

基于伪并行遗传算法的 MC-CDMA 多用户检测技术研究

陈国峰, 栾英姿, 杨宇冰

(西安电子科技大学, 陕西 西安 710071)

摘要: 介绍 MC-CDMA 的多用户检测技术。在分析频率选择衰落信道中单小区 MC-CDMA 系统上行多址干扰的基础上, 引入基于“联盟”策略的伪并行遗传算法用于多用户检测技术。通过仿真表明, 与解相关和 MMSE 检测器以及传统遗传算法应用于 MUD 中相比, 其在误比特率性能上更加优秀, 而运行时间却明显小于最佳多用户检测。

关键词: MC-CDMA; 多用户检测; 伪并行遗传算法; MMSE

中图分类号: T N914

文献标识码: A

文章编号: 1004-373X(2010)09-0048-04

Research on Multiuser Detection for MC-CDMA System Based on Pseudo Parallel Genetic Algorithm

CHEN Guo feng, LUAN Ying zi, YANG Yu bing

(Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: An improved pseudo parallel genetic algorithm based on multiuser detection (MUD) is proposed for the multicarrier code division multiple access (MC-CDMA) system in the frequency selective fading channel. The pseudo parallel genetic algorithm based on the allied strategy of human being is used in MUD technology. Simulation analysis shows that the pseudo parallel genetic algorithm based on allied strategy of human being has better performance than DEC, MMSE and tradition GA used in MUD for MC-CDMA systems, and it can provide 97.5% in computational complexity than the optimal multiuser detection.

Keywords: MC-CDMA; multiuser detection; pseudo parallel genetic algorithm; MMSE

0 引言

在 CDMA 标准中, DS-SS-CDMA 是其中的重要部分, 但它不适合非常高的速率传输, 因此人们将 OFDM 与 CDMA 技术相结合, 形成了适用于高速率传输的 MC-CDMA 技术, 即多载波码分多址技术。MC-CDMA 是为宽带移动通信提出的新型调制技术, 信号结构具有大容量、高频谱利用率、抗干扰等优点, 极大地提高了通信速率和抗频率选择性衰落性能, 目前已经成为下一代移动通信的核心技术之一。但该技术仍然需要用响应的扩频码来区分不同的用户和信息, 这就不可避免地会产生多址干扰, 因此限制与消除多址干扰便成为一项终归要解决的任务。功率控制能在一定程度上克服远近效应, 缓解多址干扰的影响, 但不能消除多址干扰; 另外, 功率控制还可以采用空间滤波、智能天线等技术来减少用户间的多址干扰。然而, 作为 3G 中备用的新技术之一的多用户检测 (MUD) 技术可以充分利用各个干扰信号的有效信息, 有效地消除或减弱多址干扰、多径

干扰和远近效应, 改善系统性能, 提高系统容量, 增大小区覆盖范围。因此, MC-CDMA 中的多用户检测技术得到了广泛的研究。

但是, 由于基站和移动台对设备要求和信号处理的目的不同, 上/下行链路信号检测应采用不同方式达到性能和代价的折衷。对于移动台, 为了简化复杂度, 降低成本, 多采用单用户检测; 而上行链路即使没有远近效应也需要 MUD, 因为用户间正交性已经失真, 虽然 ORC (Orthogonality Restoring Combining) 等方案能克服频率选择衰落引起的 MAI, 但对于非同步等造成的 MAI 是无能为力的, 所以在 MC-CDMA 上行链路中, 经常采用 MUD 技术。

1986 年 Verdu 提出了最佳多用户检测器, 他通过深入的理论分析, 首先提出利用已知扩频码的接口信息与统计信息来克服多个用户之间干扰的多用户检测理论与方案。Verdu 提出的多用户检测器是 AWGN 信道下的最佳多用户检测器。接收机的最佳结构是在匹配滤波器后加上 Viterbi 检测算法, 即最大似然序列检测 (MLSE) 算法, 但由于这种最佳多用户检测器是个全局寻优过程, 其最佳多用户检测的运算量则随用户数的增加而呈幂指

