

基于并行遗传算法的去相关多用户检测器*

陈永倩** 唐普英 肖先赐

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

【摘要】 通过将码分多址通信系统中的最佳多用户检测视为组合优化问题, 利用遗传算法能全局寻优的优势, 提出了一种基于并行遗传算法的去相关多用户检测器。理论分析和仿真表明: 该多用户检测器无论是抗多址干扰的能力还是抗远近效应的能力都明显优于传统的检测器和去相关多用户检测器; 由于采用了基于“联姻”策略的并行遗传算法, 使这种多用户检测器更易于实时应用和硬件实现。

关键词 码分多址; 多用户检测; 并行遗传算法; 去相关

中图分类号 TN911.23

A Decorrelating Multiuser Detector Based on Parallel Genetic Algorithm

Chen Yongqian Tang Puying Xiao Xianci

(College of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract By viewing the optimum multiuser detector in code division multiple access communications systems as a combinational optimum problem, we apply the global optimum performance of genetic algorithms to design a kind of decorrelating multiuser detector based on parallel genetic algorithms(PGADEC-MUD). Theoretical analyses and numerical simulation results have shown that in aspect of multiple-access interference and near-far resistance, the PGADEC-MUD is better than the conventional detector and decorrelating multiuser detector and can be easily implemented by VLSI technology, which benefits from the parallel genetic algorithm.

Key words code division multiple access; multiuser detector; decorrelation; parallel genetic algorithm

码分多址(CDMA)是一种有效的多路复用方法, 在移动通信和个人通信中占有重要的地位。直接序列扩频码分多址(DS-CDMA)是CDMA中一种最常用的方式。在DS-CDMA中, 每一用户的信号指定一个不同的扩频序列, 因此, 接收的信号在时间和频谱上是重叠的。

CDMA通信系统是一个干扰受限系统, 抵消多址干扰必然会带来系统检测性能的改善和容量的提高, 为此激发了最佳多用户检测接收机的研究兴趣。最佳多用户检测公式是^[1]

$$\hat{\mathbf{b}}^* = \arg \left\{ \max_{\mathbf{b} \in \{-1, +1\}^N} \left[-\frac{1}{2} \mathbf{b}^T \mathbf{R} \mathbf{W} \mathbf{b} + \mathbf{Y}^T \mathbf{b} \right] \right\} \quad (1)$$

式中 $\hat{\mathbf{b}}^* = [b_1^*, b_2^*, \dots, b_N^*]^T$ 为最佳多用户检测器输出向量; $\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_N]^T$ 为各用户所发送的信息

2002年3月18日收稿

* 总装备部预研基金资助项目

** 女 28岁 博士生

序列； N 为系统中用户数； $Y = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T$ 为接收信号经匹配滤波器组相关处理后的输出向量； $H = RW$ 称为CDMA系统等效传递矩阵； $R = [r_{ij}]_{N \times N}$ 为各用户PN码互相关矩阵，且为对称矩阵。当各PN码之间不完全正交时，即 $r_{ij} \neq 0$ ，则存在多址干扰。 W 为能量矩阵，是对角矩阵，对角元素 w_{ii} 代表接收到的第 i 个用户的信号能量。

直接求解(1)式的计算量随用户数 N 呈指数增长，属于NP完备问题。为此，人们转而寻求计算量小，快速可靠的次最佳多用户检测算法。去相关多用户检测器^[2]是一种次最佳多用户检测器，其计算量与用户数 N 成比例，在检测中不需要获得信号的能量，具有很强的抗远近效应的能力。但它在消除多址干扰的同时增大了噪声功率，因此导致其检测性能不能达到最优的目标。

遗传算法是一种启发式算法，计算复杂度比较低，能够克服搜索空间指数增长的问题，并且能够获得全局最优，在解决NP完备问题上有独到之处，它使我们产生了用遗传算法解决CDMA中的多用户检测问题的研究兴趣。下面介绍一种基于并行遗传算法的去相关多用户检测器。

1 基于“联姻”策略的并行遗传算法

在单种群的遗传算法中，由于种群大小受到限制，后代都是由有限个父母产生，有相当一部分后代很可能源于具有相同基因结构的同一父母，这很容易导致算法的早熟收敛。

文献[3]将人类的远亲联姻方式引入遗传算法中，提出一种多种群并行进化的遗传算法，即：设 $M(M \geq 2)$ 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种群中，参与其下一代的进化过程。由于联姻后代携带了另一个种群的基因，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危害；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。为防止最佳个体在进化过程中的消失，在进化过程中，将比较各种群的最佳个体以及联姻后代的最佳个体，保留其最优者，并作为“种子”参与每个种群的下一代进化过程。图1是两种群的联姻策略模式图。

