

# 应对 CDMA 系统有界干扰的鲁棒自适应功率控制

吕文渊, 韩存武, 马鹏维, 马海燕  
(东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620)

**摘要:** 提出了一种应对 CDMA 系统中有界干扰的鲁棒自适应功率控制算法。仿真结果表明, 与传统的功率控制算法相比, 该算法性能优越, 可以使用户获得更高的信噪比和较低的发射功率, 且系统容量得到了提高。

**关键词:** CDMA; 带死区的最小二乘法; 广义最小方差

中图分类号: TN911

文献标识码: A

## Robust adaptive power control algorithms for CDMA systems with bounded disturbances

LV Wen Yuan, HAN Cun Wu, MA Peng Wei, MA Hai Yan  
(Institute of Information Science and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** This paper proposes a robust adaptive power control algorithms for CDMA systems with bounded disturbances. The simulation shows that, compared with traditional power control algorithm, the suggested power control algorithm has better performance. And users can get higher SIR and lower transmit power, and the capacity of systems is improved.

**Key words:** CDMA; dead-zone of the least-squares method; generalized minimum variance

功率控制是无线移动通信的核心问题, 与 CDMA 小区系统的容量与干扰是密切相关的, 并且是一种提高系统容量、改善通信质量的有效途径。

到目前为止, 已经提出了很多功率控制的算法。RINTAMAKI M、KOIVO H 和 HARTIMO I 提出了一种闭环系统中的自适应自校正控制器<sup>[1]</sup>, Seung-Ok Choi 和 Kwan-Ho You 提出了在上行链路中, 基于线性二次跟踪理论的自适应功率控制算法<sup>[2]</sup>。

本文提出了一种在系统存在有界干扰时的鲁棒自适应功率控制算法。先定义了 1 个由多路衰减效应引起的信道变量, 为了得到这个变量的估计值, 采用了带死区的最小二乘法。根据估计值, 可以对用户在每一步的发射功率进行更新来达到期望的信噪比。最后, 用广义最小方差算法来得到用户在每一步的发射功率的迭代公式。

### 1 系统模型

假设 1 个系统由  $K$  个基站和  $M$  个移动台组成<sup>[3]</sup>, 其中的 1 个基站作为目标基站。在基站  $k$  接收到用户  $i$  的信息比特能量( $E_b$ )与干扰功率谱密度( $M_0$ )之比(信噪

比)为:

$$SIR_i = \gamma_i = \frac{E_b}{M_0} = \frac{G_{ki} p_i}{\sum_{j \neq i}^M G_{kji} p_j + \eta_i} \geq \gamma_i^* \quad (1)$$

其中,  $p_i$  为用户  $i$  的发射功率, 它通常受限于最大发射功率, 即  $0 \leq p_i \leq p_{imax}$ ;  $G_{ki}$  表示用户  $i$  与基站  $k$  的链路增益;  $\eta_i$  为背景噪音;  $\sum_{j \neq i}^M G_{kji} p_j$  表示其他用户产生的多址干扰, 可认为是随机且服从正态分布的;  $\gamma_i^*$  为期望的信噪比, 当式(1)取“=”时, 得到最优功率。

### 2 鲁棒自适应功率控制算法

定义: 向量  $p = \{p_i\}$ ,  $\eta = \{\gamma_i^* \eta_i / G_{ki}\}$ ; 矩阵  $H = \{H_{ij}\}$ , 其中,  $H_{ij} = \gamma_i^* G_{kj} / G_{ki}$ ,  $i \neq j$ 。当  $i=j$  时,  $H_{ii} = 0$ , 则式(1)可写为如下的矩阵形式:

$$(I-H)p \geq \eta \quad (2)$$

其中,  $I$  为特征矩阵。当式(2)取“=”时, 求得的为最小功率。

网络与通信 Network and Communication

为了求解式(2), 选用如下的迭代方法<sup>[4-5]</sup>:

$$p(n+1) = M^{-1} Np(n) + M^{-1} \eta, n=0, 1, \dots \quad (3)$$

其中,  $M$  和  $N$  是迭代矩阵, 并且满足  $p^* = M^{-1} Np^* + M^{-1} \eta$ ,  $p^*$  是式(2)去“=”时的唯一解。

