

一种 TD-SCDMA 系统中的自适应功率控制算法

王妙音, 季飞, 韦岗, 陈国建

(华南理工大学电子与信息学院, 广州 510640)

摘要: 功率控制是 TD-SCDMA 系统无线资源管理的核心技术之一, 它对保证系统的高质量通信起着至关重要的作用。为了更好的降低系统传输信息的误比特率(BER), 本文针对 TD-SCDMA 系统的功率控制模块, 研究一种适用于反向链路的自适应功率控制算法。通过 MATLAB 软件仿真的方法, 在 TD-SCDMA 物理层仿真平台上对自适应功率控制算法与定步长功率控制算法进行比较, 分析了这两种算法的性能特点。仿真结果表明, 自适应功率控制算法有着更好的可行性和有效性, 在降低传输误比特率和提高系统性能方面有着实际的效果。

关键词: 第三代移动通信; 时分同步码分多址接入; 反向链路; 自适应功率控制

中图分类号: TN929.533 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-8329(2007)03-0029-04

An Adaptive Power Control Algorithm for TD-SCDMA System

WANG Miao-yin, JI Fei, WEI Gang, CHEN Guo-jian

(School of electronic and information engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In TD-SCDMA system, power control is one of the key technologies of radio resource management; it plays a significant role in guaranteeing the high quality communication of the system. In order to decrease the Bit Error Rate (BER) of transmission information, this paper studies an adaptive power control algorithm for uplink against the power control module of TD-SCDMA system. By the simulation in the software MATLAB, this algorithm and the step size fixed power control algorithm in the physical layer simulation platform of TD-SCDMA system are compared, and the performance characteristic of the two algorithms is analyzed. Simulation results demonstrate that the adaptive power control algorithm has better feasibility and effectiveness; it has practical effect on decreasing BER and increasing system performance.

Key words: 3G; TD-SCDMA; uplink; adaptive power control

1 引言

TD-SCDMA 系统是由中国无线通信标准化组

织(CCSA)提出,并得到国际电联(ITU)通过的第三代移动通信系统(3G)的无线通信标准,是 TDMA 和 CDMA 两种基本模式的灵活结合。作为 CDMA 系统,TD-SCDMA 是一个自干扰系统^[1],它的系统

• 基金项目: 广东省粤港投标项目(20050304), 国家自然科学基金青年基金(60502041), 广东省自然科学基金博士启动基金(05300146)资助。

作者简介: 王妙音, 女, 1983 年生, 华南理工大学电子与信息学院 2005 级硕士, 专业为信号与信息处理。

容量和质量主要受限于系统内各移动台间的干扰。CDMA 系统除了具有多址干扰,还存在着强信号淹没弱信号的“远近效应”^[2],用户位于相邻小区交界时产生的“角效应”^[2]和电磁传播中由于高大建筑物的阻挡形成的“阴影效应”^[3]。要克服以上种种不利影响,最有效的方法就是采用功率控制技术,它既可以保证系统维持高质量通信,又不会对同频道其他码分信道产生干扰。功率控制是 CDMA 系统中的关键技术之一。

从通信的上、下行链路角度来考虑,功率控制可以分为前向功率控制和反向功率控制。若从功控环路的类型来划分,又可分为开环功率控制、闭环功率控制和外环功率控制。开环功率控制的基本原理是根据用户接收功率与发射功率之积为常数,测量接收功率的大小,并由此确定发射功率的大小,它用于确定用户的初始发射功率,或用户接收功率发生突变时的发射功率调节,能快速响应信道的变化,但精确性难以得到保证。闭环功率控制通过对比接收功率的测量值与信干比门限值,确定功率控制比特信息,然后通过信道把功率控制比特传送到发射端,并据此调节发射功率的大小。该方法控制准确度高,有利于解决快衰落,但响应时间长,这段时间内会造成各种干扰;同时基站必须对每个移动台有响应的控制信道,所以实际中常采用开闭环结合的方法。外环功率控制技术在闭环控制的基础上,不设定固定的信干比门限,通过计算接收误帧率来确定闭环功率控制所需的信干比门限,通常需要采用变步长方法,以加快上述信干比门限的调节速度,但复杂度相对较高。

