

一种 CDMA 蜂窝通信系统中的功率控制算法

王卫东, 沈志春, 尚 丹, 张 平

(北京邮电大学移动通信新技术研究室, 北京 100876)

摘 要: 功率控制是 CDMA 蜂窝通信系统的关键技术. 本文给出一种部分补偿信干比的功率控制算法, 可以提高系统的容量, 改善系统性能.

关键词: CDMA; 功率控制; 信干比

中图分类号: TN929.533

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2000) 11A-0149-03

A Power Control Algorithm for CDMA Cellular System

WANG Wei-dong, SHEN Zhi-chun, SHANG Dan, ZHANG Ping

(Wireless Technologies Innovation Laboratory, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Power control is the key technology of CDMA cellular system. In this paper, we present a power control algorithm based on partially compensating signal to interference ratio, and it can improve system capacity and system performance.

Key words: CDMA; power control; SIR

1 引言

在蜂窝移动通信系统的设计中, 共信道干扰是影响整个系统容量的重要因素. 对于一个移动通信系统而言, 它的目标在于能够容纳更多的用户, 同时使话音质量更好, 功率消耗更低, 所以要采用较好的功控方案来克服共信道干扰.

功控方案有集中式和分布式两大类^[2~5]. 集中式的功控是由上层控制器按照某一指标对所有用户统一进行控制. 这种方法使整个系统的调节很困难. 针对集中式的功控方案的不足, 人们提出了分布式功控算法. 系统内各个用户可以根据分布式算法调整各自的发射功率来达到信干比的平衡, 即系统内各通信链路获得一个信干比; 从服务质量考虑, 应该保持系统服务质量稳定, 这种方法可以获得较大的容量增益. 文[4]论证了如果采用给所有用户相同的服务质量的功率控制方案会带来大的容量增益. 从调节步长来看, 有固定步长和非固定步长之分^[7~9]. 固定步长的算法一般是: 在对数域, 信干比 SIR_i 在某一数值 0 的附近变化, 即 $SIR_i \in (i - \delta, i + \delta)$; 每次调节中, 信干比 SIR_i 增加或减少一个 δ .

CDMA 系统比 TDMA、FDMA 系统具有更大的容量, 而且占有更少的无线资源. 但由于 CDMA 系统本身是一个自干扰系统, 它的共信道干扰非常严重, 同时系统内的远近效应也非常显著. 为了克服远近效应, 应该控制移动台的发射功率使接收到的各个用户的接收功率基本相同; 在 CDMA 系统的设计中, 功率控制方案占有非常重要的地位. 另外功率控制还可以节省终端电池的能量, 延长通话时间, 减少额外的功率辐射^[10].

对于 CDMA 蜂窝移动通信系统来说, 服务质量的准确衡

量指标应该是误比特率 (BER) 和误帧率 (FER). 由于实际实现的限制, 人们退而求其次, 选用 FER 作为系统服务质量的衡量指标. 但是从易于获得和处理的角度出发, 一般在系统级仿真中采用信干比 SIR 来替代 FER^[3]. 但文[6]告诉我们 FER 与 SIR 并不是一一对应的关系. 对于某一 FER, SIR 基本上服从对数分布. 但可以认为在一定的置信度下, SIR 和 FER 之间是呈正比例的.

结合实际蜂窝环境, 文[1]中提出了一种功控方案. 这种方案虽然较好地解决了移动通信系统中的“鸡尾酒会”效应, 但是应用于 CDMA 系统中仍然存在着系统容量小的问题, SIR 扩展范围过大. SIR 范围扩展是由于整个系统虽然按照目标信干比进行功控, 但最终的 SIR 不是都正好为目标信干比, 而是在一定的范围内分布.

我们在研究系统级仿真软件的过程中, 对上述的方案进行了改进, 给出一种基于部分补偿信干比的功率控制算法, 该算法较好地弥补了文[1]中算法的不足.