数的增加,这使其在实际应用中受到了很大的限制,因此各种次优多用户检测方法应运而生。目前研究较多的次优多用户检测技术主要分为线性和非线性两种,主要有解相关检测器、MMSE(最小均方误差估计)检测器、串行干扰消除器和并行干扰消除器。其中,前两种属于线性多用户检测器中的非自适应多用户检测,后两种属于非线性多用户检测器中的干扰消除检测器。现有的次优多用户检测器均有其各自的特点:解相关(DEC)检测虽然能够完全消除多址干扰,但同时增大了噪声功率;MMSE检测是在抑制干扰和噪声增强之间取折衷,但它也有线性检测的通病,即必须求逆矩阵;串行干扰消除器(SIC)可以明显改善信号强度弱的用户的检测性能,但无法改善用户1(即信号功率最大的用户)的检测性能;并行干扰消除器(PIC)则依据于对初始数据的估计。遗传算法检测器是属于非线性多用户检测中的一种,本文主要对遗传算法检测器做了改进,通过引入基于“联姻”的伪并行遗传算法,实现了基于该算法的MC-CDMA多用户检测,并与DEC和MMSE检测以及传统遗传算法应用于MUD中的性能进行了比较。实验结果表明,在同等条件下,其性能要明显优于解相关、MMSE方法,也要优于传统遗传算法应用于MUD中的性能。

1 MC-CDMA系统模型

MC-CDMA是频域扩频与多载波调制的结合,每个信息符号先与扩频序列各位相乘,相乘后的每路信号调制到每个子载波上,若扩频码长为 N ,则调制到 N 个子载波上。也就是说,一个原始数据符号,通过扩频后,成为多个码片,每个码片在一个子载波上传输。这样一个符号的信息就在多个子载波中并行传输。显然,当扩频码长为1时,MC-CDMA就成为OFDM。

由上述分析,考虑单小区 K 个用户的MC-CDMA上行链路模型,假设使用 N 个子载波进行传输,则其发射机模型如图1所示。

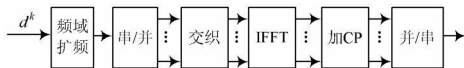


图1 MC-CDMA系统第 K 个用户发射机模型

为不失一般性,假设 t 时刻同时发送 K 个用户的信息,对每个用户只考虑单一的数据符号。这样就可以省去时间下标,而且对于检验多用户检测的性能没有影响,所以这样的假设是合理的。

图1中, d^k 是指第 k 个用户的数据符号,可以用 d 表示一个矢量,它表示在某一时刻发送 K 个用户的数据符号,即:

$$d = [d^0, d^1, \dots, d^{K-1}]^T$$

如果为BPSK调制方式,则 $d^k = \pm 1$ 。

用矢量 C 表示扩频矩阵,由上述假设可知, K 个用户的扩频码组成的这个扩频矩阵是 $N \times K$ 阶的,可以用下式表示:

$$C = [c^0, c^1, \dots, c^{K-1}] = \begin{bmatrix} c_0^0 & c_0^1 & \dots & c_0^{K-1} \\ c_1^0 & c_1^1 & \dots & c_1^{K-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N-1}^0 & c_{N-1}^1 & \dots & c_{N-1}^{K-1} \end{bmatrix}$$

分析可知,经过扩频后的信号为:

$$S = Cd = [S^0, S^1, \dots, S^{N-1}]^T$$

即为IFFT模块的输入信号。

下面来分析信道情况。由于MC-CDMA系统把很宽的频段分为较小的子带,所以可把频率选择性衰落信道转换成每个子载波的平坦衰落信道。又因为信道的相干时间远远大于码元周期,所以可以假设信道为慢衰落信道,每个载波的路径增益和相移在一个FFT周期内为常量,并假设第 i 个载波上的幅度衰落 α_i 是服从瑞利分布的随机变量。