对于二进制编码的遗传算法，交叉算子通常为一点交叉、多点交叉和均匀交叉。在这些交叉算

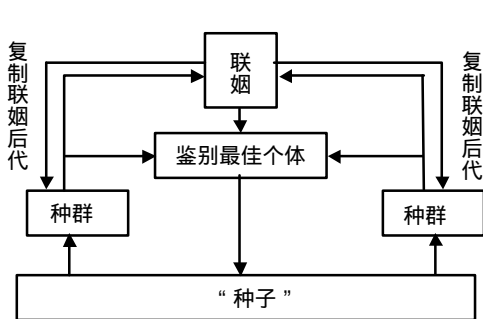


图1 两种群的联姻模式图

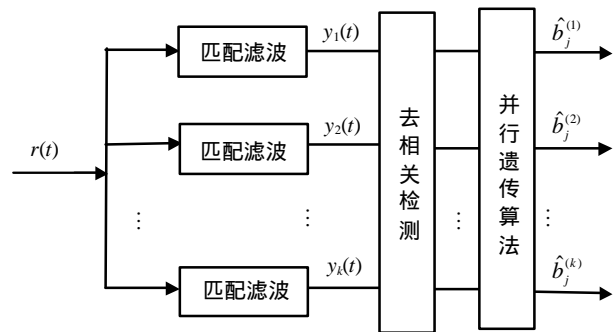


图2 基于并行遗传算法的去相关检测器

子中，由{0, 1}构成的基因都是作为符号进行遗传操作的。但“0”和“1”在数字技术中是两种逻辑状态，其行为方式可通过定义不同的逻辑运算实现。在文献[3]中将“0”和“1”的逻辑功能赋与遗传算法中的基因，这样便可以得到一种全新的遗传算子。交叉算子：与/或；变异算子：同或/异或。例如：

	父母	后代	算子
交叉	110100101	$\left\{ \begin{array}{l} 010100001 \\ 111101101 \end{array} \right.$	“与”运算
	011101001		“或”运算
变异	1101 <u>0</u> 0101	$\left\{ \begin{array}{l} 110001101 \\ 011100001 \end{array} \right.$	“异或”运算
	0111 <u>0</u> 1001		“同或”运算

变异运算中,“-”表示两染色体在该基因位上的基因发生变异。

根据上面的叙述,基于“联姻”策略的并行遗传算法相应的算法步骤如下:

- STEP1 M 个种群分别初始化;
 STEP2 每个种群独自进化(单种群遗传算法);
 STEP3 若满足联姻条件 c_i ,种群两两联姻,如图1所示;
 STEP4 判断是否满足终止规则,若满足,则程序终止,否则转向STEP2。

2 求解多用户检测的并行遗传优化算法

根据式(1)知,CDMA中的多用户检测是一个组合优化问题,结合并行遗传算法的特点,本文提出一种基于并行遗传算法的去相关多用户检测器,检测器的结构如图2所示。去相关获得的检测值作为并行遗传算法的初始值,以加快并行遗传算法的收敛速度,同时降低并行遗传算法中参数选择的敏感性;去相关获得的检测值通过并行遗传算法的启发式搜索,降低去相关检测带来的噪声影响,提高检测器的抗多址干扰和抗远近效应的能力。

结合CDMA系统中信号的特点,将并行遗传算法设计的关键问题阐述如下:

- 1) 编码。由于CDMA多用户检测中,去相关检测得到的信号是一个由双极性信号(-1和+1)组成的向量,故不需要编码。
- 2) 种群的初始化。采用扰乱了的去相关检测器的输出作为初始种群。种群大小 N_p 在整个优化过程中保持不变。

3) 适值函数。在遗传算法中,适值函数用来评估每一个染色体,并且要求是非负的。在CDMA多用户检测中,其目标是求代价函数 $C(\mathbf{b})$ 的最大化。在CDMA多用户检测中,代价函数为

$$C(\mathbf{b}) = 2\mathbf{Y}^T \mathbf{b} - \mathbf{b}^T \mathbf{H} \mathbf{b} \quad (2)$$

显然,代价函数并不总是非负的,因此,根据代价函数构造适值函数如下

$$f(\mathbf{b}) = K + (C(\mathbf{b}) - C_w) \quad (3)$$

式中 C_w 是当代染色体中最坏的染色体的代价函数值; K 是一个正常数。

4) 遗传算子。交叉算子为与/或,交叉率 P_c 选用较大的概率(如0.9);变异算子为同或/异或;变异率 P_m 选用较小的概率(如0.1);种群的选择用轮盘赌法选择;联姻条件 c_i 为每一代联姻一次。

