

# 基于量子免疫优化的盲检测算法

夏 祎,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:**智能算法由于其较快的寻优速度和较好的寻优效果,被广泛应用于优化问题,而盲序列检测优化算法也是研究热点。文中将量子计算理论和人工免疫算法相结合的全局优化算法——量子免疫算法应用于盲序列检测。文中算法的思想是:基于 SIMO 系统的 BPSK 发送信号盲检测数学模型构造盲检测适应度函数,利用量子免疫算法进行优化,获得最佳估计序列。算法仿真实验表明,文中提出的基于量子免疫优化的盲检测算法能够成功实现盲检测,性能优于免疫算法。

**关键词:**盲检测;量子免疫算法;量子计算;免疫算法

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2014)04-0041-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2014.04.010

## Blind Detection Algorithm Based on Quantum Immune Optimization

XIA Yi, YU Shu-juan, ZHANG Yun

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

**Abstract:** Intelligent algorithm is used widely in optimization problems with its fast optimal speed and better efficiency, and the blind sequence detection algorithm is also research focus. The quantum immune algorithm, which is the combination of the quantum theory and the principle of immune system, is used in blind sequence detection. The algorithm thoughts is that give a blind equalization model which sends BPSK signal based on SIMO system, using projection operator of complementation to construct the fitness function, based on which quantum immune algorithm is applied to acquire the best sequence of estimation. The simulation results show that algorithm given is able to achieve blind detection, and the performance is better than immune algorithm.

**Key words:** blind detection; quantum immune algorithm; quantum computation; immune algorithm

## 0 引言

量子遗传算法是 Narayanan 和 M. Moore<sup>[1]</sup>于 1996 提出的,它以量子理论为基础,采用量子位概率编码来表示染色体,使得一条染色体可以表达多个态的叠加,并利用量子旋转门实现染色体的演化,实现了比常规遗传算法更好的效果。之后,杨俊安等<sup>[2]</sup>将多宇宙并行的概念引入到量子遗传算法中,提出一种多宇宙并行量子遗传算法并应用到盲信号分离中,实验结果表明在较少的迭代次数下,多宇宙并行量子遗传算法能够有效地分离信号;王宝伟等<sup>[3]</sup>将量子交叉、量子比特相位更新算法和拟 Newton 算法引入到量子遗传算法中,提出了一种改进的混合量子遗传算法,在收敛精度上优于传统量子遗传算法;Han 等<sup>[4]</sup>采用量子算法遗传求解 0-1 背包问题;傅家旗等<sup>[5]</sup>将量子遗传算法与

粒子群算法相结合提出混合量子遗传算法,求解 Job Shop 调度问题。基于免疫原理实现的免疫算法是模拟了人体的免疫系统,从大量的免疫体细胞理论得到启发,实现了类似于免疫系统的自我调节功能和生存不同抗体的功能,它模拟生物免疫系统,通过保留标准遗传算法中的交叉、变异等操作,并增加疫苗库和免疫算子操作而实现。免疫学研究表明,免疫系统具有许多复杂的对工程问题很有启发的功能。人工免疫算法理论的相应研究还处于初级阶段,但基于人工免疫算法的机理,一些有效的算法已被提出,并成功地应用到控制、数据处理、知识发掘、优化学习和故障诊断以及通信系统等许多领域<sup>[6]</sup>。

在信号传输过程中,码间干扰问题需要用均衡技术进行补偿,用以提高通信质量,减少误码率。盲均衡

收稿日期:2013-06-05

修回日期:2013-09-12

网络出版时间:2014-01-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60772060,61104103);南京邮电大学青蓝工程基金(NY210037)

作者简介:夏 祎(1989-),男,江苏无锡人,硕士研究生,研究方向为智能信号处理;于舒娟,副教授,研究方向为现代通信中的信号处理与智能信息处理技术;张 昀,讲师,研究方向为通信信号处理与智能信息处理技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140128.1148.036.html>

算法在没有任何输入训练数据的前提下,仅根据系统的输出观察值和一些先验知识,直接估计出输入端发送的数据和信道的冲击响应<sup>[7]</sup>。文中将量子遗传计算原理和免疫原理相结合,提出了量子免疫优化算法,通过仿真实验表明,该算法能成功实现盲检测,与免疫遗传算法相比,具有更好的收敛效果和速度<sup>[8]</sup>。

