

# 软实时服务与绿色通信

陈萍萍, 钟晓峰, 王 京

(清华大学电子工程系, 清华信息科学与技术国家实验室, 北京 100084)

**摘要:** 结合“绿色通信”的需求, 具体阐述了宽带移动业务软实时服务中的绿色通信思想, 包括软实时服务中的“以延时换能耗”的设计理念, 以及如何通过阈值限定来达到延迟和能耗的折中; 并且介绍了一种适用于软实时业务模式的带闭环反馈的功率控制算法, 对基站能耗进行了优化。

**关键词:** 软实时; 功率控制; 绿色通信; 动态规划; 闭环控制

**中图分类号:** TN92      **文献标识码:** A

## Soft real-time service and green communications

CHEN Ping-ping, ZHONG Xiao-feng, WANG Jing

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, and Tsinghua National Laboratory for Information Science and Technology, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The concept of “Green Communications” in broadband mobile soft real-time communication is discussed. The problems of how soft real-time service can save energy with delay and how to use threshold to have a balance between delay and energy are addressed. A power control algorithm, which is applicable to soft real-time service model, is introduced to optimize the power consumption of base stations.

**Key words:** soft real-time; power control; green communications; dynamic programming; closed-loop control

## 0 引言

目前我国已经成为世界通信大国, 移动用户已经超过 5 亿, 全国 GSM 载频数量接近 270 万<sup>[1]</sup>. 与此同时, 随着网络规模的不断扩张, 通信网络的核心设备、动力系统以及机房、基站等成倍增加, 能量消耗也随之大幅增加. 以中国移动为例, 从表 1 可以看出, 2006 年, 中国移动的耗电量达到  $63.8 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 并且保持每年  $13 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$  的增幅, 其中基站消耗均占 70% 左右<sup>[2]</sup>. 如果按 0.6 元/(kW·h) 电来计算, 中国移动 2008 年的电费开销就高达  $55 \times 10^8$  元; 如果按照每 1 000 g 煤发出 3 kW·h 电来算, 仅中

国移动, 2008 年就需要耗费  $311 \times 10^4 \text{ t}$  的煤.

我国电力能源短缺现象日益突出, 节能降耗已经成为全社会普遍关注的热点问题, 节能已经成为全社会的共识, 也是通信网络和产品升级的方向<sup>[3]</sup>. 目前已有多个通信企业响应国家的号召, 大力开展节能减排的绿色运动. 自“十一五”规划以来, 通信运营企业已经深刻意识到节能对企业可持续发展的重要意义, 并积极行动, 参与到节能减排的工作中, 在 2008 年取得了良好的成绩. 据三大运营商在“2009 绿色通信与节能创新研讨会”上公布的数据显示<sup>[4]</sup>, 2008 年, 中国电信全网耗电  $69.27 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 全网用油  $1.48 \times 10^8 \text{ L}$ , 节约电能  $2.2 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 占

收稿日期: 2009-05-11; 修回日期: 2009-09-12

基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX03003-004), 中国高技术研究发展(863)计划(2009AA011501), 国家重点基础研究发展(973)计划(2007CB310608)和国家自然科学基金重点项目(90204001)资助.

作者简介: 陈萍萍, 女, 1985 年生, 硕士生. 研究方向: 无线通信. E-mail: luckyapplehead@gmail.com

通讯作者: 钟晓峰, 博士/讲师. E-mail: zhongxf@tsinghua.edu.cn

2008 年总用电量的 3.16%；中国移动全年耗电  $93.3 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，单位业务量耗电量比 2007 年下降 11%，节电  $11.7 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ；中国联通用电  $76 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，用油  $8.7 \times 10^4 \text{ t}$ ，煤炭消耗  $31 \times 10^4 \text{ t}$ 。

从上面的分析结果可知，基站能耗是主要的能耗因素，因此降低基站的能耗将是降低所有能耗的关键。目前降低基站能耗的主要措施有：①采用新型的节能冷却技术。例如提高冷却系统的效率，适当提高基站工作环境温度，采用自然冷源，智能温控等。②合理规划蜂窝小区的面积及基站的分布及数量，优化单位基站能耗与基站数之积。③从软件上构建节能方案。例如合理安排业务调度，进行功率控制，智能关断等。④采用定向天线技术，优化编码调制方案等。