在接收端,采用与发送端大致相反的顺序即可,模型如图2所示。

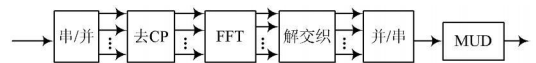


图2 MC-CDMA系统接收机模型

由图2可知,接收端接收到的向量为:

$$r = HS + n = HCd + n$$

其中, H 为信道冲激响应,根据以上假设,它是一个对角矩阵,应为如下形式:

$$H = \begin{bmatrix} \alpha_1 \theta_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \alpha_2 \theta_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \alpha_N \theta_N \end{bmatrix}$$

2 伪并行遗传算法基本原理

遗传算法(GA)是建立在自然选择和自然遗传学机理基础上的迭代自适应概率性搜索算法。算法开始时,首先随机生成若干个初始解即染色体,组成初始种群。然后根据具体问题、具体情况确定适应度函数,再根据各染色体的适应度值,从当前群体中选择优良染色体,使它们有机会作为父代繁殖后代。选择过程中通常采用最大适应度规则,即认为适应值越大,染色体越优秀。然后再对被选中作为父代的染色体进行随机配对,在配对染色体中随机选择杂交位置进行杂交。完成杂交后,再对每条染色体进行随机变异。杂交和变异的目的是为了产生适应值更高的染色体,从而使各代染色体都向前进化。这一进化过程不断重复,直到产生满足要求的解为止。

由于这种基本的遗传算法是单种群的, 种群的大小受到限制, 后代都是由有限个父代产生的, 有相当一部分后代可能源于具有相同基因结构的同一父代, 所以, 这样很容易导致算法的早熟收敛, 即局部最优。

并行遗传算法就是为了解决局部收敛而提出来的, 其特点是在遗传算法的基础上, 将整个种群分解成几个子种群, 各个子种群被分配到不同的处理机上, 每个子种群分别在各自处理机上串行执行, 然后在适当的时候, 各处理机之间交换信息。它的实现一般要求在并行机或局域网网上完成, 而对于很多实时性要求不高的优化问题, 并不需要这样的运行环境。因此, 在并行遗传算法思想上产生的伪并行遗传算法得到了广泛应用。所谓伪并行遗传算法, 是按照并行遗传算法思想将原始种群划分为若干子种群, 按照一定的模式独立进化等。一切过程都是在一个处理机上进行的。

本文主要是把人类的联姻方式应用到伪并行遗传算法中, 即利用多种群并行进化实现 MC-CDMA 中的多用户检测。设 M ($M=2$) 个种群并行进化, 当种群与种群之间满足某种条件时, 不同种群间的当代最佳个体两两联姻, 并将联姻后代中的最佳个体复制到相关的两个种群中, 参与下一代的进化过程。由于联姻后代携带了另一种群的基因, 因此联姻策略一方面能保持种群中基因的多样性, 避免了近亲繁殖带来的早熟收敛, 另一方面由于引进其他种群的优良基因, 因而能够加快算法的搜索过程, 但代价是增加了一定的复杂度。

在采用这种算法时, 判决准则可以是多样的, 既可以是基于 MMSE 准则的, 即每子载波的估计比特与初始比特的均方误差最小, 也可以是基于 MLSE 准则的, 又可以是 LLF(对数似然函数) 准则的。经过大量的仿真证明, 适应度函数选择基于 MMSE 准则时的结果最好, 故适应度函数可定义如下:

$$- \|r^k - H^k C^k a^k\|^2$$

即让该函数值达到最大时的估计值是最优的。

遗传算法主要有选择算子、杂交算子和变异算子, 每种算子又有许多种方法。这里主要采用下述算子方法, 即选择算子采用适应度比例法, 其为遗传算法中最基本, 也是最常用的选择算法, 也叫轮盘赌选择法, 即根据适应度函数值在总适应度函数值中的比例来选择染色体; 杂交算子采用均匀杂交, 以杂交概率随机选取两个染色体配对, 然后随机产生一个小于染色体长度的正整数来确定杂交位置, 再将两个染色体的杂交位置后的部分互换; 变异采用基本变异算子, 即以变异概率随机产生一个或多个小于染色体长度的正整数, 并将这些数所对应位置上的基因值进行变异, 即 +1 变成 -1, -1 变成 +1。

