

# 基于改进蚁群优化的盲检测算法

于舒娟,张 昀,杨 磊

(南京邮电大学 电子科学与工程学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**文中针对基本蚁群算法在求解过程中容易出现收敛时间过长以及易陷入局部最优解的不足,对基本蚁群算法中的信息素更新方法进行改进,提出了一种新的算法:基于特种蚁群优化算法,并将其用于信号盲检测。文中提出的改进蚁群算法能更好地避免优化算法出现过早停滞现象,优化盲检测性能。对改进算法的仿真实验及复杂度分析结果表明:基于特种蚁群优化盲检测算法在具有与原算法相同复杂度的前提下,提高了算法的盲检测性能,具有可行性和有效性。

**关键词:**特种蚁群优化算法;盲检测;收敛性

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)11-0074-03

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.11.019

## An Blind Detection Algorithm Based on Improved Ant Colony Algorithm

YU Shu-juan, ZHANG Yun, YANG Lei

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

**Abstract:** Considering the deficiencies about slow convergence and falling into local optimum easily in the processing of solution for standard ant colony algorithm, an improved ant colony algorithm, TACO, is presented to solve the defects and applied to blind signal detection. The new algorithm avoids premature stagnation and optimizes its performance. The experiment results of the improved algorithm and complexity analysis shows that under the premise of same complexity with the original algorithm, the TACO improves the performance of the blind detection, which is feasible and effective.

**Key words:** TACO; blind detection; convergence

### 0 引言

自1991年M. Dorigo<sup>[1]</sup>等提出了第一个ACO算法并成功用于求解TSP问题以来,对蚁群算法的深入研究相继出现。1995年L. M. Gambardella, M. Dorigo<sup>[2]</sup>提出了Ant-Q算法,该算法在构造解的过程中能够更好地保持知识探索(Exploration)与知识利用(Exploitation)之间的平衡;1997年意大利学者Fabio Abbattista等人<sup>[3]</sup>受遗传算法的启发,提出蚁群算法和遗传算法相结合的混合优化算法;1999年Bullnheimer等<sup>[4]</sup>提出了基于排序的蚂蚁系统(Rank-based Version of Ant System)等等。目前蚁群算法的改进主要是从局部搜索策略、蚂蚁内部状态、信息素更新策略及选择策略四个方面进行,如何提高蚁群算法的收敛速度是对该算法进一步研究的关键问题。蚁群算法作为一种新的且很有前途的研究领域,目前已经成功应用在一

些组合优化问题中,如Schoonder woerd等<sup>[5]</sup>率先将蚁群算法用于通信网络的路由问题;Di Caro等<sup>[6]</sup>基于蚁群算法设计了自适应路由算法AntNet,每个节点根据网络的状态动态更新路由表项;Hussein等<sup>[7]</sup>提出了改进的蚁群算法应用于移动自组织网络的路由问题;Gomez等<sup>[8]</sup>将蚁群算法应用于配电网的规划;Zecchin等<sup>[9]</sup>用改进的蚁群算法对配水系统的设计进行优化等等。在信号传输过程中,为了提高通信质量,减小误码率,需要使用均衡技术以补偿信道,消除干扰。盲均衡算法就是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>[10-13]</sup>。文中将蚁群算法应用于盲均衡中,并提出一种改进算法:基于特种蚁群优化的盲检测算法,对其收敛性进行证明,并通过性能仿真和复杂度比较证明改进算法的优

收稿日期:2013-01-24

修回日期:2013-04-28

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:于舒娟(1967-),女,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.20130828.0829.020.html>

越性。

1 基本蚁群优化盲检测算法模型

1.1 问题提出

根据文献[14],SIMO 数字通信系统中接收信号方程、盲处理方程分别如下式表示:

$$\begin{aligned} (\mathbf{x}(k))_{q \times 1} &= \sum_{j=0}^M (\mathbf{h}_j)_{q \times 1} s(k-j) = [\mathbf{h}_0, \dots, \\ &\quad \mathbf{h}_M] (s(k))_{(M+1) \times 1} \end{aligned} \tag{1}$$

