

基于自调节粒子群算法的盲检测

张 昀, 于舒娟, 王 京

(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要: 以往基于粒子群优化的盲算法能成功实现信号盲检测, 但具有算法收敛速度慢、容易陷入局部最小的缺点。文中通过分析粒子群算法的机能及参数的设置, 提出一种改进的基于自调节粒子群优化的盲检测算法。算法构成思想是: 基于 MIMO 系统的盲检测系统模型将盲检测问题转化为二次优化问题, 利用改进的自调节粒子群优化算法对此优化问题进行寻优。仿真表明, 改进算法具有全局收敛性好、收敛速度快、误码率低的优点, 能够更好地解决盲检测问题。

关键词: 盲检测; 自调节因子; 粒子群算法

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)11-0059-03

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.11.015

Blind Detection Based on Self-adaptive Particle Swarm Optimization

ZHANG Yun, YU Shu-juan, WANG Jing

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

Abstract: The blind algorithm based on Particle Swarm Optimization (PSO) can achieve signal blind detection successfully, but has some defects such as converging to local optimum or slow convergence. By analyzing the performance of the PSO algorithm and the parameter setting, an improved blind algorithm based on self-adjustment PSO algorithm is presented. The thoughts are through blind detection system model based on MIMO system, translated the blind detection problem into quadratic optimization problem, and the new PSO algorithm was used to solve the problem. The experiment results show that the new PSO has good features such as strong global search capability, rapid convergence and short computation time, which confirms the validity and feasibility of this approach.

Key words: blind detection; self-adjustment factor; PSO

0 引言

在信号传输过程中, 为了减小误码率, 提高通信质量, 可以采用均衡技术补偿信道, 消除码间干扰。盲均衡检测方法即在不依赖训练数据的前提下, 仅根据系统的输出信号和一些先验知识来完成自适应均衡, 现已存在很多经典的盲均衡算法^[1-4]。

粒子群优化算法的产生主要来自于复杂适应系统理论以及人工生命的研究, 是由 Kennedy 和 Eberhart 于 1995 年首先提出^[5]。粒子群优化算法概念简单, 实现容易, 因此自出现至今短短十几年, 便取得了很大发展, 其应用涉及到许多领域, 包括图像图形处理、网络规划以及系统设计优化等, 已成功应用于许多离散优

化问题, 表现出了良好的性能。文献[6]利用经粒子群算法优化的神经网络实现对人类肢体颤抖现象的分析, 完成了对肢体正常颤抖和帕金森氏症的判别和诊断功能。

作为一种群体智能优化算法, PSO 算法本身还存在一些缺陷, 因此对其改进算法的研究也很多。但从研究目的上考虑, 这些研究均针对改进 PSO 算法的两个缺点^[7-10]: 一是 PSO 算法容易陷入局部极值点, 无法获得全局最优解; 二是收敛速度比较慢。

文中在不提高算法复杂度前提下, 提出一种全局收敛性好、速度快、性能良好的 PSO 改进算法解决盲信号检测问题。

收稿日期: 2013-01-24

修回日期: 2013-05-04

网络出版时间: 2013-08-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60772060); 南京邮电大学引进人才项目(NY212022); 南京邮电大学青蓝工程项目(NY210037)

作者简介: 张 昀(1975-), 女, 讲师, 研究方向为通信信号处理与智能信息处理技术; 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。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20130828.0818.008.html>

1 MIMO 系统盲均衡模型

多输入多输出(MIMO)系统的数学仿真模型描述如下。设有系统输入天线数为 K , 输出天线数为 P , 则任意一对输入输出天线之间都形成一个子信道, 即存在 $K \times P$ 个子信道, MIMO 信道可等效为 K 个子信道 $h(t)$ 构成, 即

$$H(t) = \sum_{i=1}^K h_i(t) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^P h_{i,j}(t) \quad (1)$$