本文从软实时业务<sup>[5]</sup>的角度，分析了软实时业务是如何从“合理安排业务调度”的角度来降低基站的能耗，以及如何体现“绿色通信”的理念的。

论文的内容安排如下：节 1 对软实时业务进行概要的介绍；节 2 给出了软实时服务相对于单播服务的能耗比较，具体阐述了软实时业务的原理；节 3 针对软实时的服务模式，提出了功率可控的传输模式；节 4 对全文进行了总结。

表 1 中国移动能源消耗情况

Tab. 1 Energy consumption of China Mobile

	2006	2007	2008
总用电量/( $10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ )	63.8	80.9	93.3
总局房用电/( $10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ )	15.7	20.3	36.0
传输及基站用电/( $10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ )	48.1	60.6	57.3
公务用车的汽油油耗/( $10^6 \text{ L}$ )	52.1	56.3	53.7
公务用车的柴油油耗/( $10^6 \text{ L}$ )	8.9	9.7	6.9
发电机汽油油耗/( $10^6 \text{ L}$ )	7.4	8.2	12.7
发电机柴油油耗/( $10^6 \text{ L}$ )	11.8	12.7	11.2
天然气用量/( $10^6 \text{ m}^3$ )	3.5	3.8	3.5
液化石油气用量/( $10^2 \text{ t}$ )	1.0	1.4	1.5
人工煤气用量/( $10^6 \text{ m}^3$ )	0.3	0.3	0.5
煤炭用量/( $10^4 \text{ t}$ )	2.1	2.4	2.3
二氧化碳排放/( $10^6 \text{ t}$ )	5.4	6.9	7.9

## 1 软实时业务的介绍

软实时业务作为一种实现宽带移动互联网业务的“服务模式”<sup>[5]</sup>，其设计思路是利用无线广播与多播传输通道，向多个用户发送所需的相同数据内容，通过多个用户分享无线带宽来降低信息的无线传输成本；同时基于对用户信息需求的预测，或者根据用

户点播需求，通过信息的内容搜索、预先推送、按需推送技术，满足用户对信息服务的个性化需求，并降低用户感知的平均传输延时、提高用户可感知的服务质量。这种新的业务服务模式可应用于无线移动通信网络和无线通信广播融合网络，是支撑移动业务多媒体化、移动化和互联网化的新思路，对推动宽带移动互联网业务的快速发展具有重要意义。

软实时业务的主要思想：

(I) 用户终端根据用户访问互联网获取多媒体信息的历史记录，采用数据挖掘技术，分析用户对信息内容的偏好，自动形成用户对信息内容的定制需求，并通过无线双向低速数据传输通道发送至系统软实时服务器；

(II) 系统软实时服务器统计网络中各用户的信息内容定制需求，并对互联网进行智能信息内容搜索，利用移动通信网络和数字电视网络空闲的无线广播与多播传输通道将信息内容主动推送至感兴趣用户的终端存储器内；

(III) 当用户访问互联网发出获取信息请求时，用户终端首先在本地存储器内搜索，对于预先已推送至用户终端的信息则直接调用已存储的数据，对于未推送的信息，则通过移动网络的单播数据传输通道完成数据传输；

(IV) 用户终端对终端存储器内的预先推送的数据进行智能管理，定期删除用户未使用的过期数据，更新接收新的推送数据，并更新用户的信息定制需求；

(V) 此外，当用户主动发出信息点播请求时，软实时服务器可以统计在预定周期内所有用户的点播请求，对于点播相同信息内容的多个用户，通过无线广播多播传输通道发送其点播的数据内容。

## 2 “非实时广播”中的“绿色思想”

当前的无线网络主要有无线蜂窝网和无线数字广播网两种形式。无线数字广播作为一种单向的数据服务，虽然具有低廉和高速的特点，但是由于内容形式固定、用户只能被动地接收，因而并不能满足用户的需求。而无线蜂窝网的数据传输属于“用户点播实时传输”的形式，该服务模式虽然在实时性和用户能动性上满足了要求，但是它却需要昂贵的流量费并且传输速率较低，更重要的是，它的实时性、独占性及双向性造成了无线资源以及能源的浪费。两种通信方式的比较如表 2 所示。

