

基于鱼群算法的无线传感网簇内信号盲检测

张 昀, 于舒娟, 王 静

(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003)

摘 要:文中在无线传感网传输模型分簇的基础上,针对簇内信号盲检测降低误码率和提高收敛性问题,提出了一种基于人工鱼群算法的信号盲检测算法。该算法采用自下而上的设计,构造了人工鱼的基本模型以及其各行为的模型,不需要了解问题的特殊信息,只需要对问题解的优劣进行比较,用此模型解决无线传感网簇内盲信号检测的二次规划性能函数。仿真结果表明,算法具有全局收敛性好、收敛速度快、误码率低的优点,从而成功实现了簇内簇首传感器信号盲检测。

关键词:无线传感网;鱼群算法;盲检测;簇内

中图分类号:TP18

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)12-0016-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.12.004

Blind Detection for Signals within Cluster of Wireless Sensor Networks Based on Artificial Fish School Algorithm

ZHANG Yun, YU Shu-juan, WANG Jing

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

Abstract:Based on model clustering in wireless sensor network transmission in this paper, in view of the problem of cluster signal blind detection lowering bit error rate and improving convergence, a signal blind algorithm based on artificial fish school algorithm is proposed. The bottom-up design is used in the novel algorithm and the basic model of artificial fish and its various models of behavior are constructed. It doesn't need to know the problem's special information and only to compare the advantage and disadvantage for the problem solution. The quadratic programming performance functions of inter-cluster signals is solved by the algorithm. Simulation results show that the algorithm has the advantages of good global convergence, quick convergence speed, low error rate, thus successfully implementing blind detection of sensor signal within the cluster and in the cluster head.

Key words:wireless sensor networks; fish school algorithm; blind detection; within the cluster

0 引 言

随着高速率数据通信和无线传感网技术的迅猛发展,无线传感器网络中传感器节点高密度分布的独特要求和制约因素,为传感器网络的研究提出了新的技术问题和新的挑战^[1-2]。传感器节点能量受限是无线传感网系统的重要特征,而无线信道的时变多径衰落特性是造成网络节点能效下降的主要因素之一。如果采用分簇处理,将距离较近的几个网络节点按照某种机理分成一个簇,并将簇内待传数据的节点和它附近的伙伴节点组织起来一起工作,多个单天线节点就形成了一个虚拟的多天线系统,则多天线 MIMO 技术用

于实际无线传感网中就成为可能,因此提出了针对无线传感网的虚拟 MIMO 技术^[3]。虚拟 MIMO 是一种克服无线传感网无线信道多径衰落和降低节点能耗的有效方法,但现有文献均假设信道状态信息未知或仅知道信道的统计特性,节点则无法根据信道的实时信息动态调整传输策略。考虑到物联网的特点,信道盲估计方法需具有仅依赖小数据量和小运算量、快收敛率以减少节点的能耗的要求。

20 世纪 50 年代,李晓磊等通过模拟鱼在水里的行为方式构建一种鱼群模式,提出了人工鱼群算法^[4-5],用来解决智能优化问题。鱼群算法是一种全

收稿日期:2014-01-19

修回日期:2014-04-25

网络出版时间:2014-10-23

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61302155);南京邮电大学引进人才项目(NY212022)

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.20141023.1052.019.html>

局寻优和自适应能力强、收敛速度快的新型群智能优化算法。通信领域中,文献[6]指出基于鱼群算法的多用户检测算法在比特误码率性能、抗远近效应和收敛速度上都明显优于基于粒子群优化和遗传算法的检测方法。优化部署的无线传感器网络可以提高网络覆盖率和服务质量,针对传感器节点有体积、成本等方面的限制的特点,文献[7-9]提出一种基于鱼群算法的网络部署优化方案,可有效提高网络覆盖率,优化网络性能。在信号和图像处理领域,为了增强信号处理的效果,文献[10]提出一种采用鱼群算法优化小波阈值的方法,文献[11]提出了三种基于鱼群算法的自适应步长改进方法,应用于图像分割,并与采用遗传算法和粒子群算法的情况进行比较。在神经网络领域,Zhang M F 等将人工鱼群算法应用到神经网络的结构优化和特征选择中,增强了泛化能力,减少了运算量^[12]。曹承志等提出了采用鱼群算法优化 BP 神经网络的速度辨识器^[13],实现了鱼群算法的全局搜索能力与 BP 算法的局部寻优能力的互补。