式中, $h_{i,j}(t)$ 表示第 i 根发射天线到第 j 根接收天线之间的子信道。则 MIMO 系统输出端基带离散信号模型可表示为:

$$\begin{aligned} (\mathbf{x}(n))_{P \times 1} &= \mathbf{H}(z) \mathbf{s}(n) + \mathbf{v}(n) \\ &= \sum_{j=0}^M (\mathbf{H}_j)_{P \times K} (\mathbf{s}_K(n-j))_{K \times 1} + \mathbf{v}(n) \\ &= (\mathbf{H}_P)_{P \times (M+1)K} \mathbf{s}_M(n) + \mathbf{v}(n) \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $(\mathbf{H}_j)_{j=0, \dots, M}$ 是 $P \times K$ 维的信道冲激响应矩阵系数, 相应的 $(P \times K(M+1))$ 维矩阵 $\mathbf{H}_P = [\mathbf{H}_0, \dots, \mathbf{H}_M]$ 。发送序列 $\mathbf{s}_M = [s_K^T(n), \dots, s_K^T(n-M)]^T$, 发送符号 $s(n) \in A = \{\pm 1 \pm j\}$ 。式中, $M = \max\{M_i | i=1, \dots, q\}$, M_i 是子信道 H_i 的阶数。当均衡器阶数为 L 时, 长度为 $(L+1)P$ 的接收信号向量可以表述为:

$$(\mathbf{x}_L(n))_{(L+1)P \times 1} = \mathbf{\Gamma}_L(\mathbf{H}) \cdot (\mathbf{s}_{M+L}(n))_{(M+L+1) \times 1} + \mathbf{v}_L(n) \quad (3)$$

在此: $\mathbf{x}_L(n) = [\mathbf{x}^T(n), \dots, \mathbf{x}^T(n-L)]^T$, $\mathbf{s}_{M+L}(n) = [s_K^T(n), \dots, s_K^T(n-M-L)]^T$ 。 $\mathbf{v}_L(n) \in R^{(L+1)P}$ 是噪声向量。式中信道卷积矩阵 $\mathbf{\Gamma}_L(\mathbf{H})$ 为 Toeplitz 矩阵, 具体形式为

$$\mathbf{\Gamma}_L(\mathbf{H}) = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_0 & \mathbf{H}_1 & \dots & \mathbf{H}_M & \mathbf{0}_{P \times K} & \dots & \mathbf{0}_{P \times K} \\ \mathbf{0}_{P \times K} & \mathbf{H}_0 & \dots & \dots & \mathbf{H}_M & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \mathbf{0}_{P \times K} \\ \mathbf{0}_{P \times K} & \dots & \mathbf{0}_{P \times K} & \mathbf{H}_0 & \dots & \dots & \mathbf{H}_M \end{bmatrix}_{P(L+1) \times K(M+L+1)}$$

均衡器 $\mathbf{W}_j = [w_{j1}, w_{j2}, \dots, w_{jP}]$ 作用于接收信号的输出为:

$$y_j(n) = \mathbf{W}_j^H \cdot \mathbf{x}_L(n) = \mathbf{W}_j^H \cdot (\mathbf{\Gamma}_L(\mathbf{H}) \cdot \mathbf{s}_{M+L}(n) + \mathbf{n}_L(n)), j \in \{1, 2, \dots, K\} \quad (4)$$

2 自调节粒子群优化算法构造

文中的基于 PSO 的盲检测算法基本思想是: 首先通过接收信号构造补投影算子 Q , 再用 Q 来设计盲检测代价函数 J , 将盲检测问题转化为二次规划优化问题。利用文中提出的自调节粒子群优化算法来解决此二次规划优化问题。

文中提出的自调节粒子群优化算法的思想是: 根据需要进行自调节向社会学习的能力, 在保证粒子的自我

学习能力前提下, 加强各个粒子向同伴学习的能力, 体现协作和向社会学习的精神, 使粒子更快向全局最优解逼近。具体算法是, 随着迭代次数的增加, 将速度更新公式改为:

$$v_{id}^{k+1} = \omega v_{id}^k + c_1 r_1 (p_{id} - z_{id}^k) + (c_2 + \text{imp}(\text{iter})) r_2 (p_{gd} - z_{id}^k) \quad (5)$$

式中, $\text{imp}(\text{iter})$ 为自调节因子, 并将其取值范围设定为 $[\text{impmin}, \text{impmax}]$, 假设粒子具有动态自调节能力。给出自调节粒子群算法的步骤如下:

(1) 随机初始化粒子的位置、速度及其他参数;

(2) 计算每个粒子的适应度值, 将当前具有最好适应度值的粒子的参数保存在 pbest 中, 比较所有粒子的 pbest , 获取全局最小 pbest 保存在 gbest 中;

(3) 更新粒子的位置、速度; 更新自调节因子 $\text{imp}(\text{iter})$;

