

# 差分算法在盲均衡中的应用与研究

蔡思捷, 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:**文中给出了基于差分的盲检测算法, 并进行了应用与研究, 仿真表明差分盲检测算法具有较强的全局收敛能力和鲁棒性, 但是易陷入局部最小值, 收敛速度较慢, 因此文中对差分盲检测算法做了进一步改进, 从而得到改进的差分盲检测算法。改进的差分盲检测算法利用了混沌算法的初值敏感性、拓扑传递性、整体稳定性将其与差分盲检测算法相结合, 在算法初始化种群时加入混沌扰动, 寻找无规律中的有规律。仿真结果表明了改进算法加快了收敛速度, 优化了算法性能。

**关键词:**差分盲检测算法; 混沌算法; 盲均衡

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2012)06-0064-04

## Application and Research of Differential Evolution in Blind Equalization

CAI Si-jie, YU Shu-juan, ZHANG Yun

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

**Abstract:** It gives the application and research of differential evolution in blind equalization, simulation shows that differential blind detection algorithm has strong global convergence and robustness, but easy to get into a local minimum and convergence is slow. Blind detection algorithm for differential was further improved in this article, resulting in improved differential blind detection algorithm. Differential blind detection algorithm uses the algorithm of pseudo random chaos, ergodicity, initial sensitivity, topological transitivity, overall stability, combining it with blind detection algorithm, adding chaos disturbance when the population is initialized, looking for irregular regular. Simulation results show that the improved algorithm accelerates convergence speed and optimizes algorithm performance.

**Key words:** differential blind detection algorithm; chaos algorithm; blind equalization

## 0 引 言

在无线通信中, 信号在经过时变多径衰弱无线信道时会受到各种干扰 (ISI), ISI 的影响可以通过均衡或信道估计来消除或减轻。传统的均衡技术需要用户发送大量的训练序列。盲均衡/辨识只需要接收序列和发送信号的相关特性。各种盲信道均衡和盲检测技术是当今通信领域的一个研究热点, 差分进化算法 (Differential Evolution, DE)<sup>[1,2]</sup> 是一种随机的并行直接搜索算法, 它由 Storm 等人于 1995 年提出, 和其他进化算法<sup>[3]</sup> 一样, DE 是一种模拟生物进化的随机模型, 它从某一随机产生的初始群体开始, 按一定的操作规则, 如选择、交叉、变异等等, 通过反复迭代使得那些

适应环境的个体被保存下来。DE 算法<sup>[4]</sup> 的应用领域迅速扩展, 现已在科学、工程、社会等领域广泛应用。

文中研究了基于差分优化的盲检测算法。并利用混沌优化算法<sup>[5]</sup>, 提出一种新的改进算法, 即混沌-差分组合优化盲检测算法 (CDE), 该算法可以提高计算效率, 建立了基于 SIMO 系统的盲检测模型。

## 1 问题提出

### 1.1 盲均衡的基本原理

盲均衡<sup>[6,7]</sup> 技术不借助于训练序列, 仅根据系统的输出观察值和一些先验知识 (如发送信号属于有限字符集, 信号调制方式及幅度等), 直接估计出输入端发送的数据和信道的冲激响应, 盲均衡的基本框图如图 1 所示。

由图 1 有式 (1)

$$x(k) = s(k)h(z) + v(k) \quad (1)$$

其中,  $s(k)$  为发送信号,  $h(z)$  为信道的冲击响

收稿日期: 2011-11-01; 修回日期: 2012-02-05

基金项目: 国家自然科学基金 (60772060)

作者简介: 蔡思捷 (1986-), 女, 硕士研究生, 研究方向为无线通信系统中的信号处理技术; 于舒娟, 副教授, 研究方向为无线通信系统中的信号处理技术。

应,  $v(k)$  为加性噪声, 利用均衡器  $g(z)$  对输出信号  $x(k)$  进行均衡, 不断调整均衡系数, 使均衡器的输出信号  $\hat{s}(k)$  尽量与输入信号  $s(k)$  相接近, 即  $\hat{s}(k) \approx cs(k-d)$ , 式中  $c$  为幅度因子,  $d$  为延时因子。

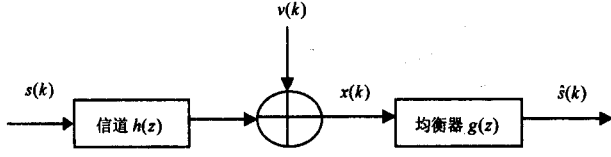


图1 盲均衡系统结构框图

## 1.2 差分算法的基本原理

差分进化算法 (Differential Evolution, DE)<sup>[8,9]</sup> 是一种随机的并行直接搜索算法, DE 的基本操作包括变异 (Mutation)、交叉 (Crossover) 和选择 (Selection) 三种操作。

