

一种改进的基于联合系数的 CDMA 功率控制算法

刘小龙, 谢绍斌, 秦飞雪

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘要:通过分析传统的 CDMA 功率控制算法,提出了一种改进的基于联合系数的 CDMA 功率控制算法。在此算法中,对功率向量进行迭代更新的同时对接收机滤波器抽头系数进行迭代更新。仿真结果表明,在发射总功率一定时,用户可获得更高的信干比,同时用户的发射功率比传统算法明显降低,提高了系统容量。

关键词:联合系数;功率控制;多用户接收机;信干比

中图分类号: TN929 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)06-0038-03

由于 CDMA 系统是干扰受限系统,多址干扰和远近效应使系统容量的提高受到了严重影响^[1]。但多用户检测技术和功率控制技术可以有效地减弱这种影响。通过功率控制,可以克服蜂窝系统的“远近效应”,同时能使用户的发射功率最小化,从而提高系统的容量和优化系统的性能。采用多用户检测可以降低对功率控制的要求,将两项技术结合起来,会收到更好的功率控制效果。

Saraydar 对功率控制算法作了理论上的分析^[2],提出的基于代价函数的功率控制算法没有和多用户检测技术结合起来,所以功率控制的效果不是很理想。而改进的基于多用户检测的功率控制算法是将多用户检测和迭代系数结合起来,取得了更好的功率控制效果。

1 代价函数算法性能分析

在 CDMA 系统的功率控制中,代价函数就是用户发射功率的函数。选用合适的代价函数,把对功率控制的求解问题转化为求某个代价函数取最优值的问题。

通过理论分析,Saraydar 提出了基于下面代价函数的功率控制算法^[2]:

$$J_i(p_i, p_{-i}) = \lambda_i p_i - \ln(1 + \gamma_i) \quad \forall i \quad p_i > 0 \quad (1)$$

式中 λ_i 为代价因子,用来表示用户 i 的功率级水平, p_i 为用户 i 的发射功率, p_{-i} 是除去第 i 个用户外其他用户的功率矢量, γ_i 为用户 i 的信干比。

$$\gamma_i = L \frac{h_i p_i}{\sum_{j \neq i} h_j p_j + \sigma^2} \quad (L = W/R) \quad (2)$$

式中 L 为 CDMA 系统的扩频增益, h_i 为链路增益, σ^2 为干扰噪声, W 为码片速率, R 为扩频后信号的传输速率。

根据 Saraydar 的理论,其功率控制算法为

$$p_i(p_{-i}, \lambda_i) = \begin{cases} \frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{L h_i} (\sum_{j \neq i} h_j p_j + \sigma^2) & \sum_{j \neq i} h_j p_j \leq \frac{L h_i}{\lambda_i} - \sigma^2 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{\partial J_i(p_i, p_{-i})}{\partial p_i} = \lambda_i - \frac{L h_i}{\sum_{j \neq i} h_j p_j + L h_i p_i + \sigma^2} > 0 \quad (4)$$

收稿日期:2005-04-20

基金项目:军队科研专项基金资助项目

作者简介:刘小龙(1979-),男,甘肃镇原人,硕士生,主要从事移动通信技术研究。

式(4)为收敛的限制条件。从式(3)中可以看出,功率解向量除了与一些系统参数有关外,又依赖于参数 λ_i 和 h_i 。

2 改进的基于联合系数的功率控制算法

2.1 联合系数的定义

根据系统要求,在满足服务质量条件下,用户要达到传输功率最小,同时使整个系统内由各种干扰引起的失真最小。在下文中,采用最小均方误差(MMSE, Minimum Mean Squared Error)准则作为衡量失真大小的标准。在进行功率控制时,对功率向量进行迭代更新的同时要对接收机滤波器的抽头系数进行最优化的迭代处理,这样才能达到使 MSE 最小的目的。所以,需要定义出一个以滤波器抽头系数 c_i 和功率向量 p_i 为参数的函数。这里使用 $J_i(p_i, p_{-i}, c_i)$ 表示用户 i 的联合系数。

