较小的超调量, 则  $\alpha$  取值较小,  $\beta$  取值要适当. 当  $|e|$  较小时, 为使系统具有较大的稳定性能,  $\alpha$  与  $\beta$  均应取大些, 同时为避免系统出现振荡,  $\gamma$  值的选择主要是根据误差变化率  $|e_c|$  来确定: 当值较小时,  $\gamma$  取大一些; 当值较大时,  $\gamma$  取小一些, 与其成反比关系.

如式(1), 式(2), 系统中手机数量和无线信号的衰减情况较为复杂, 系统不能够提供精确的量化模型. 为了能够选取合适的  $\alpha, \beta, \gamma$  三个参数, 满足系统的 ISTE 指标, 达到系统的最大吞吐量, 本文采用模糊控制方法来对式(3)各个参数进行动态的整定, 以期达到理想的控制效果.

本文设计的模糊控制器<sup>[10]</sup>以  $|e|$  和  $|e_c|$  作为输入语言变量, 以  $\alpha, \beta, \gamma$  三个参数变化量  $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma$ , 为控制器输出语言变量. 其中,  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$  是输出参数的初值. 根据系统用户数, 设定模糊输入输出量化为七个等级, 定义模糊集为: {NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB}, 依次表示为“负大”、“负中”、“负小”、“零”、“正小”、“正中”、“正大”. 设计采用高斯隶属度函数和三角形隶属度函数相结合的隶属函数. 根据系统运行情况和仿真数据, 建立模糊规则表<sup>[11]</sup>, 则  $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma$  控制规则如表 3、表 4、表 5 所示.

表 3  $\Delta\alpha$  整定规则表

<div><div><div><div><div><div></div><div><math>e_c</math></div></div></div><div><div><div><math>e</math></div><div></div></div></div></div></div></div>	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	NB
NB	PB	PB	PB	PM	PS	ZO	ZO	NB
NM	PB	PB	PB	PS	PS	NS	NS	NM
NS	PM	PM	PM	PS	ZO	NM	NS	NS
ZO	PM	PS	PS	ZO	NS	NM	NM	ZO
PS	PS	PS	PS	NS	NS	NM	NM	PS
PM	PS	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	PM
PB	ZO	ZO	ZO	NM	NM	NB	NB	PB

表 4  $\Delta\beta$  整定规则表

<div><div><div><div><div><div></div><div><math>e_c</math></div></div></div><div><div><div><math>e</math></div><div></div></div></div></div></div></div>	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	NB
NB	ZO	ZO	ZO	ZO	NS	ZO	ZO	NB
NM	ZO	ZO	ZO	ZO	NS	ZO	ZO	NM
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS	NS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM	ZO
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PS	PS
PM	ZO	ZO	PS	PS	PS	ZO	ZO	PM
PB	ZO	ZO	PS	PS	PS	ZO	ZO	PB

表 5  $\Delta\gamma$  整定规则表

<div><div><div><div><div><div></div><div><math>e_c</math></div></div></div><div><div><div><math>e</math></div><div></div></div></div></div></div></div>	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	NB
NB	PS	NM	NB	NB	NB	NM	PS	NB
NM	PS	NS	NB	NM	NM	NS	NS	NM
NS	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO	NS
ZO	ZO	NS	NS	NS	NS	NS	ZO	ZO
PS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PS
PM	PM	PS	PS	PS	PS	PS	PB	PM
PB	PB	PM	PM	PM	PS	PS	PB	PB

实际应用中, 首先将式(3)离散化如下:

$$u(k) = \alpha e(k) + \beta \sum_{k=1}^m e(k) + \gamma(e(k) - e(k-1))$$

(5)

求得  $\Delta u = u(k) - u(k-1)$ , 带入式(5), 得出,

$$\Delta u = \alpha(e(k) - e(k-1)) + \beta e(K) + \gamma(e(k) - 2 * e(k-1) + e(k-2))$$

(6)

系统根据  $\Delta u$  的变化决定输出 RAB 比特的占空比, 近似于与 PWM 控制, 将使系统的输出最大限度的稳定在 ROT 门限, 并且不会产生过大的波动. 设本模拟控制器中输入变量  $e$  的变化范围为  $[-100, +100]$ ,  $e_c$  的变化范围为  $[-50, 50]$ . 输出变量  $\Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\gamma$  的变化范围为  $[-50, +50]$ 、 $[-25, +25]$ 、 $[-10, +10]$ .

在采用本文设计的平衡算法进行对比测试, 测试结果如表 6.

表 6 不同门限下原始负荷算法与平衡算法 6 手机吞吐量结果

配置序号	反向负荷门限	原始算法 (kbps)	平衡算法 (kbps)	吞吐量提高百分比
1	9830	50.6	53.1	4.9%
2	10000	49.5	53.9	8.9%
3	11000	56.1	59.7	6.4%
4	12000	58.2	63.4	8.9%
5	13000	59.7	65.2	9.2%
6	14000	66.3	70.7	6.6%

从表 6 可以看到, 采用了本文设计的平衡算法, 在同样的负荷门限下, 小区的 ROT 其总体在负荷门限下波动较小, 小区反向吞吐量要比采用原始的负荷算法平均提高约 7% 左右.