表 2 无线蜂窝网与无线数字广播网的比较

Tab. 2 Wireless cellular network and wireless digital broadcasting network comparison

	蜂窝网络	无线数字广播
信息获取方式	按用户意愿 实时点播	按用户定制 定期组播或广播
信道传输特性	双向	单向
频谱资源使用方式	独占	共享
速率及成本	速率较低, 高额流量费	速率高,包月 制,费用极低

当前的无线宽带数据业务通常具有以下特点:首先,移动网络通常具有不对称性,下行流量通常远远高于上行;其次,非实时的数据业务占主导地位,如图 1 所示;第三,用户的兴趣通常具有集中性,如图 2 所示.图 2 是对中国新浪网和天涯网的新闻内容及其访问情况的抽样统计,其中统计时长为 30 min、信息总数 512 条,每条信息的访问次数如图所示.由图 2 可以看出,信息总访问次数为 13 043 次,访问量前 50 位的信息内容的被访问次数为 9 123 次,占总访问次数的 69.9%.

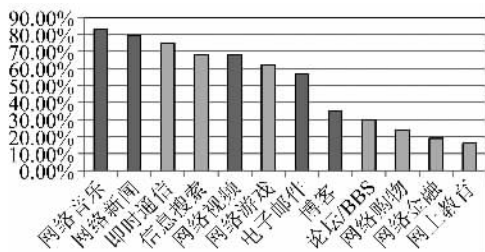


图 1 数据业务占用比例示意图

Fig. 1 The proportion of data services

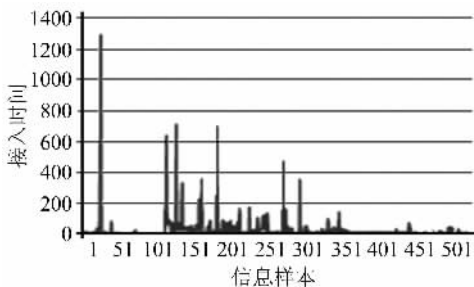


图 2 中国新浪网和天涯网的新闻内容及其访问情况抽样统计

Fig. 2 Sample survey of China Sina and Tianya network news content visiting

而软实时业务结合了数字广播低成本低功耗高速率的优势,以及蜂窝网通信的双向及可定制的特点,使得在延时容忍的限度下,能够通过一次传输满

足多个用户的特定需求.这不仅解决了带宽资源的限制,更重要的是降低了满足单位用户需求所需的能耗,从而节约了能源、降低了通信成本,也降低了电磁波辐射对环境及人们的身体健康造成的损害.

例如对于传统的蜂窝点播服务来说,如果在一个不长的时间间隔  $T$  内有  $k$  个用户点播了同一个数据源  $A$ ,设平均每次传输该数据源所需的能耗为  $P_0$ ,则为了满足  $k$  个用户的点播需求需要  $kP_0$  的总能耗,而如果采用软实时的传输方式,则只需  $P_0$  的能耗就能满足  $k$  个用户的需求.而在延时方面,虽然软实时的模式有等待的延时  $T_1$ ,然而它的传输速率却通常比单播服务的速率高很多,比如广播时的传输速率可达 4 Mbps 以上,而 GPRS 的单播传输速率通常只有 144 kbps 左右.如果传一部 2 GB 的电影,用 GPRS 单播的方式传大约需要 3.8 h,而用广播的方式传只需 8 min 左右,即 0.14 h,因而广播的方式带来了可容忍的  $3.8 - 0.14 = 3.66$  h 的“滞后时间”.这只是对于一个用户而言,如果对于多个用户,软实时的模式的优点将体现得更加明显.

下面给出软实时服务的参数定义:

①数据长度  $L$ ,指所请求的数据长度,以比特为单位.

②最大等待时间  $T_{\max}$ ,指用户从提交请求到真正能获取数据的最大时间间隔.

③用户数阈值  $N_{\max}(L)$ ,指如果在  $T_{\max}$  内,提交某种需求的用户数达到  $N_{\max}$ ,则开启传输服务.其为  $L$  的函数,比如  $N_{\max}(L) = kL/L_0$ ,其中  $k$  为系数, $L_0$  作为一个基准值.