针对无线传感网的上述需求和混沌 Hopfield 神经网络的特点,文中构造了基于鱼群算法的无线传感网簇间信号盲检测方法,旨在为无线传感网簇内各传感器节点信号盲检测提供一种高速、低复杂度的算法。

1 簇内传感器信号传输 SIMO 模型

如图 1 所示,在无线传感网传输模型分簇的基础上^[1-2],传感器节点分成多个簇,每个簇由簇首节点和成员节点构成,分簇的原理是邻近的传感器节点收集的数据相关性高,需要由簇首负责接收、融合并转发簇内数据。簇内成员节点负责感知、采集数据,并把检测到的数据发送到本簇的簇首节点。各簇内簇首一般是数据融合节点,负责接收簇成员节点发来的数据,经过数据融合后对簇进行组织和管理。簇首可以对接收到的多个传感器信息进行相应的融合及智能处理,包含低复杂度的检测算法,并将检测出的信号发送到接收端(Sink)。

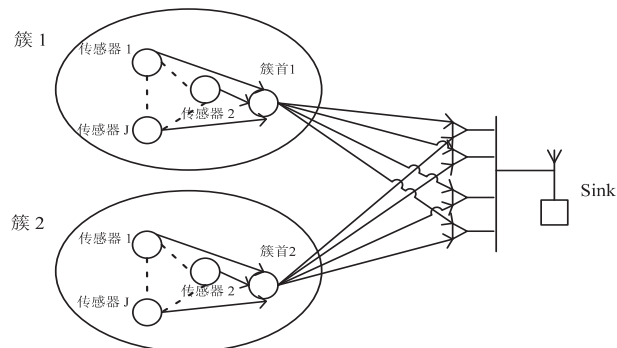


图 1 基于分簇无线传感器网络分簇图

簇内多传感器发送相关性较强的信号至簇首传感

器,不失一般性,设无线传感网某簇内具有 q 个节点,分别发送信号至簇首,则模型可看作 SIMO 的有限冲激响应系统,其基带输出信号为

$$\mathbf{X}_N = \mathbf{S}\mathbf{\Gamma}^T \quad (1)$$

其中, $\mathbf{S} = [s_{L+M}(k), \dots, s_{L+M}(k+N-1)]^T = [s_N(k), \dots, s_N(k-M-L)]_{N \times (L+M+1)}$ 是发送信号阵, M 为各成员节点至簇首的信道的阶数, L 为均衡器阶数, N 为簇首接收数据长度, $s_{L+M}(k) = [s(k), \dots, s(k-L-M)]^T$, 其中 $s(t) \in \{\pm 1\}$, 是传感器发送的数字信号 $b(t)$ 被扰码 c 扰动后的信号, $s(t) = c \cdot b(t)$; $\mathbf{\Gamma}$ 是由 $h_i, i=0, 1, \dots, M$ 构成的块 Toeplitz 矩阵, 其维数为 $(L+1)q \times (L+M+1)$, $h_i = [h_0, \dots, h_M]_{q \times (M+1)}$ 是信道冲激响应; $(\mathbf{X}_N)_{N \times (L+1)q} = [x_L(k), \dots, x_L(k+N-1)]^T$ 是接收数据阵, 其中 $x_L(k) = \mathbf{\Gamma} \cdot s_{L+M}(k)$ 。

对于公式(1), $\mathbf{\Gamma}$ 满列秩时,构造性能函数及优化问题:

$$J_0 = \mathbf{s}_N^T(k-d) \mathbf{Q} \mathbf{s}_N(k-d) \quad (2)$$

$$\hat{\mathbf{s}} = \underset{\mathbf{s} \in \{\pm 1\}^N}{\operatorname{argmin}} \{J_0\} \quad (3)$$

其中, $\mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N$ 是 N 维向量, 所属字符集 $\{\pm 1\}$; $\hat{\mathbf{s}}$ 表示信号的估计值。

$\mathbf{\Gamma}$ 满列秩时,一定有 $\mathbf{Q} = \mathbf{U}_c \mathbf{U}_c^T$ 满足 $\mathbf{Q} \mathbf{s}_N(k-d) = 0, d=0, 1, \dots, M+L$, 且 $(\mathbf{U}_c)_{N \times (N-(L+M+1))}$ 是奇异值分解 $\mathbf{X}_N = [\mathbf{U}, \mathbf{U}_c] \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{D} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{V}^T$ 中的酉基阵。如此,簇内簇首传感器信号的盲检测问题就成为了式(3)的全局最优解问题。