实际应用中基于“联姻”的伪并行遗传算法流程如图 3 所示。

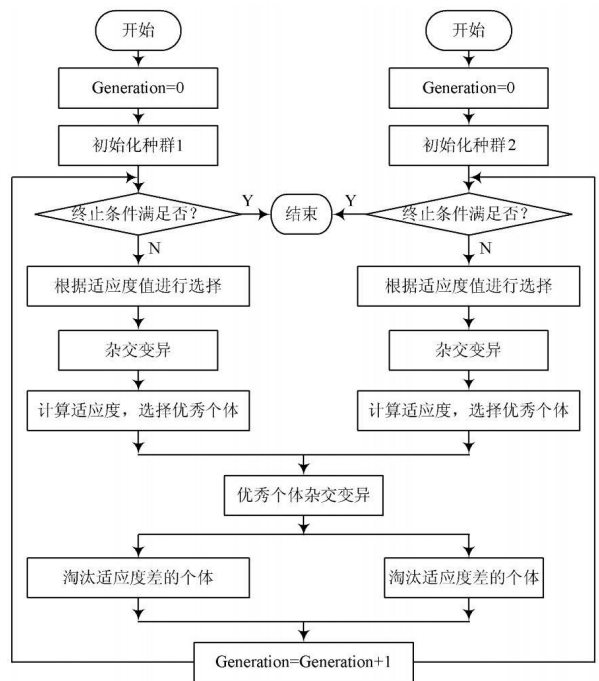


图3 伪并行遗传算法基本流程

3 基于“联姻”策略的伪并行遗传算法应用于 MC-CDMA 系统 MUD 中

为了得到较好的仿真结果, 采用空间分集技术, 使用双天线, 即发送端使用一副天线, 接收端使用两幅天线。针对多天线分集接收 MC-CDMA 系统的特点, 提出基于“联姻”策略的伪并行遗传算法应用于 MC-CDMA 系统的多用户检测方案。为了与传统遗传算法相比较, 先介绍传统遗传算法在 MC-CDMA 系统中的多用户检测方案。具体如下:

(1) 初始化。选取两个种群, 初始种群的输入匹配滤波器的输出, 即均衡解扩之后的硬判决结果。种群中每条染色体代表一种发射信号的估计。由于采用的是 BPSK 调制, 所以每条染色体就是 -1 和 +1 序列, 省去了编码过程。

(2) 根据适应度函数计算每条染色体的适应度值。在这里, 由于采用多天线分集接收, 所以每条染色体将有多个适应度值。对其进行相加, 这样减少了偶然性, 增大了选中正确结果的概率。

(3) 选择。按照轮盘赌选择(即根据适应度函数值占的比例来确定是否选择)从两个种群中分别选择一定数目的染色体。

(4) 交叉变异。上述选择出的染色体作为父代, 根据交叉率和变异率选择一定数目的父代进行均匀交叉和变异, 得出子代。重复前三个步骤, 通过多次循环后,

最终获得优化解。

由上面具体步骤可以看出,传统遗传算法是在单种群内操作,即所有算子都是在一个种群中完成的。改进的伪并行遗传算法是多种群算法,这里采用两个种群并行进行遗传交叉变异,然后再在这两个种群中分别选择较好(适应度值较高)的一部分进行交叉和变异,这样即借鉴了人类的联姻策略,淘汰其中交叉染色体,从而避免了单种群中近亲繁殖带来的早熟收敛。

仿真模型如下:MC-CDMA上行链路,假设共有16个用户;采用WH码进行扩频;使用双天线,即在发送端(用户终端)有一副发射天线,在接收端(基站接收端)有两副接收天线,并假设不同发射接收天线对之间的信道系数相互独立,无相互干扰;适应度函数即为上述,基于每子载波的估计比特与初始比特的均方误差;信道为瑞利信道,幅度服从瑞利分布,假定基站接收端已知各用户的信道信息;变异率为0.08;交叉率为0.1;每个种群40条染色体,每次循环40代。