$$J_i(p_i, p_{-i}, c_i) = \lambda_i p_i - \ln(1 + \gamma_i) \quad (5) \quad \text{SIR}_i = f(p_i, c_i) = L \frac{p_i h_{ii}}{\sum_{j \neq i} p_j h_{ij} \frac{(c_i^T s_j)^2}{(c_j^T s_j)} + \sigma^2 \frac{(c_i^T c_i)}{(c_i^T s_i)^2}} \quad (6)$$

式(6)为用户 i 在采用多用户接收机时得到的信干比的表达式。

式(5)取得最小值的点就是功率控制的最佳功率解向量。式(5)有极小值的必要条件是对 p_i 一次偏导非负,二次偏导为正值。如下式所示:

$$\frac{\partial J_i(p_i, p_{-i}, c_i)}{\partial p_i} = \lambda_i - \frac{L h_{ii}}{\sum_{j \neq i} h_{ij} p_j \frac{(c_i^T s_j)^2}{(c_j^T s_j)^2} + L h_{ii} p_i + \sigma^2 \frac{(c_i^T c_i)}{(c_i^T s_i)^2}} \geq 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 J_i(p_i, p_{-i}, c_i)}{\partial p_i^2} = \frac{L^2 h_{ii}^2}{\left(\sum_{j \neq i} h_{ij} p_j \frac{(c_i^T s_j)^2}{(c_j^T s_j)^2} + L h_{ii} p_i + \sigma^2 \frac{(c_i^T c_i)}{(c_i^T s_i)^2}\right)^2} > 0 \quad (8)$$

考虑到实际情况,根据式(4)和式(7),对当前用户来说,式(7)的分母应满足:

$$\frac{(c_i^T s_j)^2}{(c_i^T s_i)^2} < 1 \quad (9)$$

相对其他用户的发射功率来说,噪声项的干扰比较小,可忽略。所以有下式成立:

$$\sum_{j \neq i} h_{ij} p_j \frac{(c_i^T s_j)^2}{(c_i^T s_i)^2} + L h_{ii} p_i + \sigma^2 \frac{(c_i^T c_i)}{(c_i^T s_i)^2} < \sum_{j \neq i} h_{ij} p_j + L h_{ii} p_i + \sigma^2 \quad (10)$$

$$\frac{\partial J_i(p_i, p_{-i}, c_i)}{\partial p_i} > \frac{\partial J_i(p_i, p_{-i})}{\partial p_i} \quad (11)$$

式(10)、(11)表明,式(4)表述的限制条件也是满足式(7)的一个限制条件。当接收机滤波器系数一定时,由式(7)可以得出最佳功率解向量的迭代式如下:

$$p_i^{(n+1)}(p_{-i}^{(n)}, \lambda_i, c_i) = \max\left(\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{L h_{ii}} \left(\sum_{j \neq i} h_{ij} p_j \frac{(c_i^T s_j)^2}{(c_j^T s_j)^2} + \sigma^2 \frac{(c_i^T c_i)}{(c_i^T s_i)^2}\right), 0\right) \quad (12)$$

根据以上分析可以看出,按照式(12)进行迭代运算时,最佳点可能收敛到更低的功率值。对于多用户就意味着更合理地分配功率,系统软容量可以得到进一步提高。

2.2 改进的功率控制算法

通过上文的数学分析,可以建立基于联合系数的 MMSE 多用户接收机改进的功率控制算法。

设:滤波器的功率解向量 p_i 一定,则 MMSE 多用户接收机的滤波器抽头系数有以下迭代:

$$c_i^* = \frac{\sqrt{p_i}}{1 + p_i s_i^T A_i^{-1} s_i} A_i^{-1} s_i \quad (13) \quad A_i = \sum_{j \neq i} p_j h_{ij} s_j s_j^T + \sigma^2 I \quad (14)$$