初始化种群  $x_i^{t+1}$ : 初始化阶段, DE 从包含  $N$  个候选解的初始种群  $x_i^t$  开始,  $i=1, 2, 3, \dots, N$ , 其中  $i$  是种群数,  $t$  为当前代。

变异操作: 变异<sup>[10]</sup> 是 DE 的重要特色。不同的差分策略提供了探索与开发能力的不同平衡, 具有不同的算法性能。目前使用两种差分变异策略是: 以随机方式产生变异基的 DE/rand/\*/\* 和使用种群最优个体产生变异基的 DE/best/\*/\*。DE 最基本的变异成分是父代的差分矢量, 每个矢量对包括父代种群中两个不同的个体 ( $x_{r1}^t, x_{r2}^t$ ), 差分矢量见式(2):

$$D_{r1,2} = x_{r1}^t - x_{r2}^t \quad (2)$$

在变异操作<sup>[11]</sup> 中, 任意变异矢量由公式(3)产生。 $r1, r2, r3 \in (1, 2, \dots, N)$  是互不相同的随机数,  $F \in [0, 2]$  为加权因子。

$$v_i^t = x_{r3}^t + F * (x_{r1}^t - x_{r2}^t) \quad (3)$$

交叉操作: 在交叉操作中, 试验矢量  $x_i^{t+1} = [x_{i1}^{t+1}, x_{i2}^{t+1}, \dots, x_{iD}^{t+1}]$  由变异矢量  $v_i^t = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}]$  和目标矢量  $x_i^t = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}]$  共同产生。

$$x_{ij}^{t+1} = \begin{cases} v_{ij}, & \text{如果 } \text{rand } b(j) \leq CR \text{ 或 } j = \text{rand } r(i) \\ x_{ij}, & \text{如果 } \text{rand } b(j) \geq CR \text{ 或 } j \neq \text{rand } r(i) \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $j \in [1, D]$ ,  $\text{rand } b(j) \in [0, 1]$  是同一随机数发生器的第  $j$  个值。CR  $\in [0, 1]$  是变异概率。 $\text{rand } r(i) \in [1, 2, \dots, D]$  是随机选择指数, 它确保  $x_i^{t+1}$  能从  $v_i^t$  中得到至少一个参数。

选择操作: DE 采用“贪婪”的搜索策略, 经过变异与交叉操作后生成的试验个体  $x_i^{t+1}$  与目标个体  $x_i^t$  进行竞争, 适应度较优的个体将被选作子代。

选择操作的方式见式(5):

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^{t+1}, & \text{如果 } \Phi(x_i^{t+1}) < \Phi(x_i^t) \\ x_i^t, & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $\Phi(x)$  代表适应度函数。

初始化后, 通过上述的变异、交叉、选择的三种操作, 对种群中的每个个体进行操作, 得到下一代种群, 迭代若干次, 得到最优解。

## 1.3 基于差分算法的 SIMO 系统盲检测数学模型

基于差分算法的 SIMO 系统盲检测数学模型构造: 通过借助接受矩阵补投影算子  $Q$  来构造评价函数  $J$ , 建立起盲检测发送信号的差分算法优化性能函数, 从而将信号盲检测问题转化为求解发送信号的二次规划问题, 然后利用差分算法寻找最佳盲检测信号。

## 1.4 构造代价函数

文中采用 BPSK 信号, 基于上文介绍的盲均衡基本原理, 可知接收信号可表示为

$$(x(k))_{q \times 1} = \sum_{j=0}^M (h_j)_{q \times 1} s(k-j) \quad (6)$$

$$(x_L(k))_{(L+1)q \times 1} = (\Gamma_L(h_j))_{(L+1)q \times (M+L+1)} (s_{L+M}(k))_{(M+L+1) \times 1} \quad (7)$$

$$\tilde{X}_N = [x_L(k), \dots, x_L(k+N-1)]_{(L+1)q \times (M+L+1)} (s_{L+M}(k))_{(M+L+1) \times 1} \quad (8)$$

$$X_N = \tilde{X}_N^T = \tilde{S}^T \Gamma^T = S \Gamma^T \quad (9)$$

在此说明, 在不影响文中算法结构的前提下, 为了简洁, 忽略了接收噪声。

其中, 信道冲击响应  $[h_0, \dots, h_M]_{q \times (M+1)}$ , 接收数据阵  $(X_N)_{N \times (L+1)q}$ , 发送信号阵

$$S = [s_{L+M}(k), \dots, s_{L+M}(k+N-1)]^T = [s_N(k), \dots, s_N(k-M-L)]_{N \times (L+M+1)} \quad (10)$$

$$\tilde{S} = [s_{L+M}(k), \dots, s_{L+M}(k+N-1)]_{(L+M+1) \times N} \quad (11)$$