使用双天线时,在接收端可以得到两个误码率结果,本文是根据BER性能的好坏,选取BER性能较好的一副天线结果作为最终判决结果。

在本文改进的伪并行遗传算法中,使用了两个种群并行遗传,并基于“联姻”策略,让其仿真结果与传统遗传算法和DEC,MMSE算法相比较。其中,传统遗传算法的仿真参数和环境与上述保持一致。

遗传算法性能的好坏,与参数的选择是息息相关的。文中所有参数的选择都建立在大量仿真的基础上,可以说是所有仿真中最好的选择。

4 仿真结果

仿真图如图4所示。

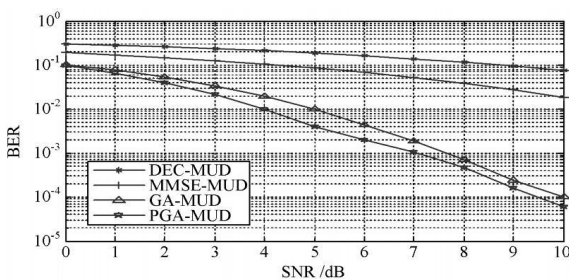


图4 16个用户满载情况下BER性能

作者简介: 陈国峰 男,1984年出生,山东临清人,硕士研究生。研究方向为多载波码分多址中的关键技术研究。
 栾英姿 女,1975年出生,江苏盐城人,硕士生导师。研究方向为多载波码分多址中的关键技术研究。
 杨宇冰 女,1984年出生,河南商丘人,硕士研究生。研究方向为多载波码分多址中的关键技术研究。

5 结语

使用 Matlab 进行仿真,在MC-CDMA系统中对DEC,MMSE和采用基于“联姻”策略的伪并行遗传算法的多用户检测方案进行了比较。从图4可以明显看到,在双天线、满载(即扩频长度为16)的情况下,基于“联姻”策略的并行遗传算法的多用户检测方案在BER性能上比DEC,MMSE要好得多;在增加一定复杂度的情况下,性能比传统遗传算法MUD也要好一些。

同时,在计算复杂度上,其复杂度也比最优多用户检测方案要节约许多。同等条件下,最优多用户检测为一个完全搜索检测,复杂度为 2^{16} ,而采用该算法时,其复杂度为 $40 \times 40 = 1600$,比原来节约了近97.5%。

参考文献

- [1] 杨启文,张国宏.基于“联姻”策略的并行遗传算法[J].电子学报,2000,28(11):108-110.
- [2] 王小平,曹立明.遗传算法——理论应用与软件实现[M].西安:西安交通大学出版社,2002.
- [3] VERDU S. Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multiple access channels[J]. IEEE Trans. on Inform. Theory, 1986, 32(1): 85-96.
- [4] 栾英姿.移动通信中的MC-CDMA技术[D].西安:西安电子科技大学,2003.
- [5] 栾英姿,李建东,杨家玮.MC-CDMA系统采用多用户检测器的性能分析[J].华东理工大学学报,2003(2):185-190.
- [6] 刘洪武,冯全源.MC-CDMA系统中基于遗传算法的多用户检测[J].电子科技大学学报,2008,37(4):485-488.
- [7] 王辉,钱锋.群体智能优化算法[J].化工自动化及仪表,2007,34(5):7-13.
- [8] 闫杰,康桂华,李佳珉.多载波CDMA技术的分析与研究[J].河海大学常州分校学报,2007,21(4):21-23.
- [9] YEN K, HANZO L. Antenna diversity assisted genetic algorithm based multiuser detection schemes for synchronous CDMA systems[J]. IEEE Trans. on Commun., 2003, 51(3): 366-370.
- [10] 李瑶,汪涛,刘珺琨.等.一种基于MC-CDMA的测距算法[J].现代电子技术,2009,32(20):157-159.
- [11] 江慧琴,黄翠兰.非正交多脉冲通信系统的多用户检测性能分析[J].现代电子技术,2008,31(21):4-6.