$$\mathbf{X}_N = \mathbf{S} \mathbf{I}^H \tag{2}$$

其中,  $q$  是过采样因子;  $M$  是信道阶数;  $L$  是均衡器阶数;  $[\mathbf{h}_0, \dots, \mathbf{h}_M]$  是信道的冲激响应;  $(\mathbf{X}_N)_{N \times (L+1)q}$  是接收信号矩阵;  $(\mathbf{S})_{N \times (L+M+1)}$  是发送信号矩阵;  $(\mathbf{I})_{(L+1)q \times (L+M+1)}$  是由  $\mathbf{h}_j (j = 0, 1, 2, \dots, M)$  构成的块 Toeplitz 矩阵。由式(2)可知,当  $\mathbf{I}$  为列满秩矩阵时,一定有  $\mathbf{Q} \mathbf{S}_N(k-d) = \mathbf{0} (d = 0, \dots, M+L)$ ,  $\mathbf{Q} = \mathbf{U}_c \mathbf{U}_c^H$ 。其中  $\mathbf{U}_c$  由接收信号矩阵奇异值分解而来并且满足  $\mathbf{X}_N = [\mathbf{U}, \mathbf{U}_c] \begin{bmatrix} \mathbf{D} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \mathbf{V}^H$ ,  $\mathbf{U}_c \in R^{N \times (N-(L+M+1))}$ 。由此可以构造

代价函数与优化问题:

$$J_0 = \mathbf{S}_N^T(k-d) \mathbf{Q} \mathbf{S}_N(k-d) = \mathbf{S}^T \mathbf{Q} \mathbf{S} \tag{3}$$

$$\mathbf{s} = \operatorname{argmin} \{ J_0 \} \tag{4}$$

显然,式(4)是个带约束条件的二次型函数优化问题。文中就是利用蚁群优化算法来解决这一问题。

1.2 基本蚁群优化盲检测算法模型

蚁群优化算法中,每只蚂蚁仅根据节点间弧上的信息素和启发信息所构成的转移概率  $p_{ij}^k(t)$  独立地选择下一个节点,已选择的节点放入禁忌表中,当所有蚂蚁完成一次周游后,各个弧上的信息素要进行更新,因此,信息素和启发信息的选取在蚁群优化算法中起着至关重要的作用。

1) 费用函数。

文中采用 M Dorigo 提出的 ant - cycle 蚁群优化算法模型,结合二次规划问题的特点,依据公式(4)将  $F = \arg \min_{\forall s_n \in \{ \pm 1 \}} \mathbf{s}_N^H \mathbf{Q} \mathbf{s}_N$  作为文中蚁群优化算法的评价函数,即蚁群周游一次的费用函数。

2) 信息素。

信息素的更新规则如下:

$$\tau_j(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_j(t) + \Delta \tau_j \tag{5}$$

$$\Delta \tau_j = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_j^k \tag{6}$$

$$\Delta \tau_j^k = \begin{cases} \Delta F^k & \text{if } \Delta F^k > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \tag{7}$$

其中,  $\rho (0 < \rho < 1)$  表示信息素的蒸发系数;  $\Delta F^k$   $= \frac{L}{F^k} - \frac{L}{F_{\text{last}}^k}$ ,  $k \in \{1, \dots, 10\}$ ,  $L$  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  $k$  只蚂蚁的费用函数。

3) 启发信息。

各个节点的启发信息更新规则如下:

$$\eta_j^k = \begin{cases} \frac{F_{\max}}{F^k} > 1 & \text{if note is 1} \\ 1 & \text{else} \end{cases} \tag{8}$$

或

$$\eta_j^k = \begin{cases} \frac{F_{\min}}{F_{\max}} < 1 & \text{if note is 1} \\ \frac{F^k}{F_{\min}} \geq 1 & \text{else} \end{cases}$$

式(8)中,如果节点  $j$  为 1,认为蚂蚁  $k$  经过该节点;如果节点  $j$  为 -1,则认为蚂蚁  $k$  没有经过该节点。

1.3 基本蚁群优化盲检测算法时间复杂度分析

设  $n$  为 TSP 的规模,  $m$  为基本蚁群算法所采用的蚂蚁数目,循环变量为 NC,最大循环次数为  $\text{NC}_{\max}$ ,则针对前面对基本蚁群算法的描述,可逐步分析出时间复杂度,如表 1 所示。当  $n$  足够大时,低次幂的影响可忽略不计,则由上述步骤可知,基本蚁群算法中  $m$  只蚂蚁要遍历  $n$  个元素(城市),经过 NC 次循环,则整个计算过程的时间复杂度为:  $T(n) = O(\text{NC} \cdot n^2 \cdot m)$ 。

