

基于改进蚁群优化的盲均衡算法研究

汪金伟,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:基本蚁群优化算法在信号的盲均衡处理中存在收敛速度慢、容易陷入局部最小的缺点。为了解决基本蚁群算法所存在的不足,文是通过修正基本蚁群算法的转移概率公式给出一种改进的蚁群优化盲均衡算法,建立了基于改进蚁群优化算法的 SIMO 系统盲检测模型,并对基于基本蚁群优化盲均衡算法和改进蚁群优化的盲均衡算法性能进行仿真。仿真分析结果表明,文中提出的改进算法能很好地恢复出未知的发送信号,同时提高了计算效率和加快了收敛速度,表现出了优于文献算法的良好性能。

关键词:蚁群算法;盲均衡;盲检测

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)04-0141-03

Research of Blind Equalization Algorithm Based on Improved Ant Colony Optimization

WANG Jin-wei, YU Shu-juan, ZHANG Yun

(College of Electronic Sci. and Eng., Nanjing Univ. of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: The basic ant colony optimization algorithm for the blind signal processing exits the shortcoming of slow convergence and easily falls into local minimum. To solve this problem, improved ant colony optimization algorithm is proposed by modifying the transition probability formula and SIMO system blind on detection model based on improving ant colony optimization algorithm is established, and simulate the performance of the basic and improved colony optimization blind equalization algorithm. The researched results show that the improved algorithm can be good to restore the unknown sent signals, improves computational efficiency and accelerates the convergence rate. It shows better performance than the literature algorithm.

Key words: improved ant colony algorithm; blind equalization; blind detection

0 引 言

蚁群算法(Ant Colony Algorithm,简称ACA)是意大利学者Dorigo M等^[1]于1991年提出的一种启发式的群智能仿生算法。该算法采用分布式计算机制,易与其他算法结合,而且具有较强的鲁棒性。在解决许多复杂的组合优化问题方面已经表现出很好的性能。目前其研究已渗透到多个应用领域,例如TSP问题、指派问题、以及车间作业调度问题^[2,3]。

在现代数字通信系统的传输过程中,由于多径效应及耦合效应会引起码间干扰而导致的通信质量下降,就采用了盲均衡技术来解决该类问题。盲均衡技术就是只利用接收序列本身的先验知识特点在没有训练序列的前提下即可均衡信道的特性,并从接收端的

接收信号恢复出未知的发送信号序列的自适应的均衡技术。目前已有一些经典的二阶统计量、高阶统计量的盲均衡算法^[4,5],但是这些方法大都存在计算复杂、收敛速度慢、只适用特定信号的缺点。

文中研究了基于蚁群优化的盲均衡算法,通过修正基本蚁群算法的转移概率公式给出一种改进的蚁群优化算法,并建立了基于改进蚁群优化算法的SIMO系统盲检测模型。

1 系统模型与问题的提出

参考文献[6,7],SIMO数字通信系统的模型如图1所示。

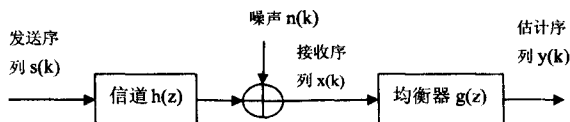


图1 SIMO系统模型

上图中, $h(z)$ 为离散时间传输信道(包括发射器、传输介质和接收器的综合作用)的冲激响应, $g(z)$ 为

收稿日期:2011-09-15;修回日期:2011-12-20

基金项目:国家自然科学基金(60772060)