(4) 对每个粒子, 将其适应度值与其经历过的最好位置作对比, 将较好的作为当前的最好位置 pbest , 比较当前所有的 pbest , 更新全局 gbest ;

(5) 判断循环终止条件, 满足则停止搜索, 输出结果 gbest , 否则返回(3)继续搜索。

自调节因子的变化分为非线性变化和线性变化两种, 变化规律决定了算法以何种方式加强社会学习能力。经典粒子群算法设定线性变化的自调节因子依据公式(6)或(7)。

$$\text{imp}(\text{iter}) = \text{impmin} + (\text{impmax} - \text{impmin}) \left(\frac{\text{iter}}{\text{itmax}} \right)^2 \quad (6)$$

式(6)中依照线性微分的性质设定自调节因子, 记为 wpso 。

$$\text{imp}(\text{iter}) = \text{impmin} + \frac{(\text{impmax} - \text{impmin})}{\text{itmax}} \cdot \text{iter} \quad (7)$$

式(7)依照基本的线性规律设定自调节因子, 记为 xpsso 。

参照文献[6]的思想, 文中提出将自调节因子依照公式(8)进行非线性动态变化, 或依照式(9)进行反正切变化。

$$\text{imp}(\text{iter}) = \text{impmin} + (\text{impmax} - \text{impmin}) \cdot \exp(-k \cdot \left(\frac{\text{iter}}{\text{itmax}} \right)^2) \quad (8)$$

式(8)中, k 为调节系数, 依据文献相关经验值, 文中选取 $k = 3.5$ 。自调节因子依据式(8)变化的算法记为 zpsso , 式(8)中 iter 表示迭代次数, itmax 为最大迭代次数。

$$\text{imp}(\text{iter}) = (\text{impmax} - \text{impmin}) \cdot \arctan(1.56(1 - \left(\frac{\text{iter}}{\text{itmax}} \right)^l)) + \text{impmin} \quad (9)$$

为了控制自调节因子与迭代次数变化的平滑度,在式(9)中选取 $l = 0.4$ 。自调节因子依据式(9)变化的算法记为 $fpso$ 。

为了达到粒子在迭代过程中逐步加强合作的目标,文中设定 $c_1 = 2.0$,自调节因子 $impmax = 0.4$, $impmin = 0.01$ 。 c_2 是递增的,其初值为 1.9 , $c_2 \in [1.91, 2.3]$,从而加强了社会学习能力。

3 仿真实验与结果

文中设定仿真实验采用文献[3]中的升余弦信道,过采样因子为 3。实验发送信号采用 QPSK 信号,算法群体规模大小取为 30,盲检测序列长度为 $N = 30$,最大迭代次数为 1 000 次,每次仿真结果均由 100 次 Monte Carlo 实验得到。

实验 1:比较自调节因子按不同规律变化时的盲检测性能。

通过仿真四种自调节粒子群优化算法(wps , xps , zps , $fpso$),比较当自调节因子按不同规律变化时,算法的性能差异。仿真实验结果如图 1 和图 2 所示。