表 1 基本蚁群算法时间复杂度分析		
步骤	内容	时间复杂度
(1)	初始化函数	$O(n^2 + m)$
(2)	设置蚂蚁禁忌表	$O(m)$
(3)	每只蚂蚁单独构造解	$O(n^2 \cdot m)$
(4)	解的评价和轨迹更新量的计算	$O(n^2 \cdot m)$
(5)	信息轨迹浓度的更新	$O(n^2)$
(6)	判断是否达到算法的中止条件,若没有,则 转到第(2)步	$O(n \cdot m)$
(7)	输出计算结果	$O(1)$

2 特种蚁群优化盲检测算法设计

虽然蚁群优化算法已被证明是一种有效的解决组合优化问题的方法,但还存在一些不足之处,如容易陷入局部最优解,工作过程中产生停滞问题及较长的搜索时间等等。文中采用特种思想对蚂蚁系统信息素更新机制进行改进,即增强在每次迭代中找到最优路径的蚂蚁的重要性,对其找到的路径增加额外的信息素,这种策略改善了蚂蚁系统求解大规模问题的能力。文中特种蚁群优化算法思想是:每次迭代完成后,在对信息素进行更新时,加强对局部最优解的利用。文中给出信息素更新公式如式(9)、(10)。

$$\tau_j(t) = (1-\rho) \cdot \tau_j(t-1) + \Delta \tau_j + \Delta \tau_j^* \tag{9}$$

$$\Delta\tau_j^* = \begin{cases} \frac{R}{L^*} & \text{如果节点 } j \text{ 是所找出的局部最优解的一部分} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (10)$$

其中,  $\Delta\tau_j^*$  表示特种蚂蚁在节点  $j$  上增加的信息素量;  $R$  为正常数;  $L^*$  表示本次周游局部最优解所走过路径的长度。

### 3 实验结果与分析

为了验证特种蚁群优化算法的性能, 文中进行了仿真实验。仿真采用 BPSK 作为发送序列, 噪声为高斯白噪声。需要说明的是: 所有仿真结果都是经 100 次 Monte Carlo 试验而得, 文中仿真所采用的软件平台为 Matlab Version 7.4.0 (R2007a)。仿真给出了不同信噪比情况下的信号盲检测误码率-信噪比曲线图, 且为表示方便, 以下的仿真实验将误码率 (BER) 0 处理为  $10^{-5}$ 。

实验一: 特种蚁群优化盲检测算法性能分析。

仿真条件: 具体考虑了如下 3 个盲均衡经典文献信道。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: 采用权值和延时度变化的随机合成信道; 信道三: 按文献 [11] Zhi Di 的指定信道。特种蚁群优化算法 (TACO) 盲检测 BPSK 信号的 BER-SNR 性能曲线如图 1 所示。仿真结果表明, 特种蚁群优化算法 (TACO) 在三种信道条件下都能成功实现盲检测。其中在信道一中效果最佳, 而其他两个信道稍差一点。同时可以看出: 改进的蚁群优化算法性能较为稳定, 受信道影响不大。

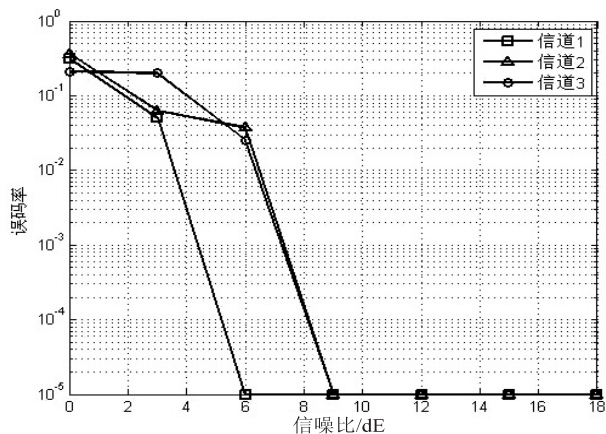


图 1 TACO 盲检测 BPSK 信号的 SNR-BER 性能曲线

实验二: 特种蚁群优化算法与基本蚁群优化算法和遗传优化算法比较。

该实验采用权值和延时度变化的随机合成信道, 在其他仿真条件相同的情况下给出了改进蚁群算法与基本蚁群算法和遗传优化算法相比较的信号盲检测误码率-信噪比 (BER-SNR) 曲线, 如图 2 所示。从图 2