在此,  $\Gamma = \Gamma_L(h_j)$  是  $h_j, j=0, 1, \dots, M$  构成的 Toeplitz 形式的矩阵, 由式 4 表明,  $\Gamma$  列满秩时, 一定有  $Q = U_c U_c^T$  满足  $Q s_N(k-d) = 0$ 。其中,  $\{s_N(k-d) | d=0, \dots, M+L\}$ ,  $U_c \in R^{N \times (N-(L+M+1))}$  是  $X_N$  奇异值分解  $X_N = [U, U_c] \cdot \begin{bmatrix} D \\ 0 \end{bmatrix} \cdot V^T$  中的酉矩阵。据此构造评价函数。

$$J_0 = s_N^T(k-d) Q s_N(k-d) = s^T Q s \quad (12)$$

$$\hat{s} = \underset{s \in A^*}{\text{argmin}} \{J_0\}, A \in \{+1, -1\} \quad (13)$$

文中运用改进的差分优化算法求解式(13)的优化问题, 是文中的研究目标。

## 2 改进混沌-差分组合优化盲检测算法

### 2.1 混沌优化算法

混沌优化算法 COA (Chaos Optimization Algorithm)<sup>[12]</sup> 作为一种新型的搜索性算法, 主要特点是对初始值的敏感性, 即初始条件的微小差异会随时间的推移, 变成两条不相关的轨迹, 只要时间长, 会遍历整个混沌因子, 然后依靠混沌变量进行粗搜索得到近似

最优解。

当前经典的混沌映射有 Logistic 映射、Chebyshev 映射、Cube 映射。文中主要讨论的是 Logistic 映射<sup>[13]</sup>。

Logistic 映射是一个典型的混沌系统,迭代公式见式(14):

$$Z_{i+1} = \mu \cdot Z_i(1 - Z_i), i = 0, 1, 2, 3 \dots, \mu \in (2, 4] \quad (14)$$

式中  $\mu$  为控制参量,又称分岔参数,当  $\mu = 4, 0 \leq Z_0 \leq 1$  时,Logistic 完全处于混沌状态。

## 2.2 基于混沌-差分优化的盲检测算法

在基本的差分优化算法的基础上,利用混沌映射<sup>[13]</sup>的伪随机性、遍历性以及规律性的特点,在种群初始化和变异种群中加入混沌扰动,得到改进的差分算法。

基本差分算法在初始化时,各个个体以等概率产生,这样一般很难在短时间内从大量的个体中找出最优解,收敛速度并不快。所以改进的方法就是在初始化时,通过混沌扰动产生的混沌初始化,加快收敛速度,跳出局部最优。

初始种群是差分算法搜索寻优的出发点。差分算法的控制参数之一种群规模,直接影响算法的性能,当种群规模  $N$  太小时,差分算法的性能一般都不会太好。在这种情况下,会使差分算法搜索空间中解的分布范围受到限制,因此搜索可能会陷入局部最小值,引起未成熟收敛状态现象。为了跳出局部最优解,文中的改进措施是,在初始化种群时,加入混沌扰动量,以使跳出局部极值区间。扰动依据公式(15)。

$$s = 2 \times z - 1, z \geq 0.5 \quad (15)$$

其中,  $s$  为初始种群,  $z$  为混沌变量。

算法构成:

1. 利用上文公式(12)  $J_0$  作为适应度函数,即  $\Phi(x) = J_0$ 。
2. 把估计序列作为差分算法的种群,在初始化种群中加入混沌扰动,依据公式(15)。
3. 基于混沌-差分优化的盲检测算法的工作流程如图 2 所示。

## 3 仿真实验

仿真条件:仿真均采用盲检测序列 BPSK,盲估计序列长度  $N$  设为 80,过采样因子  $q$  设为 3,信道噪声为高斯白噪声,所有仿真结果都是经 50 次 Monte Carlo 试验而得。

