

基于量子遗传优化的盲检测算法

蔡晴红,于舒娟,张 昀

(南京邮电大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210003)

摘要:量子遗传算法(Quantum Genetic Algorithm)作为量子计算理论和遗传算法原理相结合的一种新兴的全局优化算法,因算法具有寻优能力强、收敛速度快和计算时间短的特点,在许多领域都得到了广泛应用。文中首先给出基于 SIMO 系统的 BPSK 发送信号盲检测模型,利用补投影算子构造盲检测优化代价函数,在此基础上利用量子遗传算法进行优化,获得最佳估计序列。算法性能仿真表明,文中提出的基于量子遗传优化的盲检测算法收敛速度快、能够成功实现盲检测,具有一定的应用价值。

关键词:盲检测;量子遗传算法;量子计算

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)02-0057-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.02.014

Blind Detection Algorithm Based on Quantum Genetic Optimization

CAI Qing-hong, YU Shu-juan, ZHANG Yun

(College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications,
Nanjing 210003, China)

Abstract: Quantum genetic algorithm, as the combination of the quantum computing theory and the principle of genetic algorithm, is a new global optimization algorithm, which has stronger capability in the optimization, faster convergence and shorter time in computing. It has already been widely used in many areas. It proposes a blind equalization model which sends BPSK signal based on SIMO system. Use projection operator of complement to construct the cost function, based on which quantum genetic algorithm is applied to optimize to obtain the best sequence of estimation. The algorithm simulation results show that the proposed blind detection algorithm based on quantum genetic optimization has rapid convergence speed, is able to successfully achieve blind detection, has a certain value.

Key words: blind detection; quantum genetic algorithm; quantum computation

0 引言

随着无线通信技术的迅猛发展,对盲均衡技术提出了新的要求,近年来也成为研究的热点。智能算法应用于盲信号处理已成为研究热点,其中进化计算以全局优化性能优越,有很多文献指出利用遗传算法的全局搜索可以解决盲均衡问题^[1]。

文献[1]指出,经典的遗传算法具有全局搜索能力强,不足是局部搜索能力差,收敛速度慢。

针对传统进化算法存在的收敛速度慢和未完全收敛的问题,文中将量子遗传算法^[2]引入到盲均衡中,采用量子遗传算法中的几率幅(量子态)来表示信息单元(量子比特)来实现信息的量子化,缩小了种群的

规模,增加种群的多样性;采用量子的纠缠特性^[3],使得信息可以在整个种群中进行交流,加大搜索范围;同时使用量子非门来实现变异操作。通过仿真分析,由于引入量子的并行计算,量子遗传算法解决盲检测运行速度要明显优于遗传算法,误码率也比遗传算法低。

1 基于 SIMO 系统盲检测数学模型

文献[4~6]指出,单输入多输出 SIMO 系统是常见的通信系统, SIMO 系统的盲辨识与盲均衡是一直以来的研究热点,也具有一定的研究价值。

图1给出 SIMO 系统的盲检测模型^[7]:

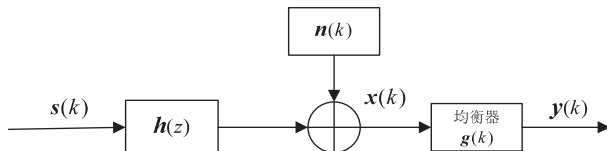


图1 SIMO 系统盲检测原理框图

这里 $x(k)$ 为接收信号, $n(k)$ 为噪声, 它们均为 $q \times 1$ 的矩阵向量, 其中 q 是过采样因子。

收稿日期:2012-06-12;修回日期:2012-09-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60772060)

作者简介:蔡晴红(1988-),女,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为智能信号处理;于舒娟,副教授,硕士研究生导师,研究方向为现代通信中的信号处理和智能信息处理技术。

SIMO 信道输出端的信号模型为:

$$\mathbf{x}(k) = \mathbf{H}_q \cdot \mathbf{s}_{M+1}(k) + \mathbf{n}(k) = [\mathbf{h}(0), \mathbf{h}(1), \dots, \mathbf{h}(M)] \cdot \mathbf{s}_{M+1}(k) + \mathbf{n}(k) \quad (1)$$

其中 $M = \max\{M_i | i = 1, 2, \dots, q\}$, M_i 是信道第 i 个子信道的阶数。

上式中信道卷积矩阵 \mathbf{H} 是块 Toeplitz 矩阵, $\mathbf{H} \in \mathbf{R}^{(L+1)q \times (M+L+1)}$