上述算法在计算  $e(t) = Z_{thresh} - Z(t)$  时,  $Z_{thresh}$  初始

化为固定的系统设置值,通常是高通推荐值.然而在实际应用中,用户的数量变化范围巨大.在用户量很少的时候,过于严格的门限将导致系统空口资源的浪费,因此本文在平衡算法的基础上,同时将  $Z_{thresh}$  修正为与小区下面手机数量相关的  $Z_{thresh}(m)$  函数,如式(7).

$$Z_{thresh}(m) = Z_{thresh0} + f(m) \quad (7)$$

其中,  $Z_{thresh0}$  是系统设定的原始值,  $m$  是小区手机数量,函数  $f(m)$  是与用户数目成正比例关系的偏置函数,  $f(m) \geq 0$ . 修正后,测试效果如表 7 所示.

表 7 多手机平衡算法门限可变吞吐量结果

$m$	$Z_{thresh0}$	$f(m)$	固定门限 (kBps)	门限修正后 (kBps)	吞吐量提 高百分比
2	9830	1000	34.1	35.5	4.1%
4	9830	500	46.2	50.9	10.2%
6	9830	400	53.2	55.8	4.9%

从表 7 可以看出,在  $f(m)$  帮助下提高了门限后,小区吞吐量有了明显的提高.但是,  $f(m)$  在  $m \geq 10$  以后基本上归于 0,这主要是考虑到本小区的手机对于基站相邻小区的干扰.

#### 4 结论

本文将模糊控制算法引入到反向负荷算法当中,并且通过模糊控制实时整定负荷算法中的比例、积分、微分三个调整参数,使得小区的热噪声控制在设置门限的最小波动范围内,并且能满足尽量短的调节时间.同时,本文引入了在热噪声门限的调节函数,该函数与小区用户数目相关,能够根据用户数的具体数目来调节热噪声门限.

结合了以上技术的反向链路数据吞吐量平衡负荷算法相对于原始的反向负荷算法,在实测系统的对比测试中,扇区反向吞吐量平均提高了百分之七左右;针对不同的用户数,热噪声门限的动态调节大大提高反向链路的资源利用率.

#### 参考文献:

[1] C Lott, et al. Reverse Traffic Channel MAC Design of cdma2000 1xEV-DO Revision A System [A]. Vehicular Technology Conference, 2005, vol. 3 [C]. 2005. 1416 – 1421.

[2] M Fan, et al. On the reverse link performance of cdma2000 1 × EV DO revision A system [A]. IEEE International Conference on Communications, 2005, vol. 4 [C]. 2005. 2244 – 2250.

[3] QUALCOMM Incorporated. RLMAC Algorithm for IS-856 (1xEV) [R]. San Diego: QUALCOMM Incorporated, 2001.

[4] R Yim, OS Shin, V Tarokh. Reverse-link rate control algorithms with fairness guarantees for CDMA systems [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(4): 1386 – 1397.

[5] P Tinnakornsrisuphap, C Lott. On the Fairness and Stability of the Reverse-Link MAC Layer in cdma2000 1xEV-DO [A]. IEEE International Communications Conference, vol. 1 [C]. 2004. 144 – 148.

[6] N Bhushan, et al. CDMA2000 1 × EV-DO revision a: a physical layer and MAC layer overview [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(2): 37 – 49.

[7] J Soriaga, J Hou, J Smee. Network performance of the EV-DO CDMA reverse link with Interference cancellation [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(2): 58 – 64.

[8] KH Ang, et al. PID control system analysis, design, and technology [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2005, 13(4): 559-576.

[9] Dipartimento di Elettronica per l'Autom., Brescia Univ.. Optimal tuning of PID controllers for integral and unstable processes [J]. In Proc. IEEE Control Theory and Applications, 2001, 148 (2): 180 – 184.

[10] B Hu, GKI Mann, RG Gosine. New methodology for analytical and optimal design of fuzzy PID controllers [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1999, 7(5): 521 – 539.

[11] GKI Mann, BG Hu, RG Gosine. Analysis of direct action fuzzy PID controller structures [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1999, 29(3): 371 – 388.

#### 作者简介:

王 洋 男, 1975 年出生于辽宁. 1998 年、2003 年在大连理工大学分别获工学学士和工学博士学位. 曾在中兴通讯股份有限公司从事 3G 系统研发多年. 现为深圳职业技术学院电子与信息工程学院副教授、高级工程师, 主要从事移动通讯、近距离无线通信、嵌入式系统等方面的研究工作.

E-mail: wyangdut@yahoo.com.cn