由图 3 可知,信噪比为 5db 时,混沌-差分算法(hDE)开始优于基本的差分算法(DE),随着信噪比增大,在信噪比为 7db 时,混沌-差分算法的误码率接近为 0,由此可得出,混沌-差分算法在解决盲均衡问题

中,性能有了一定的改善。

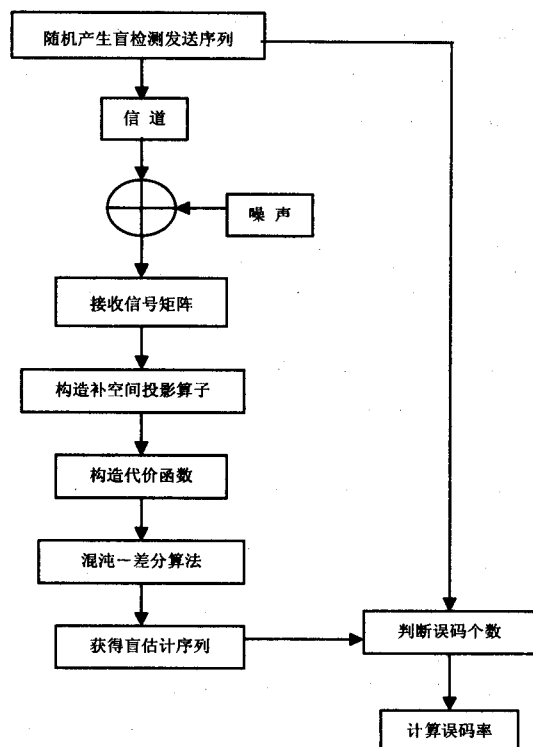


图 2 基于差分算法的 SIMO 系统盲检测流程图

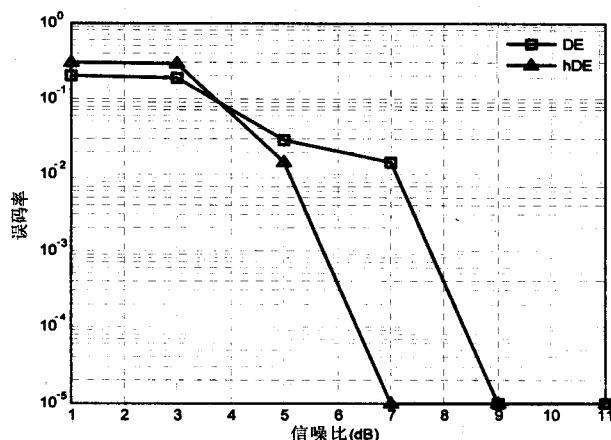


图 3 基本差分算法与改进差分算法

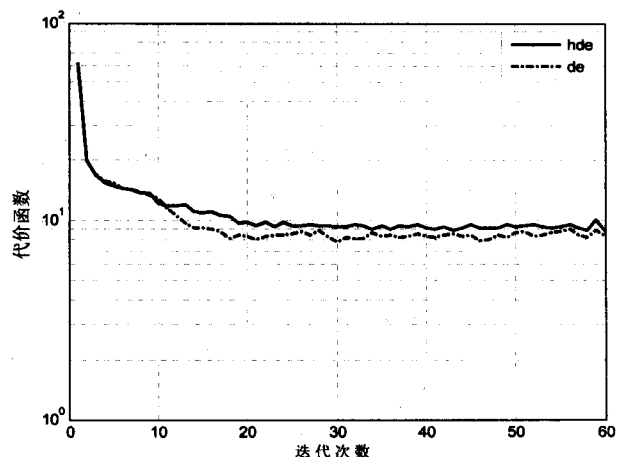


图 4 基本差分算法与改进差分算法的收敛性比较

图 4 为信噪比 6db 时代价函数随迭代次数变化的

曲线,从图4可以看出,随着迭代次数的增加,代价函数均在减小,但是改进的差分算法(hDE)的收敛速度快于基本的差分算法(DE)收敛速度,表现了良好的收敛性。

#### 4 结束语

文中首先将传统的差分算法应用与盲检测中,其次利用混沌映射的初值敏感性、遍历性以及局部混乱和整体稳定等特点,对传统的差分盲检测算法进行了改进,得到一种新的算法,即混沌-差分盲检测算法。该算法利用混沌算法产生初始化种群,并且通过变异、交叉、选择操作获得最优个体。仿真结果表明,利用混沌映射的特性,提出的混沌-差分组合优化的盲检测算法,其性能和收敛速度都优于传统的差分盲检测算法,具有较大的实用价值。下步将对混沌-差分组合优化的盲检测算法,进一步展开更多深入细致的工作。