可以看出, 三种算法都能很好地盲恢复出 BPSK 发送信号。特种蚁群优化盲检测算法误码率明显低于基本蚁群优化算法, 在信噪比为 6 dB 时就已经完全恢复出了发送信号, 表现出很好的稳定性。

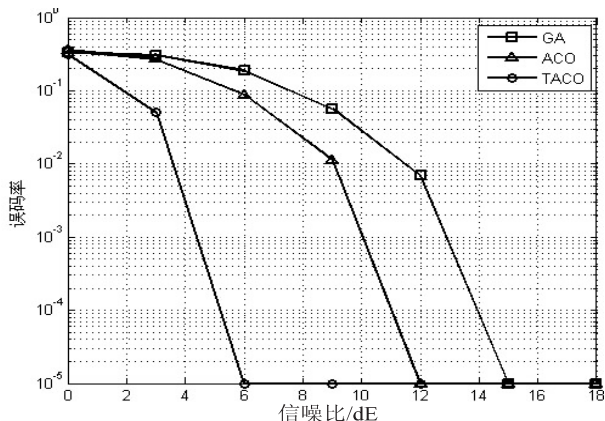


图 2 各种算法在盲检测 BPSK 信号中的 SNR-BER 性能曲线

根据 1.3 基本蚁群优化算法的基本步骤分析出该算法的时间复杂度为  $O(NC \cdot n^2 \cdot m)$ 。文中提出的特种蚁群优化算法主要是加强了局部最优蚂蚁的信息素更新方式, 故其时间复杂度仍为  $O(NC \cdot n^2 \cdot m)$ , 与基本蚁群算法复杂度相同。综上表明, 特种蚁群优化算法在复杂度不变的前提下盲检测性能具有显著提高, 有利于蚁群算法的应用和推广。

### 4 结束语

文中分析了蚁群算法的基本原理及算法描述, 然后给出基于蚁群优化盲检测算法的数学模型并分析了算法的时间复杂度, 接着针对蚁群算法在实际应用中存在的问题, 提出一种改进的基于蚁群优化的盲检测算法, 分析了改进算法的时间复杂度, 并通过仿真实验验证了算法的良好性能。

#### 参考文献:

- [1] Colomi A, Dorigo M, Maniezzo V. Distributed optimization by ant colonies [C]//Proc of the first European conf on artificial life. Paris, France: Elsevier Publishing, 1991: 134-142.
- [2] Gambardella L M, Dorigo M. Ant-Q: a reinforcement learning approach to the traveling salesman problem [C]//Proceedings of the twelfth international conference on machine learning. [s. l.]: [s. n.], 1995: 252-260.
- [3] Stutzle T. MAX-MIN ant system for quadratic assignment problems [R]. Germany: Darmstadt University of Technology, 1997.
- [4] Bullnheimer B, Hartl R R, Strauss C. A new rank-based version of the ant system; a computational study [J]. Central European journal for operations research and economics, 1999, 7

1)事务完成(Transaction is COMMITTED):假设用户向旅行代理发送预定申请,旅行代理成功完成了预定旅馆、预定机票和银行支付三个子事务,整个业务事务成功提交,并持久记录在数据库中。

2)事务失败(Transaction is ROLLED BACK):假设用户向旅行代理发送预定申请后,旅行代理完成了预定机票、银行支付两个子事务,但执行预定旅馆子事务失败,导致整个业务事务失败,最后撤销整个事务,并对预定机票、银行支付进行了补偿。

4 结束语

文中将业务流程执行语言的流程设计与 WS-C/T 事务协议结合,对 Web 服务组合事务模型进行研究与实现,该模型能够对 Web 服务进行可靠、有效地集成,并且具有事务补偿和故障恢复能力,保证了事务执行结果的一致性。提出的模型支持业务事务,将来还要进一步对混合事务(业务事务作用域内嵌套原子事务)进行研究,实现复杂的事务管理;另外可进一步研究动态的 Web 服务组合以提高服务质量<sup>[10]</sup>。

参考文献:

[1] 武云鹏,包卫东,张维明,等. Web 服务组合系统研究综述[J]. 计算机科学,2011,38(9):1-4.