本文重点研究一种反向链路的闭环功率控制算法。在诸多现有文献中,常用的算法有基于线性预测的闭环功率控制、强度与信干比相结合的功率控制、定步长功率控制、自适应步长的功率控制等。基于线性预测的闭环功率控制能够补偿功率控制比特的处理和传输延迟,同时减小功率控制比特误码所造成的影响,但可能产生正反馈;强度与信干比相结合的方法可以弥补这一缺陷。定步长功率控制算法比较容易实现,但由于该算法每次功率调节幅度是恒定的,当信道衰落较快时,功率控制跟不上功率大小的变化而不能达到很好的效果。而自适应功率控制算法可根据快衰落信道特性,动态调整步长,以达到更好的控制效果。本文讨论了一种 TD-SCDMA 系统

中的自适应步长反向闭环功率控制算法,并在 TD-SCDMA 链路仿真平台上进行了仿真,通过比较它与定步长功率控制算法的系统性能,可见该算法能够达到更低的系统误比特率和更好的抗干扰能力。另外,本文的算法步骤相对其他自适应功率控制算法更为简单,在降低算法复杂度上有着更好的优势。

2 反向闭环自适应功率控制算法^[4]流程

反向闭环功率控制是反向功率控制的核心,它是由基站协助移动台完成的。基站每 1.25ms 检测一次解调的反向业务信道信号的信噪比 SNR,然后将其与某一设定的门限作比较,若收到的 SNR 高于门限值(下文均表示为 SNR—thre),基站就在前向信道上送出一个减小移动台发射功率的命令;反之,就送出一个增加发射功率的命令。而移动台则每 1.25ms 调节一次发射功率,调节步长一般为 1dB。当由于失去同步接收不到传输功率控制(TPC)^[1]比特时,发射功率将保持在一个固定值上;当由于失去同步而不能进行 SNR 测量时,则在失步期间 TPC 命令总是置为“增加”。采用定步长功率控制算法^[5]时,每帧执行一次,SNR—thre 的改变依赖于当前误帧率(FER)与误帧率门限(FER—thre)的比较结果。当 FER>FER—thre 时,错帧可能是当前错帧引起的,也可是早先错帧所致,必须分别对待,具体步骤略。

对于反向闭环自适应功率控制,算法流程简单易行。假设数据接收端的 Rake 接收机^[6]有 L 个抽头,则总接收功率 P_R 为

$$P_R = \sum_{l=1}^L P_{R,l} \quad (1)$$

式(1)中 $P_{R,l}$ 为第 l 个抽头的接收功率。采用基于强度的功率控制,当 $P_R > P_{\text{target}}$ 时,功率控制比特置为 0,当 $P_R < P_{\text{target}}$ 时,它置为 1。用 7 位的移位寄存器存储当前及前 6 个功率控制比特,存储值依次记为 $R_0, R_1, \dots, R_6$,此 7 个功率控制比特同时参与发射功率的调整。如果 $R_0, R_1, \dots, R_6$ 出现 0,1,0,1,0,1,0 或 1,0,1,0,1,0,1 的模式,说明接受功率 P_R 与目标功率 P_{target} 近似相等,如果出现连续的 0 或 1,说明接受功率过高或过低,需加大调整步长。设 g 为步长加权因子, φ 为原步长,新步长为 Δ ,则 Δ 为

$$\Delta = \varphi + g\lambda \quad (2)$$

其中 λ 为系统参数。 $R_0, R_1, \dots, R_6$ 与 g 的对应关系如表1所示。其他情况,步长加权因子一律取0。当衰落较慢时,步长 $\Delta = \varphi$;当衰落较快时,根据 $R_0, R_1, \dots, R_6$ 查表得到 g ,再代入以上公式计算步长。