5) 终止规则。给定一个最大的遗传代数 $MAXGEN$,算法迭代代数在达到 $MAXGEN$ 时终止。

3 算法的性能分析

本文讨论一个10用户的CDMA通信系统,假设扩频序列采用31位的Gold序列,最大的归一化互相关系数为9/31。在整个仿真过程中,只讨论同步CDMA通信系统,异步CDMA通信系统以此类推。选用了以下CDMA通信系统的检测器:

- 传统的单用户检测器(CD);
- 最优多用户检测器(OD);
- 去相关多用户检测器(DEC);
- 基于并行遗传算法的去相关多用户检测器(PGADEC);

仿真中,并行遗传算法的参数设定见表1。首先进行严格功率控制下的误码率的检测。在严格功率控制下,所有用户的信号功率相等,并选择每一用户的信噪比(SNR)从0 dB增加到10 dB来逐一检验上面选用的四种检测器在不同信噪比下的误码率(BER),所得结果如图3所示。

在考察算法抗远近效应的能力时,不失一般性,设定第一个用户的信噪比(SNR1)从-5 dB增加到10 dB,其他9个用户的SNR固定在6 dB,来逐一检验上面给出的四种检测器抗远近效应的能力,所得结果如图4所示。

表1 并行遗传算法的参数设定

种群大小	交叉率	变异率	遗传代数	种群数	联姻条件
10	0.95	0.1	20	2	每进化一次联姻一次

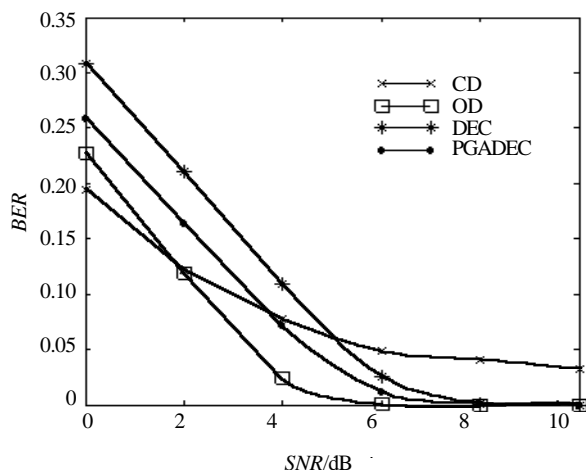


图3 功控下的多用户检测器的误码率

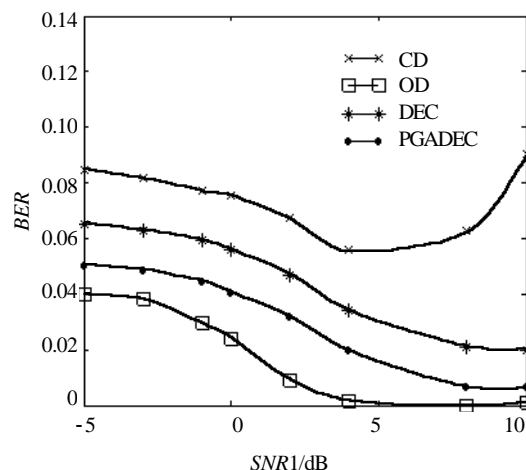


图4 远近效应下的多用户检测器的误码率

从图3和图4得出下面结论：PGADEC-MUD无论是在严格功率控制下抗多址干扰和抗多径干扰的性能还是抗远近效应的性能都比去相关多用户检测器的检测性能好得多，差不多接近最优多用户检测器的性能。

4 结 论

本文提出并分析了一种基于并行遗传算法的去相关多用户检测器。仿真结果表明这种多用户检测器的性能比传统的检测器和去相关多用户检测器有明显的改进，是一种有效可行的算法；并且由于采用了基于“联姻”策略的并行遗传算法和赋予了逻辑功能的遗传算子，使这种多用户检测器更易于实时应用和硬件实现。

参 考 文 献

- 1 Verdu S. Minimum probability of error for asynchronous Gaussian multiple access channels. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1986, 32(1): 85-96
- 2 Alexandra Duel-Hallen. Decorrelating decision-feedback multiuser detector for synchronous code-division multiple-access channel. *IEEE Trans. Commun.*, 1993, 41(2): 285-290.
- 3 杨启文, 张国宏, 蒋静坪. 基于“联姻”策略的并行遗传算法. *电子学报*, 2000, 28(11): 108-110