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} \mathbf{h}(0) & \dots & \mathbf{h}(M) \\ \mathbf{h}(0) & \dots & \mathbf{h}(M) \\ \mathbf{h}(0) & \dots & \mathbf{h}(M-1)\mathbf{h}(M) \\ & \ddots & \ddots \\ & & \mathbf{h}(0) \dots \mathbf{h}(M-1)\mathbf{h}(M) \end{pmatrix}_{(L+1)q \times (M+L+1)} \quad (2)$$

为了恢复发送序列 $\mathbf{s}_N(k)$, 根据误差函数得:

$$\hat{\mathbf{s}}_N(k) = \text{sign}\{\mathbf{X}_N \cdot \mathbf{g}\} = \arg \min_{\substack{\mathbf{g} \in \mathbf{R}^{(L+1) \times q} \\ \forall s_{N_i} \in \{\pm 1\}^N}} J(\mathbf{s}_N, \mathbf{g}) = \arg \min_{\substack{\mathbf{g} \in \mathbf{R}^{(L+1) \times q} \\ \forall s_{N_i} \in \{\pm 1\}^N}} \|\mathbf{X}_N \mathbf{g} - \mathbf{s}_N\|^2 \quad (3)$$

构造补空间投影算子 $\mathbf{Q} = \mathbf{I} - \mathbf{X}_N (\mathbf{X}_N^H \mathbf{X}_N)^+ \mathbf{X}_N^H = \overline{\mathbf{U}_c} \overline{\mathbf{U}_c}^H$, $\overline{\mathbf{U}_c}$ 是 \mathbf{X}_N 零空间的正交阵。

因此, 估计的发送序列 $\hat{\mathbf{s}}_N$ 可以通过求解二次规划问题^[8]得出:

$$\hat{\mathbf{s}}_N = \arg \min_{\substack{\mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N}} J(\mathbf{s}_N) = \arg \min_{\substack{\mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N}} \|\boldsymbol{\zeta}_N\|^2 = \arg \min_{\substack{\mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N}} \mathbf{s}_N^H \mathbf{Q} \mathbf{s}_N \quad (4)$$

2 基于量子遗传算法的 SIMO 系统盲检测数学模型

建立基于量子遗传算法 SIMO 系统的盲检测数学模型思路: 首先根据接收矩阵的补投影算子 \mathbf{Q} ^[7] 构造出代价函数 J , 然后将盲检测问题转化为求解信号二次规划问题; 最后利用量子遗传算法寻找最优盲检测信号。注意在量子遗传算法中适应度函数^[9]选择, 一般选代价函数的相反数。

2.1 构造适应度函数

文中将代价函数直接定义为:

$$J = \arg \min \mathbf{s}_N^H \mathbf{Q} \mathbf{s}_N \quad (5)$$

注: $\forall \mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N$

文中结合二次规划问题, 将 $F = -\arg \min \mathbf{s}_N^H \mathbf{Q} \mathbf{s}_N$ ($\forall \mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N$) 作为量子遗传算法的适应度函数, 量子遗传算法寻优过程即求评价函数^[10] F 的最大值。

2.2 基于量子遗传算法 SIMO 系统盲检测实现方法

基于量子遗传算法的 SIMO 系统盲检测流程如图 2 所示:

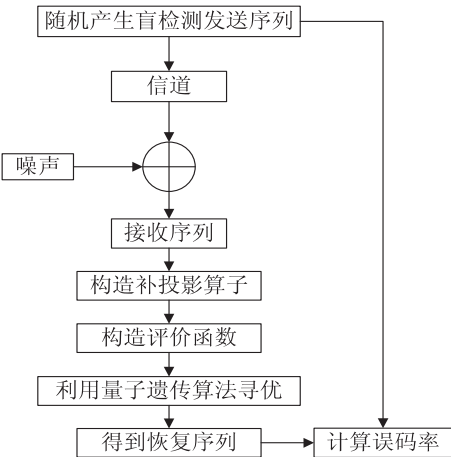


图 2 基于量子遗传算法的 SIMO 系统盲检测流程图

基于量子遗传算法^[2,11]的实现步骤:

- (1) 初始化生成种群, 种群 $P(0)$, 随机生成 n 个以量子比特为编码的染色体;
- (2) 对初始化种群 $P(0)$ 中的每个个体进行一次测量, 得到对应的确定解;
- (3) 对群体进行适应度评估;
- (4) 记录最优个体和对应的适应度;
- (5) 停止条件判断: 当满足时, 输出当前最佳个体, 算法结束, 否则继续;
- (6) 量子变异操作, 即采用量子旋转门变异策略更新;
- (7) $P(0)$ 量子交叉操作, 对种群 $P(t)$ 进行更新, 得到新的种群 $P(t+1)$, 转到(2)。

盲检测算法中, 量子遗传算法运行框图如图 3 所示:

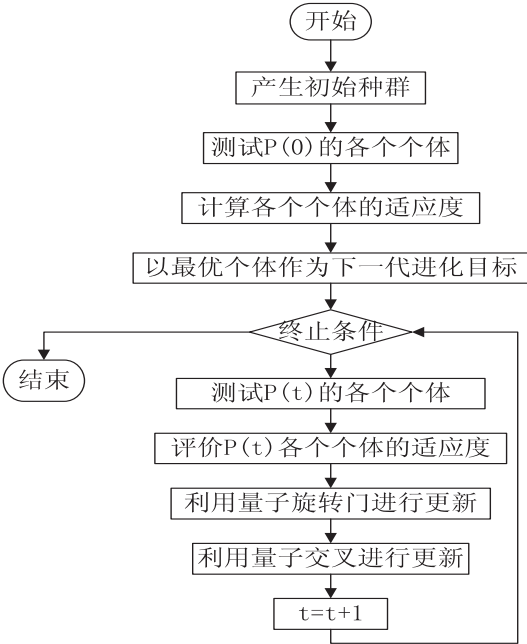


图 3 量子遗传算法基本原理流程图

3 Matlab 仿真实验

文中仿真实验均采用 BPSK (−1,1) 信号作为发送序列进行仿真。过采样因子 $q = 3$, 序列长度 $N = 100$ 。所有仿真结果都是经过 50 次 Monte Carlo 实验而得。文中采用的软件平台是 Matlab 7.8.0.343 (R2010a) 版本。此外,为了绘图方便,以下仿真实验中均将误码率 (BER) 0 作为 10^{-5} 处理。

实验 1: 基于量子遗传盲检测算法迭代次数的选择。

本实验通过对迭代次数和误码率的研究,寻找规律,找到随着迭代次数的增加,误码率的变化,信噪比取 4dB,信道条件为信道一,即采用权值和延时度变化的随机合成信道。文中的迭代次数 (Generation_Num), $\text{Generation_Num} = \{5, 10, 15, 20, 25, 30\}$ 作为判断实验是否终止的条件,同一信噪比迭代次数与误码率的关系曲线如图 4 所示。

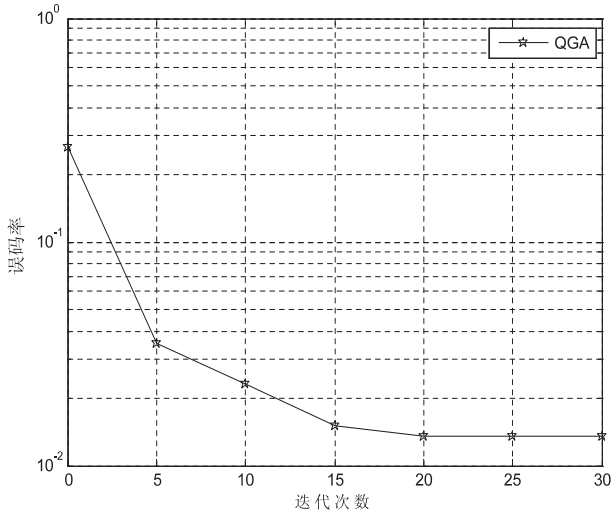


图 4 量子遗传算法中迭代次数对误码率的影响

由图 4 不难看出,不同的迭代次数影响了算法的误码率。当迭代次数较小时,误码率大,当迭代次数达到 20 时,随着迭代次数的增加,误码率变化不大,足以取到最佳效果,所以接下来的仿真中采用算法的迭代次数为 20 次。

实验 2: 不同信道对量子遗传算法盲检测算法的影响。

本实验的仿真目的是比较在不同信道下对 BPSK 信号进行盲检测的误码率。实验中主要采用四种经典信道,发送序列长度 $N = 100$ 。

信道一:采用权值和延时固定的合成信道,不含公零点。信道二:采用权值和延时固定的合成信道,含一个公零点。信道三:采用权值和延时度变化的随机合成信道,该信道在盲检测中应用较多。信道四:按指定的延迟 $\text{delay} = [0, 1/3]$, 权系数 $w = [1, -0.7]$ 产生信