[2] OASIS. Business transaction protocol (BTP) version 1.0[EB/OL]. 2002-06. <https://www.oasis-open.org/committees/>

+++++

(上接第 76 页)

(1);25-38.

[5] Ruud S,Owen H,Janet B. Ant-like agents for load balancing in telecommunications networks[C]//Proceedings of the first international conference on autonomous agents. Marinadel Rey,California,United States:[s. n.],1997.

[6] Caro G D,Dorigo M. AntNet;a mobile agents approach to adaptive routing[R]. Bruxelles;Universite Libre de Bruxelles,1997.

[7] Hussein O H,Saadawi T M,Jong L M. Probability routing algorithm for mobile ad hoc networks resources management[J]. IEEE journal on selected areas in communications,2005,23(12):2248-2259.

[8] Gomez J F,Khodr H M,de Oliveira P M,et al. Ant colony system algorithm for the planning of primary distribution circuits[J]. IEEE transactions on power systems,2004,19(2):996-1004.

[9] Zecchin A C,Simpson A R,Maier H R,et al. Parametric study

business - transaction/documents/primer/Primerhtml/BTP%20Primer%20D1%2020020602. html.

[3] BEA,IBM and Microsoft. Web services coordination (WS-Coordination)[EB/OL]. 2009-02. <http://docs.oasis-open.org/ws-tx/wstx-wscoor-1.2-spec-os/wstx-wscoor-1.2-spec-os.html>.

[4] Aljuna,Fujitsu,IONA,et al. Web services composite application framework (WS-CAF)[EB/OL]. 2003-07. <http://xml.coverpages.org/WS-CAF-Primer200310.pdf>.

[5] Mandell D J,McIlraith S A. Adapting BPEL4WS for the semantic web;the bottom-up approach to web service interoper-ation[C]//Proc of ISWC. [s. l.]:Springer,2003:227-241.

[6] Thompson H S,Beech D,Maloney M,et al. XML schema-part 1:structures second edition[EB/OL]. 2004-10. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-1-20041028/>.

[7] Sauter P,Melzer I. A comparison of WS-business activity and BPEL4WS long- running transaction[C]//Proc of KiVS. [s. l.]:Springer,2005:115-125.

[8] Patel C, Supekar K, Lee Y. Provisioning resilient, adaptive Web services-based workflow;a semantic modeling approach[C]//Proc of IEEE international conference on web services. [s. l.]:IEEE,2004:480-487.

[9] 何 演,管有庆. 基于 WS-C/T 协议的 Web 服务业务事务处理研究 with 实现[J]. 计算机技术与发展,2011,21(4):90-93.

[10] 吴 钊. 保证服务质量的动态 Web 服务组合及其性能分析研究[D]. 武汉:武汉大学,2007.

for an ant algorithm applied to water distribution system opti-mization[J]. IEEE transactions on evolutionary computation,2005,9(2):175-191.

[10] Giannakis G B,Hua Y B,Stoica P,et al. Signal processing ad-vances in wireless and mobile communications, volume 1: trends in channel estimation and equalization[R]. Upper Sad-dle River,N J;Prentice Hall PTR,2001.

[11] Ding Z,Li Y. Blind equalization and identification[M]. New York:Marcel Dekker,2000.

[12] Slock D. Blind fractionally-spaced equalization perfect-recon-struction filter banks and multichannel linear prediction[C]//Proc of ICASSP. [s. l.]:[s. n.],1994:585-588.

[13] Ding Z. Matrix outer-product decomposition method for blind multiple channel identification[J]. IEEE transactions on sig-nal processing,1997,45(12):3054-3061.

[14] 张志涌,Bai Erwei. SIMO 含公零点信道的直接盲序列检测[J]. 电子学报,2005,33(4):671-675.

基于改进蚁群优化的盲检测算法

作者：[于舒娟](#)，[张昀](#)，[杨磊](#)，[YU Shu-juan](#)，[ZHANG Yun](#)，[YANG Lei](#)

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(11)

本文链接：[http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201311020.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201311020.aspx)