#### 参考文献:

- [1] 刘波,王凌,金以慧.差分进化算法研究进展[J].控制与决策,2007,22(7):721-729.
- [2] 周艳平,顾幸生.差分进化算法研究进展[J].化工自动化及仪表,2007,34(3):1-5.
- [3] 杨启文,蔡亮,薛云灿.差分进化算法综述[J].模式识别与人工智能,2008,28(4):506-510.
- [4] 栾丽君,谭立静,牛奔.一种基于粒子群优化算法和差分进化算法的新型混合全局优化算法[J].信息与控制,2007,36(6):708-714.
- [5] 邹毅,朱晓萍,王秀平.一种基于混沌优化的粒子群算法[J].计算机技术与发展,2009,19(12):117-119.
- [6] 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,2005,36(6):867-871.
- [7] 纪迪.MIMO系统的盲均衡算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2008.
- [8] Price K, Storm R, Lampinen J. Differential Evolution—A Practical Approach to Global Optimization[M]. New York: Springer, 2005.
- [9] Storm R, Price K. Differential Evolution—A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization Over Continuous Spaces[J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11(4): 341-356.
- [10] Fan H Y, Lampinen J A. Trigonometric Mutation Operation to Differential Evolution[J]. International Journal of Global Optimization, 2003, 27(1): 105-129.
- [11] Das S, Konar A, Chakraborty U K. Two Improved Differential Evolution Schemes for Faster Global Search[C]//ACM-SIGEVO Proceedings of GECCO. [s. l.]: [s. n.], 2005: 991-998.
- [12] Liu B, Wang L, Jin Y H, et al. Improved particle swarm optimization combined with chaos[J]. Chaos Solitons & Fractals, 2005, 25(21): 1261-1267.
- [13] Choi C, Lee J J. Chaotic local search algorithm[J]. Artificial Life and Robotics, 1998, 2(1): 41-47.

(上接第63页)

ActiveX控件与OpenGL相结合的方式实现网络环境下三维模型的可视化,使用户可以在网络环境下对模型进行浏览和交互,随着网络数字矿山系统建设的不断深入,系统的功能将越来越丰富。

#### 参考文献:

- [1] 马风格,梁夏.基于B/S模式的电力通信网监控系统的开发[J].计算机技术与发展,2006,16(10):177-178.
- [2] 乔淑娟,王华,崔阳.基于OpenGL的城市地下管网GIS可视化研究[J].计算机技术与发展,2006,16(3):146-148.
- [3] Cui Binge. An Approach to Archive Remote Sensing Images Based on ActiveX and Grid Service[C]//ICDCIT 2008, LNCS 5375. [s. l.]: [s. n.], 2008: 172-179.
- [4] Mo Xiaohui, Zhang Yi. Application of ActiveX technology in the remote dynamic monitoring system based on B/S[C]//ISAEBD 2011, CCIS 208. [s. l.]: [s. n.], 2011: 570-575.
- [5] Khan K A, Akhter G, Ahmad Z. An ActiveX control for embedding GPS capability in custom applications[J]. GPS Solutions, 2011, 15(4): 433-439.
- [6] 路鹏飞,杨长春,郭爱华.ActiveX技术在三维地震资料可视化中的应用[J].地球物理学进展,2007,22(3):826-830.
- [7] 蔡孟哲.COM/ActiveX实用技巧[M].北京:中国铁道出版社,2001.
- [8] 陈国良,吴立新,李秋,等.组件式GIS及其在房地产信息查询系统开发中的应用[J].北京电子科技学院学报,2003,11(1):27-32.
- [9] 张永超,岳建平,王海青,等.基于VB和OpenGL的工业测量数据可视化技术研究[J].测绘与空间地理信息,2011,34(5):46-49.
- [10] 李国超,刘爽,张延超,等.VC环境下基于OpenGL与3DS的三维场景重建[J].电脑知识与技术,2010,35(6):10131-10133.
- [11] 殷福忠,李德江,曲林.基于OpenGL的DEM数据与河流矢量数据集成[J].测绘与空间地理信息,2010,33(6):67-68.
- [12] OpenGL体系结构审核委员会,Dave Shreiner, Mason Woo, et al. OpenGL编程指南[M].第4版.邓郑祥,译.北京:人民邮电出版社,2005.