道,信道头尾各补 q (过采样因子) 个零。量子遗传盲检测算法在不同信道下误码率-信噪比 (BER-SNR) 性能曲线如图 5 所示:

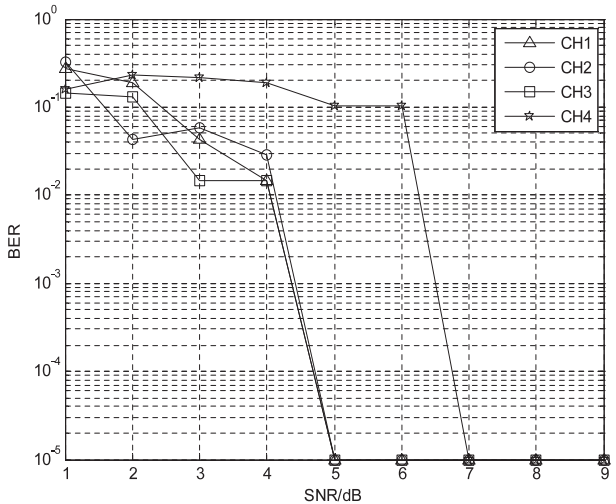


图 5 量子遗传算法在不同信道下的 BER-SNR 性能曲线

由图 5 可以看出,信道一、信道二、信道三均能成功进行盲检测,但是信道四盲检测效果最差。信道二,即含有一个公零点的合成信道,效果稍差一些。信道一和信道三都能相对较好的恢复发送序列,且信道三的效果更优。但为了更具有说服力,文中在仿真实验中均选择信道三作为信道条件。

实验 3: 基于量子遗传盲检测算法与基本遗传优化盲检测算法性能比较。

本实验为了验证文中提出的量子遗传算法盲检测算法的性能。算法中信道采用权值和延时度变化的随机合成信道,通过与经典遗传盲检测算法^[10]比较,仿真给出了信噪比为 0 ~ 8dB 情况下,在不同算法下 BPSK 信号误码率-信噪比 (BER-SNR) 的性能曲线图,如图 6 所示:

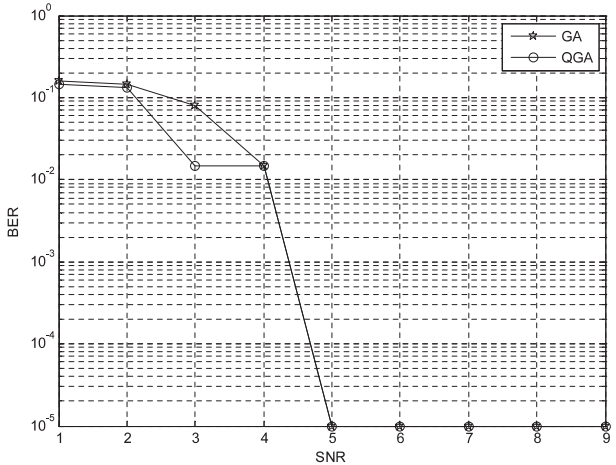


图 6 QGA 和 QA 盲检测 BPSK 信号的 BER-SNR 性能曲线图

doop 集群上运行,不仅具有与原来串行环境下相同的聚类效果,而且能节省聚类分析的时间和降低计算的复杂度,适用于处理高维的、增量式的数据集。笔者将会进一步探索如何对该算法的 MapReduce 并行化过程进行改进,以获得更好的实验结果。

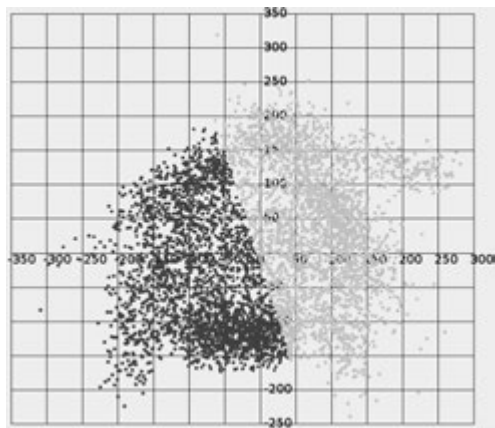


图 6 原数据集利用 K-Means 聚类算法聚类后显示的效果图

参考文献:

- [1] 杨善林,倪志伟. 机器学习与智能决策支持系统[M]. 北京:科学出版社,2004:331-332.
- [2] 张伟莉,倪志伟,赖建章. 一种新的基于网格的聚类算法[J]. 计算机应用研究,2008,25(5):1337-1338.