## 1 基于 SIMO 系统盲检测数学模型

文献[9]指出,单输入多输出(SIMO)系统,基于 SIMO 系统的盲辨识与盲均衡一直是研究热点,具有一定的研究价值。其原理框图见图 1。

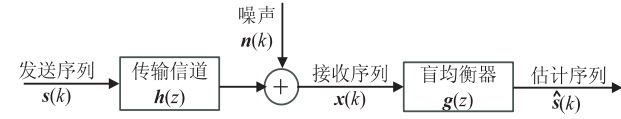


图 1 SIMO 系统盲检测原理框图

图中,  $x(k)$  为接收序列,  $n(k)$  为加性噪声,它们都是  $q \times 1$  的矩阵,其中  $q$  是过采样因子,表示输出子信道的个数。

SIMO 信道输出端的信号模型为:

$$x(k) = H_q \cdot s_{M+1}(k) + n(k) = [h(0), h(1), \dots, h(M)] \cdot s_{M+1}(k) + n(k) \quad (1)$$

其中  $x_{L+1}(k) = [x^T(k), \dots, x^T(k-L)]^T$ ,  $s_{M+1}(k) = [s(k), \dots, s(k-M-L)]^T$ 。噪声用  $n_{L+1}(k)$  表示。它是  $(L+1)q$  阶噪声向量。 $M = \max\{M_i | i = 1, 2, \dots, q\}$ , 其中  $M_i$  是信道第  $i$  个子信道的阶数。上式中信道卷积矩阵  $H$  是块 Toeplitz 矩阵,  $H \in R^{(L+1)q \times (M+L+1)}$ 。

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

由接收矩阵  $X_N$  经过滤波器  $g(z)$  得到:

$$\begin{aligned} X_N &= S_N \cdot H^H \\ X_N \cdot g &= S_N \cdot H^H \cdot g \\ \text{其中: } X_N^T &= [x_{L+1}(k), x_{L+1}(k+1), \dots, x_{L+1}(k+N-1)] \\ \text{则有估计的发送序列 } \hat{s}_N(k) &= \text{sign}\{X_N \cdot g\} \end{aligned} \quad (3)$$

根据误差函数得:

$$\epsilon_N = X_N g - s_N$$

根据优化准则得:

$$\begin{aligned} \hat{s}_N(k) &= \text{sign}\{X_N \cdot g\} = \arg \min_{\substack{g \in R^{(L+1)q} \\ s_N \in \{\pm 1\}^N}} J(s_N, g) = \\ &\arg \min_{\substack{g \in R^{(L+1)q} \\ s_N \in \{\pm 1\}^N}} \|X_N g - s_N\|^2 \end{aligned}$$

构造空间补投影算子  $Q = I - X_N (X_N^H X_N)^+ X_N^H = \overline{U_c}^H \overline{U_c}$ ,  $\overline{U_c}$  是  $X_N$  零空间的正交阵。因此,估计的发送序列  $\hat{s}_N$  可以通过求解二次规划问题得出<sup>[10-11]</sup>:

$$\begin{aligned} \hat{s}_N &= \arg \min_{\substack{s_N \in \{\pm 1\}^N}} J(s_N) = \arg \min_{\substack{s_N \in \{\pm 1\}^N}} \|\zeta_N\|^2 = \\ &\arg \min_{\substack{s_N \in \{\pm 1\}^N}} s_N^T Q s_N \end{aligned} \quad (4)$$

## 2 基于量子免疫优化的 SIMO 系统盲检测算法

文中提出的基于量子免疫优化 SIMO 系统盲检测算法,利用量子免疫算法进行最优化求解,最后得到盲检测信号的最佳估计值。

### 2.1 构造适应度函数

文中将量子免疫优化的评价函数直接定义为

$$J = \arg \min_{\substack{s_N \in \{\pm 1\}^N}} s_N^T Q s_N \quad (5)$$

结合二次规划问题,将  $f = -\arg \min_{\substack{s_N \in \{\pm 1\}^N}} s_N^T Q s_N$  作为量子遗传算法的适应度函数,贯穿整个免疫遗传算法的迭代寻优过程中,量子算法寻优过程即求评价函数  $J$  的最小值<sup>[12]</sup>。