令  $M=I, N=H$ , 则得出经典功率控制算法<sup>[6]</sup>:

$$p(n+1) = Hp(n) + \eta, n=0, 1, \dots \quad (4)$$

将(1)式代入(4)式, 可得:

$$p_i(n+1) = \frac{\gamma_i^*}{\gamma_i(n)} p_i(n)$$

当系统存在有界干扰时, 鲁棒自适应功率控制算法推导如下:

假定 1 个移动台和它的基站彼此之间进行通信。令

$$\theta_i = \sum_{j \neq i} \frac{G_{kj}}{G_{ki}} p_j + \frac{\eta_i}{G_{ki}}, \text{ 则式(1)可写为: } \gamma_i = \frac{p_i}{\theta_i} \text{。信道变量 } \theta_i$$

可用带死区的最小二乘法来估计。定义变量  $\theta_i$  如下:

$$\theta_i(n+1) = \theta_i(n) + \omega_d$$

其中,  $\omega_d \leq d$  为带有未建模动态的有界干扰。

由带死区的最小二乘法可得  $\theta_i(n)$  的最优估计值为:

$$\hat{\theta}(n) = \hat{\theta}(n-1) + k[\theta(n) - \hat{\theta}(n-2)]$$

$$k = \frac{a(n-1)\phi(n-1)P(n-1)\phi(n-1)^T P(n-2)}{1 + a(n-1)\phi(n-1)^T P(n-2)\phi(n-1)}$$

$$P(n-1) = P(n-2) + \frac{P(n-2)\phi(n-1)\phi(n-1)^T P(n-2)}{1 + \phi(n-1)^T P(n-2)\phi(n-1)}$$

其中,  $P(n)$  是  $p \times p$  矩阵,  $P(n)$  的初始值  $P(-1)$  是任给的正定矩阵。

$$a(n-1) = \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{|\theta(n) - \hat{\theta}(n-2)|}{1 + \phi(n-1)^T P(n-2)\phi(n-1)} > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

其中,  $\hat{\theta}(n)$  是  $\theta(n)$  在第  $n$  步的最优估计值,  $k$  是带死区的最小二乘法的增益值。

如果在变量  $\theta_i$  的条件下, 在第  $n$  步达到了期望的信噪比  $\gamma^*$ , 那么就可以得到最优的功率  $p^*(n) = \gamma^* \times \hat{\theta}(n)$ 。由于变量  $\theta_i$  不是固定步长, 所以最优的发射功率在每一步都是不规则变化的。为了能够达到期望的信噪比, 移动台必须按照最优功率值  $p^*(n)$  来向基站发射功率。

定义状态方程为:

$$p(n+1) = p(n) + u(n)$$

下面, 用广义最小方差算法来求解  $u(n)$ 。

定义:

$$\begin{cases} P = 1 + p_1 q^{-1} + \dots + p_{np} q^{-np} \\ R = r_0 + r_1 q^{-1} + \dots + r_{nr} q^{-nr} \\ Q' = q'_0 + q'_1 q^{-1} + \dots + q'_{nq} q^{-nq} \\ F = 1 + f_1 q^{-1} + \dots + f_{k-1} q^{-(k-1)} \\ G = g_0 + g_1 q^{-1} + \dots + g_{n-1} q^{-(n-1)} \\ \mu = \frac{b_0}{q'_0} \end{cases}$$