通过上述综合分析,可以建立功率控制的联合系数法数学模型,如下两式:

$$p_i^{(n+1)}(p_{-i}^{(n)}, \lambda_i, c_i) = \max\left(\frac{1}{\lambda_i} - \frac{1}{L h_{ii}} \left(\sum_{j \neq i} h_{ij} p_j \frac{(c_i^T s_j)^2}{(c_j^T s_j)^2} + \sigma^2 \frac{(c_i^T c_i)}{(c_i^T s_i)^2}\right), 0\right) \quad (15)$$

$$c_i = \frac{\sqrt{P_i}}{1 + p_i s_i^T A_i^{-1} s_i} A_i^{-1} s_i A_i^{-1} s_i \quad (16)$$

在本算法中,若每个用户的信干比目标是一定的,那么从任何初始点开始迭代,都会收敛到唯一的最佳功率点。

3 仿真分析

仿真条件:基站接收端采用 MMSE 多用户接收机。根据系统实际要求,调整联合系数大小会达到不同的功率控制效果。

假设:系统中有 18 个用户,用户目标信干比为 6 dB,信道噪声的方差为 0.000 1,系统的处理增益为 68。

在系统所有用户发射总功率一定时,调整两种算法中系数因子,可以得出它们的信干比性能比较(见图 1)及发射功率比较(见图 2)。通过仿真可以看出,改进的功率控制算法比传统算法性能优越,使用户获得更高的信干比,较低的发射功率,且系统容量得到了提高。

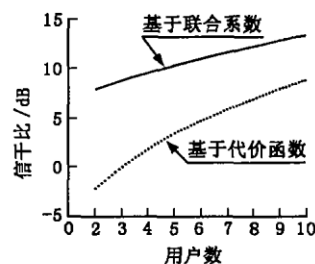


图 1 两种功率控制算法的信干比性能比较(λ 取横值)

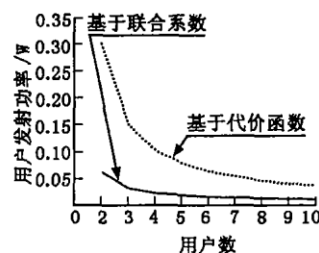


图 2 两种功率控制算法发射功率的比较($\lambda_i = kh_i$)

参考文献:

- [1] Goodman D, Mandayam N. Power Control for Wireless Data[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(4): 40 - 58.
- [2] Saraydar C U, Mandayam N B. Efficient Power Control Via Pricing in Wireless Data Networks[R]. Rutgers University, 2001.
- [3] Gilhousen K S. On the Capacity of a Cellular CDMA Systems[J]. IEEE Trans veh Technol, 1991, 40(2): 256 - 360.
- [4] Ratanamahatana S, Kwon H M. Channel Estimation for Power Controlled 3G CDMA[A]. IEEE VTC2000[C]. 2351 - 2504.
- [5] 柴远波, 罗兴国, 季新生. Cdma2000 1x 前向功率分配分析[J]. 电子学报, 2003, 31(10): 1594 - 1597.
- [6] 宋荣方, 毕光国. CDMA 系统中 2D - RAKE 接收机性能比较[J]. 电子与信息学报, 2002, 24(5): 678 - 683.

(编辑: 门向生)

An Improved Power Control Algorithm Based on Associated Coefficient in CDMA System

LIU Xiao-long, XIE Shao-bin, QIN Fei-xue

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: An improved power control algorithm is proposed based on the associated coefficient in CDMA system by analyzing the traditional power control algorithm. In this algorithm, both the power vectors and filter coefficients are renovated. The simulation result shows that when the total transmission power is definite, users can obtain a higher SIR, at the same time, the users' transmission power is reduced distinctly compared to the traditional algorithm and the capacity of the system is also improved.

Key words: associated coefficient; power control; multi-user receiver; signal to interference ratio