表1 功率控制比特与步长加权因子对应关系

R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	g
1	1	1	0	x	x	x	1
1	1	1	1	0	x	x	3
1	1	1	1	1	0	x	2
1	1	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	3
0	1	1	1	1	1	0	2
0	0	1	1	1	1	1	3
0	0	0	1	1	1	1	2
0	0	0	1	x	x	x	1
0	0	0	0	1	x	x	1
0	0	0	0	0	1	x	2
0	0	0	0	0	0	1	0

3 TD-SCDMA 链路仿真平台简介与仿真结果分析

TD-SCDMA 链路仿真平台是由本实验室采用 MATLAB 所开发的,该平台根据 TD-SCDMA 标准,对 TD-SCDMA 的链路层进行仿真。此仿真系统由以下三部分组成:基本传输和物理层部分,智能天线以及功率控制部分。利用这些模块,可以掌握 TD-SCDMA 的一些主要功能的性能,比如在不同信道模型,不同的用户,不同的多普勒频移(F_d)^[7]以及不同延迟下的性能比较等等。同时也可以研究 TD-SCDMA 的关键技术,比如联合检测,智能天线和功率控制。

功率控制模块(Power Control, PC)的主要功能是在维持链路通信质量的前提下尽可能小的消耗功率资源,从而降低网络中的相互干扰和延长终端电池的使用时间。该模块能够产生功率控制命令,以及当前功率控制比特信息。本文主要是仿真闭环功率控制,包括基于 BER 的闭环功率控制和基于信

干比(SIR)的闭环功率控制。如图1所示,数据源在附加了功率控制比特信息后,以判断功率大小需要如何调整,然后通过瑞利信道传输;接收端接收数据的同时,通过获取功率控制比特信息来判断 TPC 命令,反馈给调整发射功率的子模块。另一方面,接收端计算 SIR,并与目标值做比较,同时产生新的功率控制比特信息。在不考虑 TPC 指令比特误差的情况下,基于 SIR 的闭环功率控制模块可简化为图2所示。

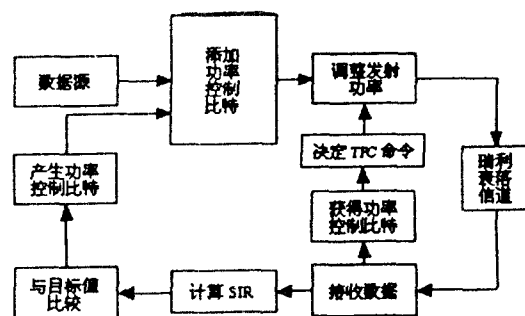


图1 基于 SIR 的闭环功率控制模块

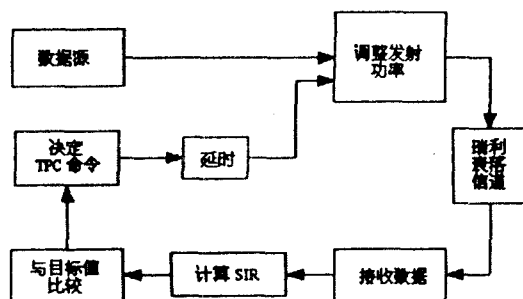


图2 忽略 TPC 比特误差基于 SIR 的功率控制模块

为了方便验证并优化算法,本文仿真了在不考虑 TPC 指令比特误差的情况下的基于 SIR 的闭环功率控制,且在仿真时做出以下几点简化:假设源数据速率为 9.6 kbit/s,只考虑全速率传输;假设信道中加入的噪声为高斯白噪声,用白噪声代替多用户干扰;考虑反向闭环功率控制和反向外环功率控制,未仿真反向开环功率控制。

如图3所示,我们分别对单个小区内的单用户、四用户及八用户的情况进行了仿真,其中横坐标表示传输信道的信噪比 SNR,纵坐标表示数据传输的误比特率 BER。由于 TD-SCDMA 系统是码分多址系统,所有用户均使用相同频段的无线信道和相同的时隙,用户间仅靠地址扩频码的不同,即靠它们之间的互相关特性加以区分。当用户间的互相关不为零,就存在着一定的干扰,在无功率控制的情况