2 分析

参数说明: C 为基站接收到的移动台信号功率; P^n 为在时刻 n , 移动台的发射功率; P^{n+1} 为在时刻 $n+1$, 移动台的发射功率; n 为在时刻 n 和时刻 $n+1$ 之间的一个时刻, 此时由于路径损耗的变化, 导致基站接收到的移动台信号功率发生改变; G 为路径损耗; I 为基站接收到的干扰.

假设在两个小区中 BS_1 、 BS_2 分别有移动台 MS_1 和 MS_2 , 如果在上行链路中固定接收的 SIR 为.

$$SIR = \frac{C}{N + I_{oc} + I_{sc}} = \frac{C}{I_{oc} + I_{sc}}$$

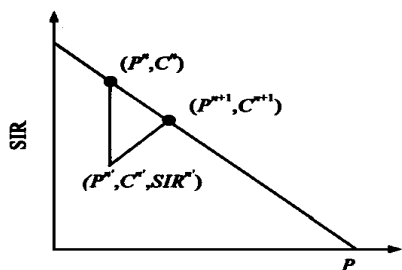


图1 一个功控调节过程

其中: I_{sc} 是本小区的干扰; I_{oc} 是其他小区的干扰. 当一个小区中只有一个用户时 $I_{sc} = 0$. 如果在基站 BS_1 收到移动台 MS_1 的功率由于某种原因在时刻 n 降低了 10dB, 那么移动台 MS_1 在时刻 $n+1$ 将会提高 10dB 的发射功率, 无疑它将会使基站 BS_2 接收到的干扰提高 10dB, 那么 BS_2 为了保持 SIR 不变, 将会要求本小区的移动台 MS_2 在时刻 $n+2$ 增加 10dB, 这样循环往复, 就会使两个移动台都提高到最大发射功率, 这就是所谓的“鸡尾酒会”效应. 这显然不是我们所希望看到的.

为了计算方便, 本文的计算都是在对数域进行的.

文[1]中针对这个问题提出了一个功控策略, 调节过程如图1所示.

$$SIR = kP + m, k < 0 \quad (1)$$

$$SIR^{n+1} = SIR^n - P^n + P^{n+1} \quad (2)$$

$$P^{n+1} = \frac{SIR^n - P^n}{k} \quad (3)$$

其中: $k = m/(1-k)$, $m = 1/(1-k)$.

在整个研究区域内的所有用户都采用式(3)分别进行迭代计算, 得到最后的结果.

3 基于部分补偿信干比的功率控制算法

通过仿真, 发现该算法虽然克服了“鸡尾酒会”效应, 但在 CDMA 系统中存在着平均用户数较少的问题, 如表1所示. 表中各小区对应的数字是激活的用户数, 最大的平均用户数为 19.2; 而且信干比 SIR 扩展范围过大, 即 SIR 较大的用户数比较多, 从而增加了系统内的干扰.

我们认为上面所提到的各个算法主要是针对采用频分复用技术的 FDMA、TDMA 系统设计的, 尽管它们也是适用于 CDMA 系统的, 但在具体应用时需要作较大改进. 相比较而言, CDMA 系统的复用系数为 1, 对于使用一个频率的 CDMA 系统来说, 所有的干扰都是同信道干扰, 因而同信道干扰造成的影响比 FDMA、TDMA 要大得多, 功控调节引起的整个系统的变化要剧烈得多; 对于 CDMA 系统, 它的信干比设置为负数, 在本文中取值为 -16.5dB, 而 FDMA 和 TDMA 系统的信干比是大于零的值, 一般为 20dB. 如果功控设计不当, 将使整个系统的收敛速度减慢, 严重的会使系统处于不平衡状态.