作者简介:汪金伟(1986-),女,硕士,研究方向为通信系统与信号处理;于舒娟,副教授,硕士生导师,研究方向为通信系统与信号处理。

均衡器的单位冲激响应, $n(k)$ 为信道中的迭加噪声, $x(k)$ 为接收端的接收序列, 也为盲均衡器的输入序列。

SIMO 信道输出端的信号序列如下所示:

$$x(k) = h(z)s(k) + v(k) = H_q \cdot s_{M+1}(k) + n(k) \quad (1)$$

式中: 信道冲激响应 $h(z) = \sum_{i=0}^M h(i) \cdot z^{-i}$, 相应时域矩阵 $H_q = [h(0), h(1), \dots, h(M)]$, 其中 $M = \max\{M_i | i = 1, 2, \dots, q\}$, M_i 是第 i 子信道的阶数, q 是输出各子信道的总数。

由系统理论的恒等式知, 只有当 $h(z)$ 没有公共零点时, 存在的均衡器 $g(z)$ 使

$$\begin{aligned} y(k) &= g(z)x(k) = g(z)[h(z)s(k)] = \\ g(z) \left[\frac{1}{c} h(z) \right] \cdot [cs(k)] &= g(z) \tilde{h}(z) \cdot [cs(k)] = \\ cs(k) \end{aligned} \quad (2)$$

当利用 L 阶有限长单位冲激响应 (FIR) 滤波器 $g(z)$ 对接受的信号进行处理时, 接受信号向量 $x_{L+1}(k)$ 可表示如下:

$$x_{L+1}(k) = H \cdot s_{M+L+1}(k) + n_{L+1}(k) \quad (3)$$

式中: $x_{L+1}(k) = [x^T(k), x^T(k-1), \dots, x^T(k-L+1)]^T$; L 是向量均衡器 $g(z)$ 阶, 也称为平滑因子; M 是 SIMO 系统信道 $h(z)$ 的阶数; $s_{M+L+1}(k)$ 是发送信号向量; $n_{L+1}(k)$ 是噪声向量; 信道卷积矩阵 H 是块 Toeplitz 矩阵, $H \in R^{(L+1)q \times (M+L+1)}$ 。

对 N 个连续的估计信号 $y(k), y(k+1), \dots, y(k+N-1)$ 写出:

$$y_N = X_N \cdot g = S_N \cdot H^T \cdot g \quad (4)$$

其中, $x_N = [x(k), x(k+1), \dots, x(k+N-1)]^T$, $y_N = [y(k), y(k+1), \dots, y(k+N-1)]^T$, 则有:

$$s_N(k) = \text{sign}\{X_N \cdot g\} \quad (5)$$

为恢复发送信号 $s_N(k)$, 构造以下误差函数:

$$e_N = X_N g - s_N \quad (6)$$

由最小均方误差准则可得:

$$s_N(k) = \arg \min_{\substack{g \in R^{L+1 \times q} \\ \forall s_N \in \{-1, 1\}^N}} \|X_N g - s_N\|^2 \quad (7)$$

由于均衡器 $g(z)$ 未知, 所以无法根据式(3)估计出发送信号。为了估计发送信号。现构造补空间投影算子 $Q = I - X_N(X_N^H X_N)^{-1} X_N^H = \overline{U_C} \overline{U_C}^H$, 其中 $\overline{U_C}$ 是 X_N 零空间的正交阵, 可写出补空间残差:

$$\xi_N = Q e_N = Q[X_N g - s_N] = -Q \cdot s_N \quad (8)$$

所以发送序列估计 s_N 可以直接通过如下二次规划问题求解获得:

$$s_N = \arg \min_{\substack{s_N \in \{-1, 1\}^N}} \|\xi_N\|^2 = \arg \min_{\substack{s_N \in \{-1, 1\}^N}} s_N^H Q s_N \quad (9)$$

2 应用于盲均衡问题的改进优化蚁群算法

根据 NFL^[8] 定理, 蚁群算法虽然在 TSP 问题中取得很大成功, 但针对盲均衡问题应该对算法进行调整。根据盲均衡问题的以下特点, 对蚁群算法的转移概率做了一定的改进。改进的蚁群算法的转移概率写为^[9,10]:

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}(t)}{\sum_{s \in J_k(i)} \tau_{is}(t)} & \text{if } j \in J_k(i) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

由式(10)可以看出, 与基本蚁群算法相比, 用简化后的蚁群算法解决盲均衡问题就变得很简单, 不仅降低了计算的时间和空间复杂度, 而且在用户规模较大的情况下, 由于各数据之间互相独立, 算法的并行计算也变的非常简单。

蚁群算法在盲均衡中将信息素的更新规则定义如下:

$$\tau_j(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_j(t) + \Delta\tau_j \quad (11)$$

$$\Delta\tau_j = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_j^k \quad (12)$$

$$\Delta\tau_j^k = \begin{cases} \Delta F^k & \text{if } \Delta F^k > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (13)$$

式(11)为蚁群周游路径上各个节点信息素的更新公式, 其中 ρ ($0 < \rho < 1$) 表示信息素的蒸发系数; 式(12)表示蚁群在第 j 个节点增加的总的信息素。 $\Delta F^k = \frac{L}{F^k} - \frac{L}{F_{\text{last}}^k}$, $k \in \{1, \dots, 10\}$, L 是蚁群初始周游时最大费用函数, 为定值, F^k 是本次周游完后第 k 只蚂蚁的代价函数, F_{last}^k 是上次周游完后第 k 只蚂蚁的代价函数, 文中定义代价函数为 $F = \arg \min_{\substack{s_N \in \{-1, 1\}^N}} s_N^H Q s_N$, 它是利用将 BPSK 信号的盲均衡优化问题转化为求解二次规划问题得出的^[11,12]。

3 仿真试验

实验对 10 组 BPSK 的发送序列, 通过高斯白噪声的经典信道, 信道阶数为 $q = 3$, 在 MATLAB 的仿真平台下进行仿真研究。每个仿真试验均是通过 100 次的 Monte Carlo 实验得到, 为绘图方便, 采用纵坐标为对数轴, 且仿真实验图中都将误码率 (BER) 0 处理为 10^{-5} 。