### 2.2 基于量子免疫算法 SIMO 系统盲检测实现方法

基于量子免疫算法的 SIMO 系统盲检测流程如图 2 所示。

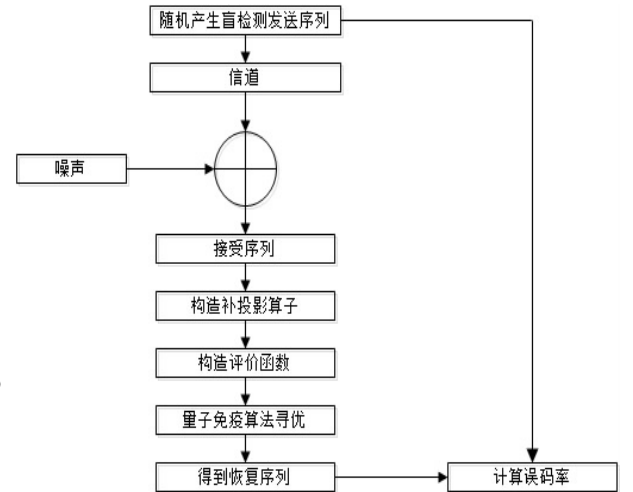


图 2 基于量子免疫算法的 SIMO 系统盲检测流程图

- 基于量子免疫的盲检测算法<sup>[13-15]</sup>的实现步骤:
- (1)生成并初始化第一代量子种群  $Q(t)$ 。
  - (2)对第一代种群进行测量得到了第一代个体  $P(t)$ 。
  - (3)对各个个体进行适应度评估。
  - (4)找出最优个体,并以此作为种群演化的目标。
  - (5)按照设置的策略利用量子门对种群进行更新操作,得到下一代种群  $Q(t')$ 。
  - (6)分析问题的先验知识,结合上一代种群的最佳个体,获取当前的疫苗,按照抗体浓度进行当前种群

的疫苗接种。

- (7)按照一定的概率对种群进行免疫变异操作。
- (8)按照一定的概率对种群进行免疫交叉操作。
- (9)对种群进行一次测量获得个体  $P(t')$ 。
- (10)对生成的个体进行适应度函数的评估。
- (11)找出最佳个体,如果符合程序结束条件,则结束程序流程,否则,转入第(5)步继续计算。

盲检测系统中,量子免疫算法运行框图如图3所示。

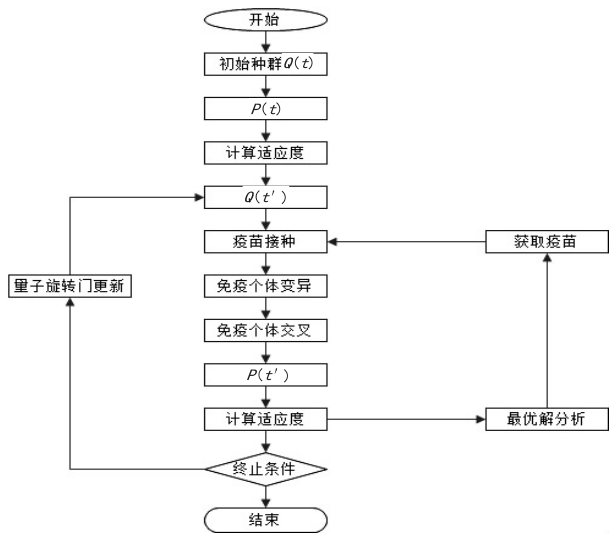


图3  量子免疫算法原理流程图

3  Matlab 仿真实验

实验条件:仿真实验采用 Matlab 7. 8. 0. 343 (R2010a)作为仿真平台。所有仿真实验均由 50 次的 Monte Carlo 实验得到,为了绘图方便,仿真实验图中误码率(BER)为 0 的处理为 $10^{-5}$ 。对下面仿真实验做如下的说明:

信道一:即按指定的延迟  $\text{delay} = [0, 1/3]$ ,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。