由式(2)可得: $P^{n+1} - P^n = SIR^{n+1} - SIR^n$

$$P^{n+1} = C^{n+1} + G^{n+1}, P^n = C^n + G^n$$

$$C^{n+1} - C^n = SIR^{n+1} - SIR^n \quad (4)$$

由式(4)可以看到移动台发射功率的改变(或接收功率)将完全补偿由于某种原因造成的 SIR 变化, 这样就会使某些

移动台的信干比过大, 影响系统容量. 对于 CDMA 系统来说

$$SIR = \frac{C}{N + I_{oc} + I_{sc}} = \frac{C}{N + (1 + \gamma) I_{oc}} = \frac{C}{N + (1 + \gamma) (M - 1) C^n} \quad (5)$$

可以看出, 当 SIR 升高时, 系统容量 M 必然减小.

所以, 改变当前信干比 SIR^n 的数值作为新的基准, 使移动台的发射功率(基站的接收功率)部分补偿 SIR 的损失; 每次调节非固定步长, 得

$$P^{n+1} - P^n = SIR^{n+1} - k_2 SIR^n \quad (6)$$

将式(6)代入式(1)得: $SIR^{n+1} = kP^{n+1} + m$

$$P^{n+1} - P^n = kP^{n+1} + m - k_2 SIR^n \quad (7)$$

$$P^{n+1} = \frac{m}{1-k} + \frac{1}{1-k} P^n - \frac{k_2}{1-k} SIR^n = \frac{m}{1-k} + P^n - SIR^n \quad (8)$$

式中: $\frac{m}{1-k} = m/(1-k)$, $\frac{1}{1-k} = 1/(1-k)$, $k_2 = k_2(1-k)$.

$$P^{n+1} = \frac{m}{1-k} + (G^{n+1} + C^n) - SIR^n = \frac{m}{1-k} + G^{n+1} + C^n - (C^n - I^n) = \frac{m}{1-k} + G^{n+1} + C^n + I^n \quad (9)$$

4 仿真结果

爱立信的系统仿真工具 RENE2.5 是针对 FDMA、TDMA 蜂窝系统设计的系统级仿真工具. 文中将该系统仿真工具 RENE2.5 改进为 CDMA 系统的仿真软件. 我们主要在软切换、路径增益矩阵、功控策略等方面进行了扩充和改进.

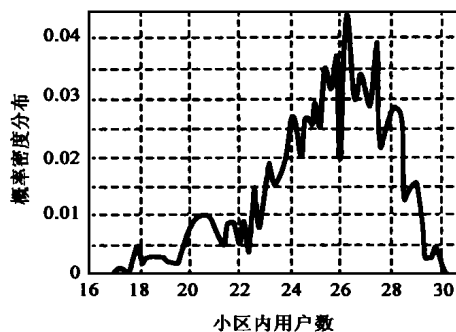


图2 仿真中小区用户数的概率密度

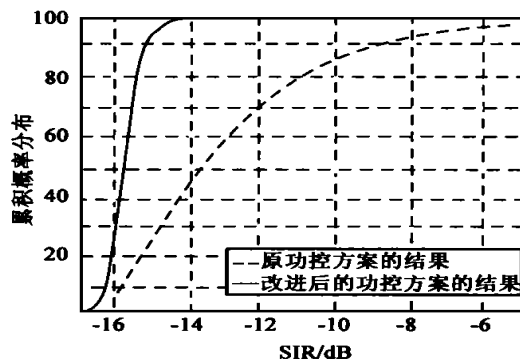


图3 信干比 SIR 的分布

文中采用的仿真环境: 在仿真中随机生成移动台, 而且移动台的方向和速度也是随机产生的. 移动台到基站的路径增益是由服从对数正态分布的阴影衰落(阴影衰落的标准差为 8dB)和路径损耗指数($\alpha = 3.5$)两部分组成.(注: 系统级仿真一般忽略链路级仿真, 特别关注的由多径产生的快衰落).