试验 1: 不同信噪比下误码率对盲均衡算法性能影响。

仿真结果如图 2 所示。

从图 2 可看出, 算法在信噪比为 8dB 的时候误码率都将为零, 改进的蚁群算法的误码率优于基本蚁群

算法,由此可得出,改进蚁群算法在解决盲均衡问题中性能有了一定的改善。

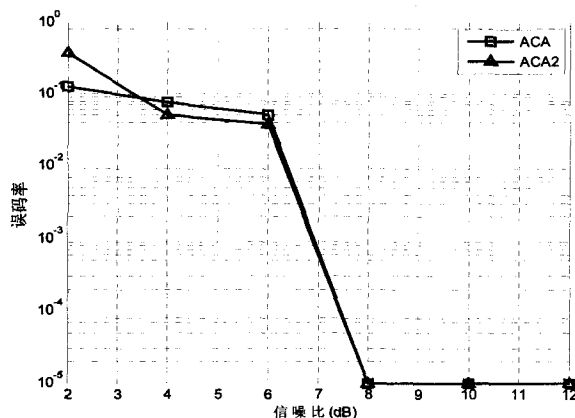


图2 改进蚁群算法和基本蚁群不同信噪比下误码率比较

试验2:不同迭代次数下代价函数曲线。
仿真结果如图3所示。

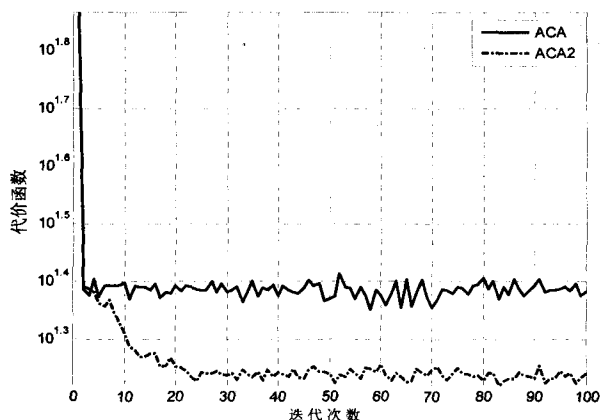


图3 代价函数平均值曲线

图3为信噪比为7dB时代价函数随迭代次数变化的曲线,从图3可以看出,随着迭代次数的增加,代价函数均在逐渐减小,但是改进蚁群算法的收敛速度明显优于基本蚁群算法,表现了良好的收敛性。

4 结束语

文中针对蚁群算法的结构和盲均衡问题的特点,

修正了基本蚁群算法转移概率使其得到了简化且其更容易实现并行计算。并通过仿真实验证明了这种方法的可行性。并且仿真结果表明这种简化的算法有着非常好的检测性能,它的误码率特性、收敛速度都表现了优于文献算法的结果。

参考文献:

- [1] Dorio M, Maniezzo V, Colomi A. Positive Feedback as a Search Strategy[R]. Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Italy: [s. n.], 1990.
- [2] Bell J E, McMullen P R. Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem[J]. Advanced Engineering Informatics, 2004, 18(1): 41-48.
- [3] Wang J F, Liu J H, Zhong F Y. A novel ant colony algorithm for assembly sequence planning[J]. Int J of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 25(11): 1137-1143.
- [4] Giannakis B, Mendel J M. Identification of nonminimum phase system using higher order statistics[J]. IEEE Transaction on Acoustic Speech and Signal Processing, 1989, 37(3): 360-377.
- [5] Godard D N. Self-recovering equalization and carrier tracking in two dimensional data communication systems[J]. IEEE Trans on Commun, 1980, 28(11): 1867-1875.
- [6] 张志涌, Bai Erwei. SIMO 含公零信道直接盲序列检测[J]. 电子学报, 2005, 33(4): 671-675.
- [7] 杨磊, 于舒娟. 基于精英策略的逆向蚁群优化盲检测算法[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(12): 90-93.
- [8] Gleiser P, Danon L. Community structure in jazz[J]. Advances in Complex Systems, 2003(6): 565-573.
- [9] 殷志锋, 蔡子亮, 田亚菲. 面向多用户检测的蚁群算法及其改进[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(7): 1511-1513.
- [10] 张元敏, 殷志锋, 周雅. 蚁群算法在多用户检测中的应用及其改进[J]. 信号处理, 2007, 23(4A): 338-342.
- [11] 段海滨. 蚁群算法原理及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [12] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.

(上接第140页)

- [7] 张云海, 龚铃. 数据挖掘原理与技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004: 50-54.
- [8] 王苗, 柴瑞敏. 一种改进的决策树分类属性选择方法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(8): 127-129.
- [9] Holte R C. Very simple classification rules perform well on most commonly used datasets[J]. Machine learning, 1998, 11(1): 63-91.
- [10] 曹志宇, 张忠林. 快速查找初始聚类中心的 K-means 算法[J]. 兰州交通大学学报, 2009, 28(6): 15-18.
- [11] Huang Z. Extensions to the k-means algorithm for clustering

large data sets with categorical values[J]. Data Mining and Knowledge Discovery II, 1998, 3(2): 283-304.

- [12] 秦楠, 万江文. 基于神经网络的城市天然气管网泄漏检测融合数据研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [13] 于冬, 顾培亮, 李晨光. 基于数据挖掘技术的铁路货运安全数据管理系统[J]. 中国铁道科学, 2004(4): 114-116.
- [14] 刘新亮, 姜同强, 左敏, 等. 数据仓库与数据挖掘技术在矿山信息化中的应用[J]. 金属矿山, 2009(2): 121-127.
- [15] 袁玉波, 杨传胜, 黄廷祝, 等. 数据挖掘与最优化技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 100-103.