④传输速率.对于软实时服务,设为  $V_r$ ,对于通常的单播服务,设为  $V_d$ .并且假设基站的平均发射功率相等,均为  $P_0$ .

⑤用户请求速率  $n_0$ ,也就是某类数据业务在单位时间内所产生的用户请求数.

软实时服务器开始传输某种数据的情况有两种:一是最先提出请求的用户已达到了规定的最大等待时间  $T_{\max}$ ;二是虽然没达到规定的最大等待时间,但对该种数据的请求的用户数已达到了规定的阈值  $N_{\max}(L)$ .

图 3 和图 4 是软实时业务与传统的单播业务的数据传输总能耗的对比.图 3 和图 4 的区别在于用户请求速率范围的不同.图 3 中,用户请求速率的范围设为  $0 \sim 10$  次/h,以便观察在请求速率较小时的对比结果;图 4 中,用户请求速率的范围设为  $0 \sim$

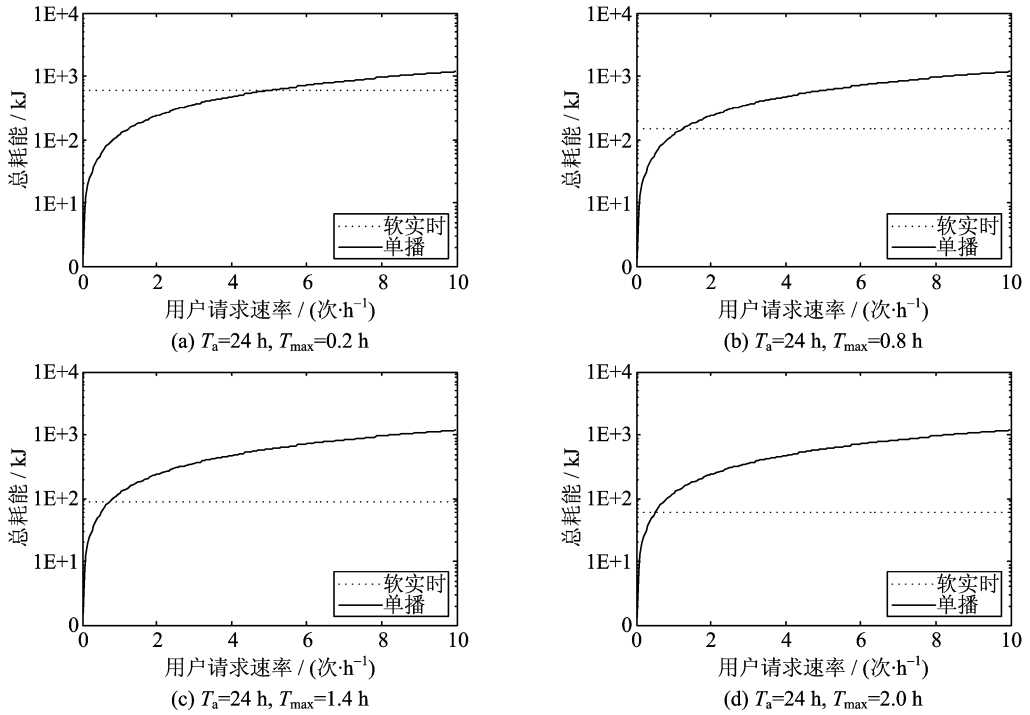


图 3 软实时与单播业务能耗比较 ( $n_0 = 0 \sim 10$  次/h)

Fig. 3 Soft real-time energy consumption compared with the unicast services ( $n_0 = 0 \sim 10$  times/hour)