信道二:权值和延时固定的合成信道,含一个公零点。

信道三:权值和延时度都变化的随机合成信道。

实验 1:量子免疫盲检测算法在不同信道条件下的性能对比。

实验目的:测试量子免疫盲检测算法在不同信道条件下的盲检测效果,通过选取信道一、信道二、信道三作为仿真条件。

量子免疫盲检测算法在不同信道条件下的误码率-信噪比(BER-SNR)性能曲线如图4所示。

如图4所示,信道一、信道二、信道三均能成功进行盲检测,信道二、信道三相比信道一,恢复发送序列效果较好。说明文中提出的算法对信道具有鲁棒性。

为了接近实际通信系统的随机时变信道环境情况,在以后的仿真实验中均选取信道三作为信道条件。

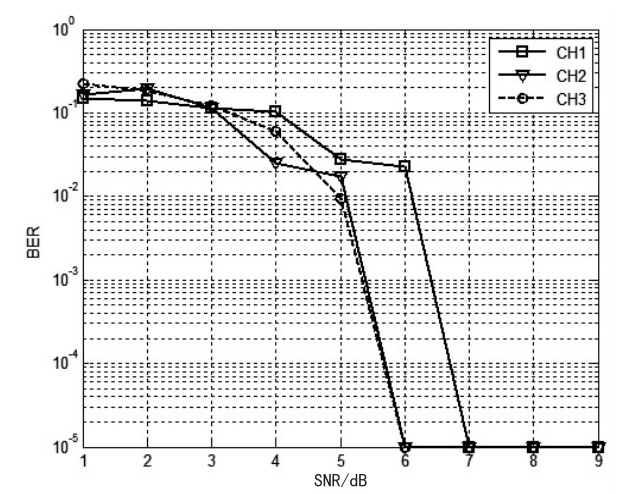


图4  量子免疫算法在不同信道条件下的 BER\_SNR 性能曲线

实验 2:基于量子免疫盲检测算法与免疫遗传算法的性能比较。

实验目的:验证量子免疫盲检测算法性能,通过与免疫遗传盲检测算法(IGA)比较。选取信道一作为仿真条件。如图5所示,给出了 BPSK 信号的误码率-信噪比(BER-SNR)性能曲线图。

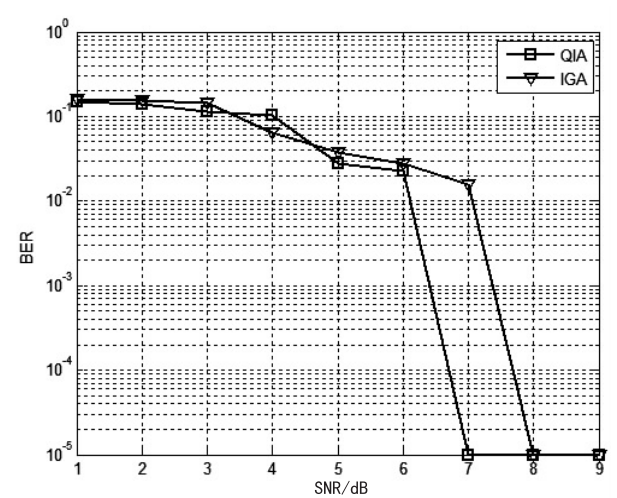


图5  QIA 和 IGA 盲检测 BPSK 信号的 BER-SNR 性能曲线

由图5可以发现,量子免疫盲检测算法在信噪比 7 dB处误码率降为 0,而免疫遗传算法在信噪比 8 dB处降为 0。因此得出结论,量子免疫算法在相同条件下盲检测性能较免疫遗传算法好,并且在仿真实验过程中,速度明显快于免疫遗传算法,并且能够成功恢复发送序列,具备研究价值。

4  结束语

文中首先分析了量子免疫算法的基本原理及算法

描述,然后给出基于量子免疫优化盲检测算法的数学模型,最后通过仿真实验对文中提出的算法的迭代次数进行选择,验证不同信道下算法的性能,并将文中提出的算法与免疫遗传盲检测算法加以比较。仿真实验结果表明量子免疫算法能够成功地实现盲检测,并且与免疫遗传算法相比,具有更好的盲检测效果以及收敛速度。该算法具备一定的应用以及研究价值。

#### 参考文献:

- [1] Narayanan A, Moore M. Quantum inspired genetic algorithm [C]//Proceedings of the 1996 IEEE international conference on evolutionary computation. [s. l.]:[s. n.],1996:61-66.
- [2] Yang Junan,Zhuang Zhenquan. Research of quantum genetic algorithm and its application in blind source separation[J]. Journal of electronics (China),2003,20(1):62-68.
- [3] 王宝伟,王洪国,刘 乐,等.一种改进的混合量子遗传算法[J]. 计算机科学,2008,35(8):112-115.
- [4] Han K H,Kim J H,Lee C L,et al. Parallel quantum-inspired genetic algorithm for combinatorial optimization problems [C]//Proc of IEEE conference on evolutionary computation. [s. l.]:[s. n.],2001:1424-1429.
- [5] 傅家旗,叶春明,谢金华,等.改进混合量子算法在 Job Shop 调度中的研究[J]. 计算机工程与应用,2009,45(30):48-52.
- [6] 岳克强.智能优化算法及在通信中的应用研究[D]. 杭州:

(上接第 40 页)

#### 参考文献:

- [1] 任永昌,彭 霞,常革新.软件项目质量控制相关技术研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(10):143-146.
- [2] Shatnawi R,Li Wei. The effectiveness of software metrics in identifying error-prone classes in post-release software evolution process[J]. Journal of systems and software,2008,81(11):1868-1882.
- [3] Nair T R G, Selvarani R. Defect proneness estimation and feedback approach for software design quality improvement [J]. Information and software technology,2012,54(3):274-285.
- [4] 马秋慧.基于使用质量的软件质量度量技术和评价模型研究[J]. 软件导刊,2012,11(8):3-5.
- [5] 石柱,白璐玲. IEEE Std 1061《IEEE 软件质量度量方法学标准》简介[J]. 航天标准化,2000(2):45-47.
- [6] Schneidewind N. What can software engineers learn from manufacturing to improve software process and product? [J]. Journal of intelligent manufacturing,2011,22(4):597-606.
- [7] 孔垂云.基于 CMMI 的软件质量度量研究[D]. 北京:北京交通大学,2009.
- [8] 王友元. 软件质量度量 [EB/OL]. 2012-09-14. [http://](http://wenku.baidu.com/view/0281506c7e21af45b307a8ce.html)

杭州电子科技大学,2009.

- [7] 刘 锋,葛临东,吴业进,等.基于人工免疫网络的盲均衡算法[J]. 计算机工程,2009,35(10):196-197.
- [8] 张治平,周树德.基于量子计算的智能优化方法研究 [C]//第六届全国信号和智能信息处理与应用学术会议论文集. 出版地不详:中国高科技产业化研究会信号处理专家委员会,2012.
- [9] Shen Junqiang, Ding Zhi. Zero-forcing blind equalization based on subspace estimation for multiuser systems[J]. IEEE transactions on communications,2001,49(2):262-271.
- [10] 张志涌,张 昀.复数 Hopfield 盲恢复多用户 QPSK 信号[J]. 东南大学学报(自然科学版),2008,38(S2):18-22.
- [11] 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(自然科学版),2005(6):867-871.
- [12] Yu Shujuan,Niu Hairong,Yu Chuang. Direct blind signal detection based on improved ant colony algorithm [C]//Proc of international conference on artificial intelligence and computational intelligence. [s. l.]:[s. n.],2010:573-577.
- [13] 李兆华,李 飞,郑宝玉.量子免疫算法及在 0-1 背包问题中的应用[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版),2011,31(2):36-39.
- [14] 李阳阳,焦李成.求解 SAT 问题的量子免疫克隆算法[J]. 计算机学报,2007,30(2):176-183.
- [15] 吴秋逸,焦李成,李阳阳,等.自适应量子免疫克隆算法及其收敛性分析[J]. 模式识别与人工智能,2008,21(5):592-597.

[wenku.baidu.com/view/0281506c7e21af45b307a8ce.html](http://wenku.baidu.com/view/0281506c7e21af45b307a8ce.html).

- [9] 杨洪涛,刘 亮.信息系统项目评价指标权重确定方法[J]. 统计与决策,2006,22(11):75-76.
- [10] 王 立,赵宝永.软件项目管理[M]. 长春:吉林大学出版社,2011.
- [11] Mishra S. Weighting method for bi-level linear fractional programming problems[J]. European journal of operational research,2007,183(1):296-302.
- [12] Osmundson J S, Michael J B, Machniak M J, et al. Quality management metrics for software development[J]. Information & management,2003,40(8):799-812.
- [13] 孙梦麟,甘志强.航天型号软件代码质量度量评估实现[J]. 系统工程与电子技术,2009,31(4):956-959.
- [14] 王 梦.水环境质量评价中几种方法的比较[J]. 渤海大学学报(自然科学版),2008,29(1):34-37.
- [15] Abdellatif M,Sultan A B M,Ghani A A A, et al. A mapping study to investigate component-based software system metrics [J]. Journal of systems and software,2013,86(3):587-603.
- [16] 程 诺,万 琳,张 威.基于量化指标分析的软件质量度量方法[J]. 北京化工大学学报(自然科学版),2007,34(S1):126-129.

# 基于量子免疫优化的盲检测算法

作者：[夏祎](#)，[于舒娟](#)，[张昀](#)，[XIA Yi](#)，[YU Shu-juan](#)，[ZHANG Yun](#)

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](#)

ISTIC

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(4)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201404010.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201404010.aspx)