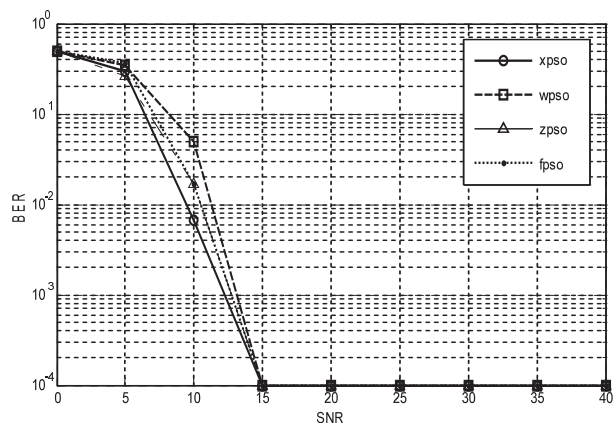


图 1 自调节因子按不同规律变化时的误码率关系曲线

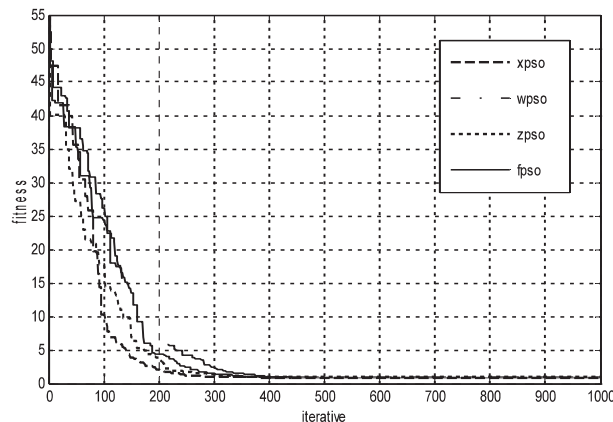


图 2 自调节因子按不同规律变化时的迭代次数关系曲线

由图 1 和 2 可以看出,当自调节因子按照基本线性规律(xps)变化时,算法具有更为优越的盲检测性

能。

实验 2:改进算法与基本粒子群优化算法盲检测的性能比较。

仿真实验条件同实验 1,比较自调节粒子群优化算法盲检测与基本粒子群优化盲检测的性能。仿真结果如图 3、4 所示。

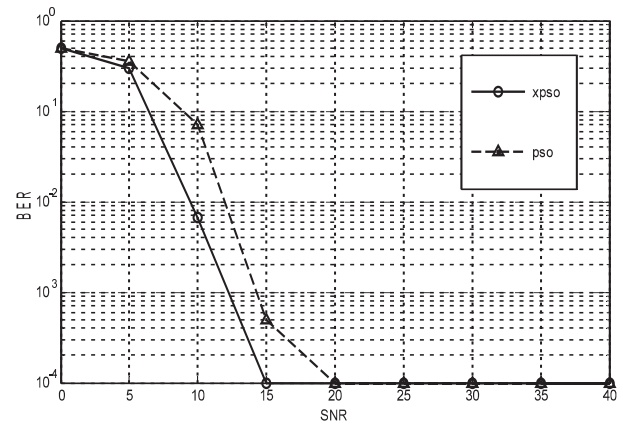


图 3 改进算法与基本粒子群优化算法的误码率关系曲线

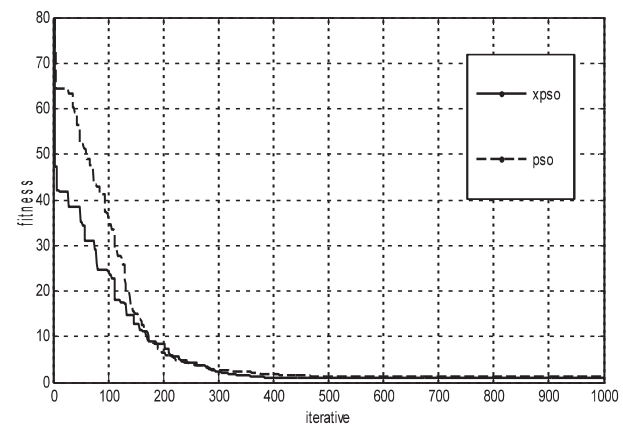


图 4 改进算法与基本粒子群优化算法时的迭代次数曲线

从实验 2 可以看出:在相同信噪比情况下,文中提出的自调节粒子群优化盲检测算法具有更低的误码率。

从收敛速度看,文中提出的自调节粒子群优化算法收敛速度更快。

4 结束语

为了更好地解决 MIMO 系统盲信号检测问题,文中在研究 PSO 算法的基础上,提出改进的利用自调节因子线性变化和非线性变化的 PSO 盲检测算法。

算法性能仿真实验表明:文中提出的改进 PSO 算法与基本 PSO 算法相比,具有全局收敛性好、收敛速度快、误码率低的优点,能够更好地解决盲检测问题,具有一定的研究价值。

$$P = \begin{bmatrix} 2.2379 & -0.9843 & -0.1345 & 0.0438 \\ -0.9843 & 0.4367 & 0.0672 & -0.2049 \\ -0.1345 & 0.0672 & 0.0783 & 0.0129 \\ 0.0438 & -0.2049 & 0.0129 & 15.5963 \end{bmatrix}$$