文中利用人工鱼群优化算法来解决此问题。文中评价函数直接定义为 $F = \min_{\forall \mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N} \mathbf{s}_N^H \mathbf{Q} \mathbf{s}_N$, 人工鱼群算法进行寻优搜索后食物浓度最低值即为求评价函数 F 的最小值。在搜索过程中,通过鱼群算法中对各个行为及与公告板中当前最优值的比较来使每条鱼(变量)向最优的区域移动,即浓度值最小处调整其当前状态,当迭代次数达到最大次数时终止迭代,得到的全局最优位置变量,即为待求的簇首传感器信号。

$$\hat{\mathbf{s}}_N = \underset{\mathbf{s}_N \in \{\pm 1\}^N}{\operatorname{arg}} (F)$$

2 人工鱼群算法

人工鱼群算法构造了人工鱼的基本模型以及其各行为的模型。基于人工鱼群的无线传感网簇内信号盲检测算法流程图如图 2 所示,其实现步骤如下:

(1) 建立随机信号的模型,并生成无线传感网簇内传感器节点随机发送序列,初始化鱼群算法参数:群体规模、步长、最大迭代次数、视野、拥挤度因子和公告

板等。

(2) 随机产生无线传感网簇内簇首节点信号鱼群中每条人工鱼的状态,即初始化发送信号,每个鱼群包含数据长度为 N 的发送信号序列。

(3) 根据人工鱼个体的适应度函数计算每条人工鱼的食物浓度值,即簇内传感器节点盲信号检测的评价函数,记录于公告板。

(4) 评估每条人工鱼的当前状态,选择其将要执行的行为,包括觅食行为、聚群行为和追尾行为。

(5) 搜索当前最优人工鱼的状态及其对应的食物浓度值并与公告板中记录值进行比较;若优于公告板,则更新公告板;若迭代次数未达到步骤(1)中设置的最大迭代次数,则迭代次数加1,重复步骤(4);若达到最大迭代次数,转至步骤(6)。

(6) 当迭代次数达到步骤(1)中设置的最大迭代次数时,终止迭代,输出全局最优人工鱼的状态及其适应度函数值。

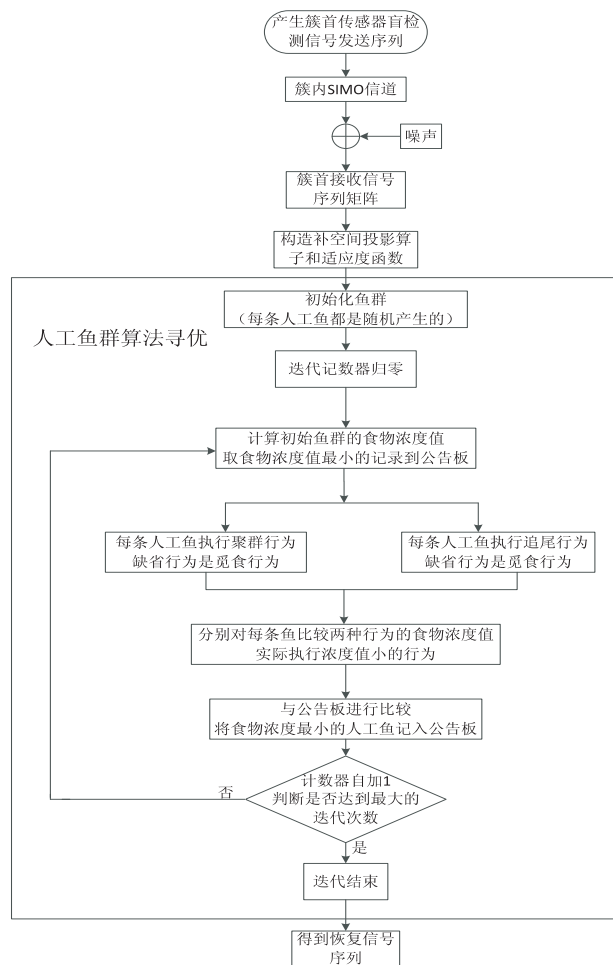


图2 基于人工鱼群算法的簇内SIMO系统盲检测流程图

3 仿真结果与分析

为了验证无线传感网簇内人工鱼群盲检测算法的

性能,文中利用 Matlab 软件进行了仿真实验。发送信号调制方式为 BPSK 信号,噪声为均值为 0 的高斯噪声。实验说明:

(1) 人工鱼群优化盲检测算法基本参数:序列长度 30,信道阶数为 5。

(2) 所有仿真实验均由 100 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} [14]。

实验 1:不同信噪比情况下,人工鱼群算法检测簇内传感器信号的平均误码率曲线图。

图 3 是无线传感网簇内基于人工鱼群优化盲检测算法与基于遗传算法的误码率比较曲线图。本实验采用文献[1]中权值和延时度变化的随机合成信道,鱼群大小设为 50,视野取为 2.0,步长取为 0.5,最大尝试次数为 5,最大迭代次数设为 250,信噪比范围选为 0 ~ 18 dB,发送信号采用 BPSK 信号。由图可知,低信噪比情况下,人工鱼群算法的误码率低于遗传算法。如图 3 所示,遗传算法在 BER 为 12 dB 的时候误码率才逼近零,而人工鱼群算法在 BER 为 9 dB 的时候误码率已接近零,基于人工鱼群的优化盲检测算法误码率性能优于基于遗传算法的盲检测算法。

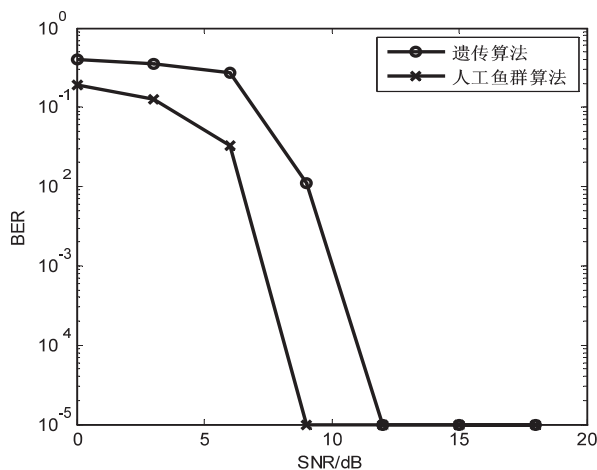


图3 基于人工鱼群与遗传算法的性能比较误码率曲线图

实验 2:簇内人工鱼群盲检测算法在不同信道下的误码率比较。

图 4 是人工鱼群盲检测算法在无线传感网簇内不同信道下的误码率曲线图。实验中主要采用三种文献信道,图中 CH1:采用权值和延时度变化的随机合成信道[1];CH2:采用权值和延时固定的合成信道,但含一个公零点;CH3:指定延迟 $\text{delay} = [0, 1/3]$ 、权系数 $w = [1, -0.7]$ 产生信道[14],信道头尾各补 q 个零。仿真结果表明,信道一、信道二和信道三都均能成功进行盲检测,算法对信道具有一定的鲁棒性,能够适用于含一个公零点信道。

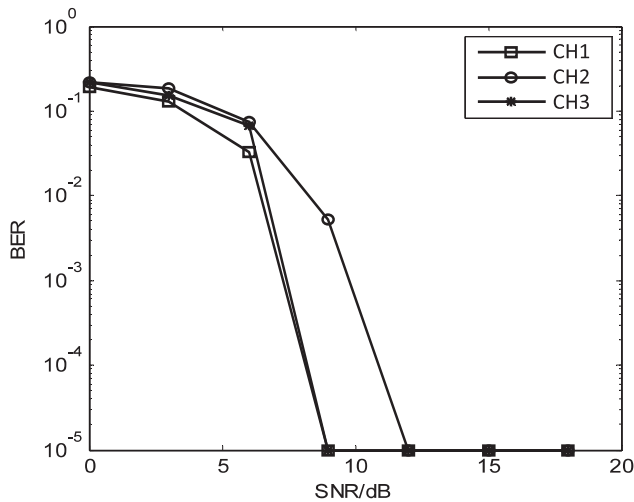


图 4 人工鱼群算法在簇内不同信道下的误码率曲线图

4 结束语

文中提出了一种基于人工鱼群算法的无线传感网簇内信号盲检测方法。所述方法采用自底向上的设计,构造了人工鱼的基本模型以及其各行为的模型,根据基本鱼群优化算法的流程推导实现步骤,研究和分析了人工鱼群算法的各个参数对算法结果的影响,以及算法对无线传感网簇内信道条件的鲁棒性。仿真实验结果表明基于人工鱼群的盲检测算法是一种在无线传感网簇内信号盲检测应用中十分行之有效的办法。

参考文献:

[1] Li Xiaohua. Blind channel estimation and equalization in wireless sensor networks based on correlations among sensors [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53 (4): 1511-1519.