加权二次型性能指标为:

$$J = E\{[Pp(n) - Rp^*(n)]^2 + \mu[Q'u(n)]^2\}$$

根据广义最小方差控制率, 可以得出控制输入如下:

$$u(n) = -\frac{G}{F+Q'} p(n) + \frac{R}{F+Q'} p^*(n)$$

因此, 可以得出:

$$p(n+1) = \frac{F+Q'-G}{F+Q'} p(n) + \frac{R}{F+Q'} p^*(n)$$

由于用户的发射功率受限于最大发射功率, 即  $0 \leq p \leq p_{\max}$ , 因此, 每个用户的发射功率和信噪比表示如下:

$$p(n+1) = \min\left\{\frac{F+Q'-G}{F+Q'} p(n) + \frac{R}{F+Q'} p^*(n), p_{\max}\right\}$$

$$\gamma(n) = p(n)/\theta(n)$$

### 3 仿真分析

利用上面所提出的 2 种算法, 采用 MATLAB 作为仿真工具对其进行测试。

假设系统中有 10 个用户, 用户目标信噪比为 6 dB, 系统的处理增益为 68。

在系统所有用户发射总功率一定时, 调整 2 种算法中系数因子, 可以得出它们的信噪比性能比较如图 1 所示及发射功率比较如图 2 所示。通过仿真可以看出, 本文提出的功率控制算法比传统的功率控制算法性能优越, 使用户获得更高的信噪比, 较低的发射功率, 且系统容量得到了提高。

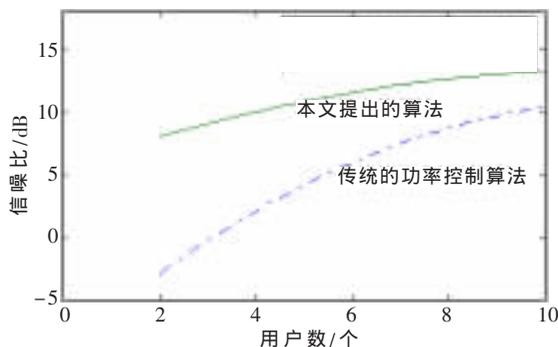


图 1 传统的功率控制算法与鲁棒自适应功率控制算法信噪比性能比较

本文提出了 1 种鲁棒自适应功率控制算法, 仿真结果表明, 新算法比传统的算法起到更好的功率控制效

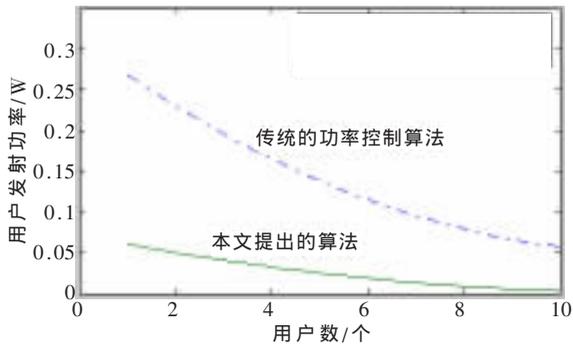


图 2 发射功率比较

果,可以有效地降低系统内干扰,大大提高系统容量。

#### 参考文献

- [1] RINTAMAKI M, KOIVO H, HARTIMO I. Adaptive closed-loop power control algorithms for CDMA cellular communication systems [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2004, 53(6):1756-1758.
- [2] SEUNG-Ok Choi, KWAN-Ho You. Channel adaptive power

control in the uplink of CDMA Systems [C]. Wireless Personal Communications, 2008, 47(3):441-448.

- [3] ARIYAVISITAKUL S. SIR based power control in a CDMA system[C]. Proc. IEEE GLOBECOM, 1992:868-873.
- [4] JANTTI R, KIM S L. Second-order power control[C]. IEEE J. Select. Areas Communication, 2000, 18(3):447-457.
- [5] ZANDER J, KIM S L, ALMGREN M, et al. Radio Resource Management for Wireless Networks[M]. 2001.
- [6] FOSCHINI G J, MILJANIC Z. A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence[C]. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 1993, 42(4):641-646.

(收稿日期:2009-07-24)

#### 作者简介:

吕文渊,男,1984年生,硕士研究生,主要研究方向:鲁棒自适应控制方面的研究。

韩存武,男,1964年生,男,教授,博士生导师,主要研究方向:计算机控制,鲁棒控制,数字信号处理及应用方面的研究。