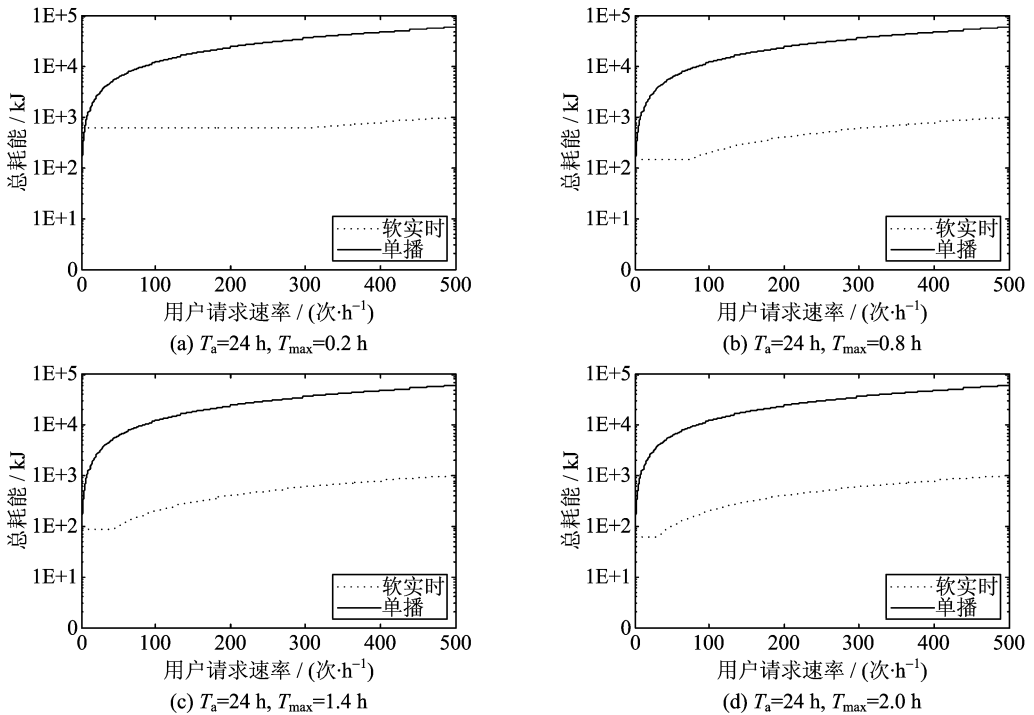


图 4 软实时与单播业务能耗比较 ( $n_0 = 0 \sim 500$  次/h)

Fig. 4 Soft real-time energy consumption compared with the unicast services ( $n_0 = 0 \sim 500$  times/hour)

500 次/h,以便观察请求速率较大时的结果.

能耗统计一天(24 h)的时间内,为了满足所有针对某种业务的用户需求,基站传输所需消耗的能

量.  $T_{max}(L)$ 分别取 0.2, 0.8, 1.4 和 2.0 h,其余参数设置如下:

①数据长度  $L = 2 \times 10^9$  bit

$$\textcircled{2} L_0 = 10^9$$

$$\textcircled{3} k = 30, \text{ 由此可得 } N_{\max}(L) = \frac{kL}{L_0} = 60$$

$$\textcircled{4} V_r = 2 \text{ Mbps}$$

$$\textcircled{5} V_d = 1.44 \text{ kbps}$$

⑥ 设传输一次长度为  $L_0$  的数据所输能耗为  $J_0 = 5 \text{ kJ}$

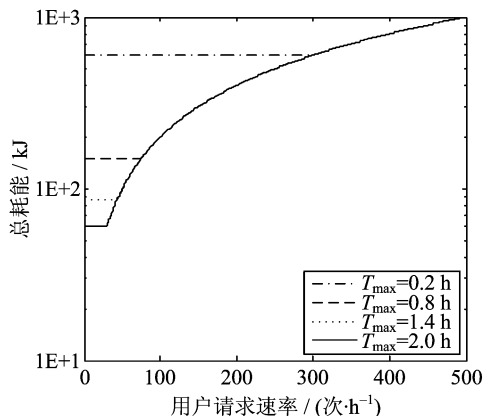
在以上参数的情况下,以用户请求速率  $n_0$  为横坐标,以 24 h 的总能耗为纵坐标,对两种方式进行了比较。

由图 3 可以看出,在请求次数较小时,单播服务的总能耗比软实时服务小;但在请求次数超过某个值  $N_d$  后,单播服务的总能耗即超过了软实时服务的总能耗,并且  $T_{\max}$  越大,  $N_d$  越小。