(上接第 59 页)

由图 6 不难看出,量子遗传算法和遗传算法均在信噪比为 5dB 时,误码率均降为零,但在 2dB ~ 4dB 之间,量子遗传算法的误码率比遗传的低。在仿真过程中,量子遗传算法运行的时间少于遗传算法运行的时间。由此得出:量子遗传盲检测算法能够较为成功的恢复出发送序列,具有一定的研究价值。

4 结束语

介绍了通信中的盲均衡理论,并将量子遗传算法应用到盲均衡技术中,通过研究数学模型和大量的仿真实验证明量子遗传算法的可行性,在选取适当参数的情况下,利用量子遗传算法,能够得到较好的结果。

参考文献:

- [1] 张立毅,刘 婷. 遗传算法优化神经网络权值盲均衡算法的研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(11):162-163.
- [2] 杨俊安,庄镇泉,史 亮. 多宇宙并行量子遗传算法[J]. 电子学报,2004,32(6):923-928.
- [3] 李承祖. 量子通信和量子计算[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2000:168-213.

- [3] Wegener D,Mock M,Adranale D,et al. Toolkit-based High-performance Data Mining of Large Data on MapReduce Clusters [C]//IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW). Washington:IEEE,2009:296-298.
- [4] Apache Hadoop. Hadoop[EB/OL]. 2012-06-05. <http://hadoop.apache.org>.
- [5] 刘 鹏. 云计算[M]. 北京:电子工业出版社,2010:163-165.
- [6] 焦 誉,赖建章,柯 佳. 一种基于密度的网格动态聚类算法的研究[J]. 安徽大学学报(自然科学版),2007,31(1):31-33.
- [7] 周爱武,于亚飞. K-Means 聚类算法的研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(2):62-63.
- [8] 黄 韬,刘胜辉,谭艳娜. 基于 k-means 聚类算法的研究[J]. 计算机技术与发展,2011,21(7):54-55.
- [9] 江小平,李成华,向 文,等. K-means 聚类算法的 MapReduce 并行化实现[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2011,39(Sup):121-123.
- [10] 赵卫中,马慧芳,傅燕翔,等. 基于云计算平台 Hadoop 的并行 k-means 聚类算法设计研究[J]. 计算机科学,2011,38(10):166-167.
- [11] 王 鹏. 云计算的关键技术与应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2010:74-76.
- [12] KEEL. A software tool to assess evolutionary algorithms for data mining problems [EB/OL]. 2011. <http://sci2s.ugr.es/keel/datasets.php>.

- [4] Giannakis G B, Hua Y B, Stoica P, et al. Signal processing advance in wireless and mobile communications, volume: trends in channel estimation and equalization[M]. 北京:人民邮电出版社,2002:197-209.
- [5] Tong L, Xu G, Kailath T. Blind channel identification and equalization using second-order statistics: a time-domain approach[J]. IEEE Trans. on Inform. Theory, 1994, 40(3):340-349.
- [6] Ding Z, Li Y. Blind equalization and identification[M]. New York: Marcel Dekker, 2000:175-202.
- [7] 张志涌,张 昀. 复数 Hopfield 盲恢复多用户 QPSK 信号[J]. 东南大学学报,2008,38(12):18-22.
- [8] 于舒娟,张志涌. 含公零点 SIMO 信道 QPSK 序列盲检测[J]. 东南大学学报,2005,36(6):867-871.
- [9] Han K H, Kim J H. Quantum-inspired Evolutionary Algorithm for a Class of Combinatorial Optimization[J]. IEEE Trans. on Evolutionary Computation, 2002, 6(6):580-593.
- [10] Nguyen H L. Blind source separation for convolutive mixture[J]. Signal Processing, 1995(45):209-229.
- [11] 杨淑媛,刘 芳,焦李成. 一种基于量子染色体的遗传算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版),2004,31(1):76-79.

基于量子遗传优化的盲检测算法

作者: [蔡晴红](#), [于舒娟](#), [张昀](#)
作者单位: [南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京210003](#)
刊名: [计算机技术与发展](#)
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)
年, 卷(期): 2013(2)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201302016.aspx