$$M = [6.4118 \quad -0.7332 \quad 0.0821 \quad 244.431]^T$$

$$K = P^{-1}M = [3171.5 \quad 7326.4 \quad -857.4 \quad 103.8]^T$$

仿真结果如图 2 所示,从图中可以看出,每个节点的每一个状态误差最后仍然都收敛于 0。

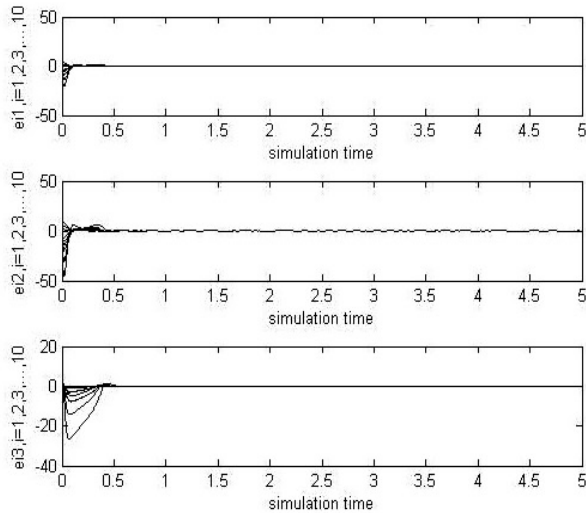


图 2 WS 小世界网络模型的状态误差

4 结束语

文中研究了噪声传输信道下的复杂动态网络的状态估计,通过节点输出变量设计了一种积分观测器,用于估计复杂网络节点的状态,估计误差可以控制在一个很小的邻域内。利用线性矩阵不等式,确定观测器的增益,并给出具体的例子验证了方案的有效性。

参考文献:

- [1] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of "small-world" networks[J]. Nature, 1998, 393(6684): 409-410.
- [2] Barabasi A L, Albert R. Emergence of scaling in random networks[J]. Science, 1999, 286(5439): 509-512.
- [3] 蒋国平, 樊春霞, 宋玉蓉, 等. 复杂动态网络同步控制及其在信息物理系统中的应用[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2010, 30(4): 41-51.
- [4] 郭雷, 许晓鸣. 复杂网络[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2006.
- [5] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 复杂网络理论及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [6] Jiang G P, Tang W K, Chen G. A state-observer-based approach for synchronization in complex dynamical networks[J]. IEEE trans on circuits syst I, regular papers, 2006, 53(12): 2739-2745.
- [7] Liu Y, Wang Z, Liang J, et al. Synchronization and state estimation for discrete-time complex networks with distributed delays[J]. IEEE transactions on systems, man and cybernetics - part B: cybernetics, 2008, 38(5): 1314-1324.
- [8] Jiang G P, Zheng W X, Tang W K S. Integral-observer-based chaos synchronization[J]. IEEE transactions on circuits and systems II, 2006, 53(2): 110-114.
- [9] Fan C X, Jiang G P. State reconstruction for complex dynamical networks with noises[J]. International journal of modern nonlinear theory and application, 2012(1): 1-5.
- [10] 樊春霞, 蒋国平. 输出耦合的复杂网络自适应牵制控制同步[J]. 应用科学学报, 2010, 28(2): 203-208.
- [11] 张志涌, 杨祖樱. MATLAB 教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
- [12] 俞立. 鲁棒控制-线性矩阵不等式处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [13] 马建仓, 牛奕龙, 陈海洋. 盲信号处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 172-185.
- [14] Tong L, Perreau S. Multichannel blind identification: from subspace to maximum likelihood methods[J]. Proc of IEEE, 1998, 86(10): 1951-1968.
- [15] 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.
- [16] 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, 35(6): 867-871.
- [17] Kennedy J, Eberhart R C. Particle swarm optimization[C]// Proceedings of IEEE international conference on neural networks. Perth, Australia: [s. n.], 1995.
- [18] 李丽, 牛奔. 粒子群优化算法[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009: 67-72.
- [19] 纪震, 廖惠连, 吴清华. 粒子群算法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 12-15.
- [20] Jiao B, Lian Z, Gu X. A dynamic inertia weight particle swarm optimization algorithm[J]. Chaos, solitons and fractals, 2008, 37(3): 698-705.
- [21] Poli R, Kennedy J, Blackwell T. Particle swarm optimization - an overview[J]. Swarm intelligence, 2007, 1(1): 33-57.
- [22] Hashemi A B. A note on the learning automata based algorithms for adaptive parameter selection in PSO[J]. Applied soft computing journal, 2011, 11(1): 689-705.

(上接第 61 页)

参考文献:

基于自调节粒子群算法的盲检测

作者: [张昀](#), [于舒娟](#), [王京](#), [ZHANG Yun](#), [YU Shu-juan](#), [WANG Jing](#)
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): 2013(11)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201311016.aspx