由图 3 和图 4 均可以看出,用户请求速率  $n_0$  在初始的  $0 \sim N_a$  范围内时,总能耗为常数,且有  $N_a \times T_{\max} = N_{\max}(L)$ 。这种现象的原因在于,当用户请求速率小于  $N_a$  时,一次传输被启动的原因均为用户等待时间达到了最大等待时间  $T_{\max}$ ,此时在一天内传输的次数为  $T_a/T_{\max}$  不变,因而总能耗不变。

由图 4 还可以看出,随着用户请求次数  $n_0$  的增加,单播服务的总能耗先是逐渐超过软实时服务,两者总能耗之差越来越大,当软实时服务的总能耗不再为常数时,两者总能耗之差才基本保持不变。由此可以看出,软实时服务在用户请求次数较大时,相对于单播服务具有明显的优势。

图 5 为软实时服务在不同等待延时下的总能耗的比较结果,其中可以看出,等待延迟越大,其总能耗



为了方便比较值较小的部分,纵坐标采用对数形式

图 5 软实时模式,不同等待延时  $T_{\max}$  下的总能耗比较示意图

Fig. 5 Total energy consumption comparison between different waiting time delay in soft real-time mode

耗越小,可见,能耗的减少是以延时为代价的.然而由于存在最大用户阈值,使得在用户数较大时,总能耗不再受等待延时的影响,而是随用户需求密度的上升而上升——这里设定用户数阈值的原因,主要是从用户等待时间和总能耗的折中角度来考虑的.通过动态调整用户的等待时间,使得用户的等待时间能随用户需求密度的增大而减小。

### 3 基于软实时服务的下行功率控制

由于无线环境的多变性,基站在任何时候都采用相同的传输速率是不合理的<sup>[6,7]</sup>.由香农公式可知,在带宽一定的情况下,要保持传输速率不变,则要保持信噪比不变<sup>[8]</sup>.而在信道条件较差时,要保持信噪比不变,则需要提高发射功率.然而过高的发射功率不仅增加了单位业务的能源消耗,而且对环境及人们的健康都会带来不利的影响<sup>[9]</sup>.因而针对软实时的服务模式,我们提出了功率可控的传输模式.主要流程如下:

基站会以一定的周期向周围的手机终端广播“探测消息”,收到该消息并且向服务器提交过数据获取请求的手机用户会把本机所接收到的基站的信号强度答复给基站。

设收发比  $r = P_{\text{接收}}/P_{\text{发送}}$ ,其中  $P_{\text{接收}}$  表示手机终端接收到的基站信号的功率,  $P_{\text{发送}}$  表示基站端发射的信号的功率.基站会在统计用户请求时忽略收发比小于某个阈值  $r_{\text{阈}}$  的终端的请求.从所有满足  $r > r_{\text{阈}}$  的请求中,找出最小值,设为  $r_{\min}$ ,从而得手机端的最小接收功率  $P_{\min}$ .实时统计所有接收用户的接收功率的平均值  $P_{\text{平均}} = N_{0-1} \sum_{i=1}^{N_0} P_{\text{接收}}$ .令基站数据的发送速率  $V_{\text{发送}} = a + k_1 P_{\min} P_{\text{平均}} V_{\text{阈}}/P_{\text{阈}}^2$ .其中  $P_{\text{阈}} = r_{\text{阈}} P_{\text{发送}}$ ;而  $V_{\text{阈}} = B \log_2(1 + P_{\text{阈}}/N)$ ;  $k_1$  为相应的比例因子,例如可取为 1;  $a$  为补偿因子,主要是为了防止出现发送速率在接收功率的反馈作用下,减少到零的情况,可以把  $a$  的值近似设为数据传送中规定的最低传送速率.上式表示,用户的平均接收功率或者是用户的最小接收功率越小,基站传输数据的速率就越小,进而由香农公式可得,发射功率也相应地降低.由于  $P_{\text{阈}} = r_{\text{阈}} P_{\text{发送}}$  为基站发送功率  $P_{\text{发送}}$  的函数,而  $P_{\text{发送}}$  又将受  $V_{\text{发送}}$  的限制,而  $V_{\text{发送}}$  又是  $P_{\text{阈}}$  的函数,因而这里形成了一个闭环反馈控制系统.具体的定性分析如下:

设  $B$  为信道带宽,  $N$  是噪声功率,把  $V_{\text{发送}} = a +$

设  $B$  为信道带宽,  $N$  是噪声功率,把  $V_{\text{发送}} = a +$

$k_1 P_{\min} P_{\text{平均}} V_{\text{阈}} / P_{\text{阈}}^2$  展开得,

$$\text{Blog}_2 \left( 1 + \frac{P_{\text{发送}}}{N} \right) = a + (k_1 P_{\min} P_{\text{平均}}) * \frac{\text{Blog}_2 \left( 1 + \frac{r_{\text{阈}} P_{\text{发送}}}{N} \right)}{(r_{\text{阈}} P_{\text{发送}})^2} \quad (1)$$

即

$$(r_{\text{阈}} P_{\text{发送}})^2 \frac{\text{Blog}_2 \left( 1 + \frac{P_{\text{发送}}}{N} \right) - a}{\text{Blog}_2 \left( 1 + \frac{r_{\text{阈}} P_{\text{发送}}}{N} \right)} = (k_1 P_{\min} P_{\text{平均}}) \quad (2)$$

可见,  $P_{\text{发送}}^2$  基本上与  $P_{\min} P_{\text{平均}}$  成正比, 因而用户的平均接收功率或者是用户的最小接收功率变小时, 也就是信道质量变差时, 基站的发射功率也会变小。

上述功率控制及传输的思想与传统传输模式恰好相反. 对于传输的传输模式而言, 当信道传输质量差时, 基站会提高发射功率, 以保证数据速率和传送质量在信道差时也能得到保证. 然而在信道状况特差时, 为了提高一点点速率是要以很大的发射功率为代价的, 传输效率特低. 而对于软实时的传输方式, 由于采用了软实时的特点, 在信道质量差时, 反而会降低数据的传输速率, 甚至不传, 而等到信道质量好时, 再加大传输速率. 由于此时的信噪比较高, 所以无需加大多少发射功率, 就能获得较高的传输速率, 从而获得了较高的传输效率, 减少了能耗, 减少了电磁波辐射对环境造成的污染。

## 4 结论

本文针对软实时服务的特点, 具体设计和介绍了软实时业务如何进行业务规划调度, 通过小区内

容推送及多播服务的规划, 降低数据传输过程中的能耗成本; 如何通过设计带反馈的功率控制算法, 进一步提高传输效率, 以及减少电磁波对环境及人们的健康造成的影响, 从而实现真正的绿色通信。

## 参考文献 (References)

- [1] 吕钱浩, 姜文, 中兴通讯: 节能降耗构建绿色移动网络[J]. 通信世界, 2007, (45): 26.
- [2] 中国移动通信集团公司 2008 年企业社会责任报告 [EB/OL]. [http://www.chinamobile.com/aboutus/res/2008csr\\_cn](http://www.chinamobile.com/aboutus/res/2008csr_cn).
- [3] 许颖浩, 范鹏飞. 浅议绿色通信[J]. 信息通信, 2008, (3): 73-76.
- [4] 李博. 绿色通信助力可持续发展[EB/OL]. (2009-04-13). <http://www.ccidcom.com/html/chanpinjishu/fuwuyunwei/200904/13-61137.html>.
- [5] Zhong Xiao-feng, Zhao Ming, Zhou Shi-dong, et al. Content aware soft real time media broadcast (CASoRT) [C]//Third International Conference on Communications and Networking in China, 2008. New York: IEEE, 2008: 355-359.
- [6] 吴越, 王芳, 林福华. CDMA 系统反向功率控制技术的研究[J]. 华东船舶工业学院学报, 1999, 13(2): 19-23.
- [7] Zhou Shi-dong, Zhao Ming, Xu Xi-bin, et al. Distributed wireless communication system; a new architecture for future public wireless access [J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(3): 108-113.
- [8] Rappaport T S. 无线通信原理与应用[M]. 蔡涛, 李旭, 杜振民, 译. 北京: 电子工业出版社, 1999.
- [9] 唐友喜, 易新平, 邵士海. 新一代移动通信系统——IMT-Advanced 的特征[J]. 电子科技大学学报, 2008, 37(2): 161-167.