下,用户数越多,互相干扰就越大。

同时,我们分别对无功率控制、定步长功率控制和自适应步长功率控制三种情况下的系统性能进行了仿真。仿真中,根据信干比 SIR 产生功率控制比特,定步长功率控制采用 1dB 的步长,自适应步长的功率控制根据接收信号的功率大小与目标值比较,选取自适应步长。传输信道采用加性高斯白噪声信道和四径的瑞利衰落信道,多普勒频移为 30Hz。功率控制的速度为 0—200 次/秒(即每一个子帧周期 5ms 一次),功率控制比特的传输误码忽略不计。从图 4 可以看出,采用功率控制技术可以有效的降低传输误比特率,提高系统性能,而采用自适应步长的功率控制算法比固定步长的功率控制算法效果更好。

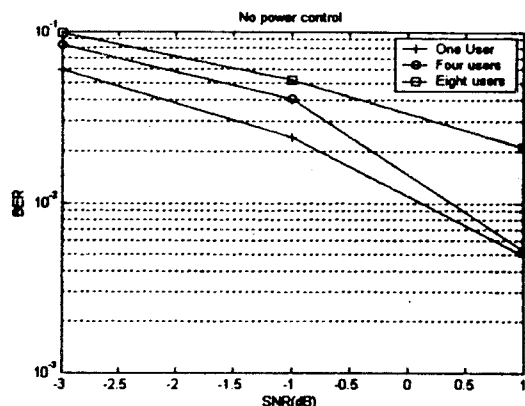


图 3 无功率控制情况下不同用户的误比特率

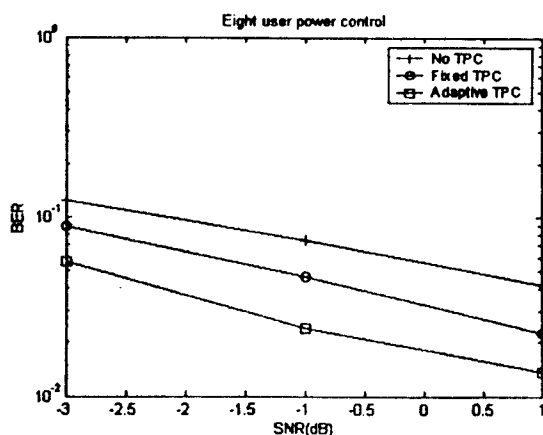


图 4 八用户功率控制算法性能图

另外,本文也仿真了不同的频移情况下的功率控制对系统性能的影响。当多普勒频移过高时,功率

控制的应用并未有效的降低误比特率,反而比无功率控制时的误比特率更高,系统性能也随之下落。这是因为在大多普勒频移情况下,功率控制的速率无法跟上信道的衰落,因此基于 SIR 的功率控制适用于小多普勒频移的情况。

4 结 论

本文给出了一种 TD-SCDMA 系统中自适应步长功率控制算法的具体步骤,并在 TD-SCDMA 链路仿真平台上对该算法和定步长功率控制算法进行了仿真,从仿真结果中可以看出不同算法的性能以及用户数和频移大小对功率控制的影响。随着用户数的增多,相互干扰将增大,采用了功率控制技术后对提高系统性能有很大帮助。同时,从定步长功率控制算法和本文讨论的自适应步长功率控制算法的比较来看,在相同的信噪比情况下,后者具有更低的误比特率,是一种更优更可行的功率控制算法,但适用于多普勒频移小的情况。

参考文献

- [1] 李小文等编著. TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [2] 郭梯云等编著. 数字移动通信[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.
- [3] 彭林等编著. 第三代移动通信技术[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [4] Ulukus S and Yates R. D. Adaptive power control and MMSE interference suppression[J]. ACM/ Baltzer Journal on Wireless Network, 1998, 4(6):489—496.
- [5] Yates Y-J and Chang J-F. A Strength and SIR Combined Adaptive Power Control for CDMA Mobile radio channels [J]. IEEE Trans Veh Technol,1999,48:1 996—2 004.
- [6] 张贤达,保铮. 通信信号处理[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [7] 窦中兆,雷湘编著. CDMA 无线通信原理[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

(收稿日期:2007-03-13)