每个基站位于小区的中心. 在我们的仿真中, 基站天线分为全向和定向两类, 定向天线的主瓣是 120 度. 在仿真中除了被研究的若干小区以外, 其周围还有很多小区 (被称为边界小区); 为了避免过多的边界小区的存在, RENE 采用了 Wrap-around 的映射技术.

在仿真中, 目标信干比为 - 16.5dB. α 和 β 的取值会产生不同的容量分布. 下面给出 12 个小区的仿真结果, 当 $\alpha = 0.5$, $\beta = -0.2$, $\gamma = 0.7$ 时, 系统的用户数最大. 如表 1 所示, 所研究区域的平均容量比原算法有很大提高, 最大的平均用户数为 30.3.

从图 2 中可以看出新功控方案使小区内用户数大大增加. 经过 1000 组数据仿真计算得出原功控方案所达到的平均每个小区用户数的均值为 16.2 个, 而在新功控方案中平均每个小区平均用户数的均值可以达到 25.3 个.

从图 3 可以看到新的功控算法产生的小区的信干比主要分布在 - 17dB 到 - 15dB 的范围内, 而原功控算法分布在 - 17dB 到 - 6dB 范围内. 新的功控算法的信干比扩展较小, 大大减小了由高信干比移动台造成的干扰, 从而提高整个系统的容量. 仿真结果表明该算法可以使功率调节很快收敛.

表 1 仿真中两种方案所达到的容量最大值

小区号	原方案 用户数	新方案 用户数	小区号	原方案 用户数	新方案 用户数
1	14	32	7	18	28
2	20	32	8	17	29
3	25	31	9	19	31
4	19	30	10	15	33
5	25	30	11	23	30
6	19	29	12	17	29

5 结论

本文提出的部分补偿信干比 SIR 的功控算法可以提高系统的容量, 而且减小信干比 SIR 的扩展范围和系统内相互之间的干扰.

参考文献:

[1] M. Almgren, H. Andersson, K. Wallstedt. Power control in a cellular system [A]. Proc. 44th VTC, 1994.

[2] J. F. Whitehead. Signal-level-based dynamic power control for cochannel interference management [J]. Proc. 43rd VTC, May 1993:499 - 502.

[3] M. Almgren, H. Andersson, K. Wallstedt. Capacity enhancements in a TDMA system [A]. Proc. 43rd VTC, May 1993:277 - 280.

[4] J. Zander. Performance of optimum transmitter Power control in cellular radio systems [J]. IEEE Trans. on V. T., Feb. 1992, 41(1).

[5] W. Tschirks. Effects of transmission power control on the cochannel interference in cellular radio networks [J]. Electrotechnik und Informationstechnik, 1989, 106(5).

[6] A. M. Viterbi, A. J. Viterbi. Erlang capacity of a power controlled CDMA system [J]. IEEE J. Select. Areas Commun., Aug., 1993, 11(6): 892 - 900.

[7] J. Zander. Distributed cochannel interference control in cellular radio systems [J]. IEEE Trans. on V. T., Aug., 1992, 41(3):305 - 311.

[8] G. J. Forschini, Z. Miljanic. A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence [J]. IEEE Trans. on V. T., Nov., 1993, 42:641 - 646.

[9] Chi Wan Sung, Wing Shing Wong. A distributed fixed-step power control algorithm with quantization and active link quality protection [J]. IEEE Trans. on V. T., Mar., 1999, 48(2):553 - 562.

[10] 孙立新, 邢宁霞编. 码分多址移动通信技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996 年.

作者简介:



王卫东 1989 年毕业于西安交通大学获工学学士学位, 1997 年毕业于北京科技大学获工学硕士学位. 现为北京邮电大学电信工程学院的博士研究生. 研究方向为宽带移动通信系统.



沈志春 1977 年出生, 1996 ~ 2000 年就读于北京邮电大学, 2000 年开始在北京邮电大学攻读硕士学位. 主要研究方向: 小区规划, 功率控制.