[2] Li Xiaohua. Blind channel identification and equalization in dense wireless sensor networks with distributed transmissions [C]//Proc of 2004 IEEE international conference on acoustics, speech, and signal processing. Montreal, Quebec, Canada: IEEE, 2004.

[3] 吴 越. 串行算法并行化处理的数学模型与算法描述[J]. 计算机技术与发展, 2012, 22(5): 14-18.

[4] 莫则尧, 袁国兴. 消息传递并行编程环境—MPI [M]. 北京: 科学出版社, 2011.

[5] 都志辉. 高性能计算并行编程技术—MPI 并行程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.

[6] 于忠亮. 并行计算中的 I/O 问题研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2010.

[3] Cui Shuguang, Goldsmith A J, Bahai A. Energy-efficiency of MIMO and cooperative MIMO techniques in sensor networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(6): 1089-1098.

[4] 李晓磊. 一种新型的智能优化方法—人工鱼群算法 [D]. 杭州: 浙江大学, 2003.

[5] 李晓磊, 钱积新. 人工鱼群算法: 自下而上的寻优模式 [C]//过程系统工程 2001 年会论文集. 出版地不详: 出版者不详, 2002.

[6] Jiang Mingyan, Wang Yong, Pfletschinger S, et al. Optimal multiuser detection with artificial fish swarm algorithm [C]//Proceedings of international conference on intelligent computing. [s. l.]: [s. n.], 2007: 1084-1093.

[7] 廖灿星, 张 平, 李行善, 等. 基于混合人工鱼群算法的传感器网络优化 [J]. 北京航空航天大学学报, 2010, 36(3): 373-377.

[8] 王 蕊, 刘国枝. 基于鱼群优化算法的无线传感器网络部署 [J]. 振动与冲击, 2009, 28(2): 8-11.

[9] 周利民, 杨科华, 周 攀. 基于鱼群算法的无线传感网络覆盖优化策略 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27(6): 2276-2279.

[10] Jiang M Y, Yuan D F. Wavelet threshold optimization with artificial fish swarm algorithm [C]//Proceedings of international conference on neural networks and brain. [s. l.]: [s. n.], 2005: 569-572.

[11] Jiang M Y, Mastorakis N E, Yuan D F, et al. Multi-threshold image segmentation with improved artificial fish swarm algorithm [C]//Proceedings of European computing conference. [s. l.]: [s. n.], 2007: 35-38.

[12] Zhang M F, Shao C, Li F C, et al. Evolving neural network classifiers and feature subset using artificial fish swarm [C]//Proceedings of the 2006 IEEE international conference on mechatronics and automation. [s. l.]: IEEE, 2006: 1598-1602.

[13] 曹承志, 张 坤, 郑海英, 等. 基于人工鱼群算法的 BP 神经网络速度辨识器 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21(4): 1047-1050.

[14] 王 静. 人工鱼群算法在盲检测中的研究与应用 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.

(上接第 15 页)

[12] HDF5 [EB/OL]. 2013-11-15. <http://www.hdfgroup.org/>.

[13] Parallel NetCDF [EB/OL]. 2013-12-23. <http://cucis.ece.northwestern.edu>.

[14] 王志斌, 万玉发, 沃伟峰. 天气雷达组网拼图并行处理方法研究 [J]. 计算机技术与发展, 2013, 23(7): 187-190.

[15] 王 彬, 肖文名, 李永生, 等. 华南区域中心计算资源管理系统的建立与应用 [J]. 气象, 2011, 37(6): 764-770.

[16] 高晋芳, 迟学斌, 姜金荣. WRF 数值气象预报模式系统在深腾 6800 上的移植与测试 [J]. 计算机应用研究, 2007, 24(6): 245-247.

基于鱼群算法的无线传感网簇内信号盲检测

作者：[张昀](#)，[于舒娟](#)，[王静](#)，[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](#)

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

年，卷(期)：2014(12)

引用本文格式：[张昀](#). [于舒娟](#). [王静](#). [ZHANG Yun](#). [YU Shu-juan](#). [WANG Jing](#) [基于鱼群算法的无线传感网簇内信号盲检测](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2014(12)