

一种改进自适应参数的和声搜索算法

彭 泓,王兆鑫

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院,辽宁 葫芦岛 125105)

摘 要: 针对现有和声搜索算法(HS)的提前收敛、收敛速度缓慢、参数选择不佳和容易陷入局部最优等缺点,本文提出一种自适应和声搜索算法参数的改进方法(DCNHS),在算法中加入新的动态方法并且引入带有自适应参数的柯西、正态分布随机数来实现改进算法参数的自适应.通过与目前性能较为突出的几种改进的 HS 算法、PSO 算法、GA 算法相比较,本文提出的改进算法(DCNHS)在若干标准优化算法测试函数仿真中,寻优更加精确,收敛更加迅速,并具有较强的跳出局部最优的能力.

关键词: 和声搜索算法;柯西、正态分布随机数;自适应;标准优化算法测试函数

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2016)12-0038-04

An Improved Adaptive Parameters Harmony Search Algorithm

PENG Hong, WANG Zhao-xin

(School of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: The existing harmony search algorithm (HS) in advance convergence, slow convergence, parameter selection is poor and easy to fall into local optimum, we propose an adaptive harmony search algorithm parameters improved method (DCNHS), the algorithm the new method was added and the introduction of dynamic Cauchy, normally distributed random number with adaptive parameters to achieve improved adaptive algorithm parameters. With the current performance of the more prominent of several improved HS algorithm, PSO algorithm, GA algorithm compares the improved algorithm proposed (DCNHS) in a number of standard test functions optimization algorithm simulation optimization is more accurate, more rapid convergence, and has strong ability to escape from local optima.

Key words: harmony search algorithm; cauchy, normally distributed random numbers; adaptive; standard optimization algorithm test functions

1 引言

近年来,和声搜索(HS)算法^[1]凭借其原理简单,容易实现等特点,在诸多解决非线性优化问题^[2]的工程中得到广泛应用,随着时间和空间复杂度的不断增加,其不足之处日益凸显,许多研究人员在参数、算子操作、混合算法等方面对 HS 算法进行了改进^[3],还有学者将人工蜂群、粒子群和差分进化引入 HS 算法中^[4-6],虽然在一定程度上提高了原算法的整体性能以及全局搜索能力,但是在搜索过程中参

数设置过多,需要大量的仿真实验或经验设置调整,降低了算法在实际中的适用性,并且还存在一个最大缺点就是这些算法过度纠结于算法的聚焦效果,而忽视了算法的发散特性,故经计算所得出的解将以很大概率集结在某一邻域而导致整个计算过程陷入局部最优,因此也就不能通过全局搜索得到较高稳定性的理想解.

针对以上亟待解决的 HS 算法研究中所遇到的问题,本文引入一种新型方法对 HS 算法参数进行改进并且通过带有自适应参数的柯西分布随机数和

正态分布随机数来产生最佳参数值.最后,利用仿真实验证明该 DCNHS 算法的有效性.

2 标准和声搜索算法

HS算法的基本过程是随机产生 HMS 个初始解放入记忆库(HM)内,对解的各个分量以概率 HMCR 在 HM 内搜索,再以概率 1-HMCR 在 HM 外搜索来获得新解的对应分量.然后在 HM 内搜索到某一分量后以概率 PAR 进行扰动,搜索后的得到的分量成为新解,若新解优于 HM 内最差解,则新解替换最差解,如上反复,直到满足终止条件为止.标准和声搜索算法的具体运算过程如下:

(1) 定义问题与参数值.假设问题最小化,其形式如下: $\min f(X)s.t. X = (x_1, x_2, \dots, x_n), x_i \in [LB_i, UB_i], i = (1, 2, \dots, n)$.其中, $f(X)$ 是目标函数, X 是由决策变量 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 构成的解向量; LB_i, UB_i 分别是 x_i 的上下界.

(2) 初始化和声记忆库.随机产生 HMS 个和声 $X_1, X_2, \dots, X_{HMS}$ 放入和声记忆库.在此,和声记忆库可类比遗传算法中的种群.和声记忆库为:

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \cdots & x_n^1 & f(X^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \cdots & x_n^2 & f(X^2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \cdots & x_n^{HMS} & f(X^{HMS}) \end{bmatrix}$$

和声记忆库 **HM** 表示一个矩阵,用来存储和声向量和相应的函数值.

(3) 生成一个新的和声.生成新和声 $X_{new} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$,新和声的每一个音调 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 通过学习和声记忆库、音调微调、随机选择音调三种机理产生,其中微调方法如下: $x_i^{new} = x_i^{new} \pm \text{rand} \cdot BW(i)$.

(4) 更新和声记忆库.对步骤(3)中的新解 X_{new} 进行评估,如果优于 **HM** 中的最差函数值的所对应的和声 X_{worst} ,则剔除 X_{worst} 将新解 X_{new} 更新至 **HM** 中.

(5) 检查是否达到算法终止条件.重复步骤(3)和(4),直到创作迭代次数达到终止条件.

3 改进自适应参数的和声搜索算法

3.1 HS 算法参数的改进

和声记忆库的取舍概率 HMCR、局部微调概率 PAR、局部微调步长值 BW 是 HS 算法极其重要的关键参数,这三种参数的取值对和声搜索算法性能

的影响如表 1.

表 1 三种参数取值对 HS 算法性能的影响

取值	HMCR	PAR	BW
偏大	增强 HS 算法的局部搜索能力	有利于 HS 算法围绕 HM 调整搜索区域到整个解空间	使算法容易跳出局部最优
偏小	有利于增加群体的多样性	增强算法的局部搜索能力	有利于算法在局部区域精细搜索

为了能对全空间进行有效搜索并且将搜索重点集中在高性能区域,进而提高搜索效率,本文提出的 DCNHS 算法分别对 PAR、BW 两个参数采用一种动态方法,关于和声记忆库的取舍概率 HMCR,本文默认其值为 0.93,不做过多说明.

(1) 基于偏小的 PAR 值在 HS 算法搜索初期能更迅速的搜寻较好区域以及较大的 PAR 值在搜索后期有利于跳出局部极值,参数 PAR 按式(1)进行动态变化,初始设置 PAR 为最小值,PAR 随着迭代次数的增加而逐渐变大,当迭代次数 t 达到 $3/5NI$ 时,PAR 达到峰值,随着迭代次数继续增加,PAR 与之成反比,逐渐减少直到算法结束.

$$PAR(t) = \frac{PAR_{min} - PAR_{max}}{\frac{3}{5}(NI)^2} \times t^2 + \frac{2(PAR_{max} - PAR_{min})}{\frac{3}{5}NI} \times t + PAR_{min} \quad (1)$$

(2) 基于偏大的 BW 值在 HS 算法搜索初期有更大的搜索范围以及较小的 BW 值在搜索后期有利于精细搜索,参数 BW 按式(2)进行动态变化,初始设置 BW 为最大值,BW 随着迭代次数的增加而逐渐变小,当迭代次数 t 达到 $4/7NI$ 时,BW 达到最低值,之后为恒值保持不变,直到算法结束.

$$BW(t) = \begin{cases} BW_{max} - \frac{BW_{max} - BW_{min}}{\frac{4}{7}NI} \times t; t \leq \frac{4}{7}NI \\ BW_{min}; & \frac{4}{7}NI \leq t \leq NI \end{cases} \quad (2)$$

3.2 改进的 DCNHS 算法参数的自适应

为实现改进算法参数的自适性,本文引入了柯西分布随机数和正态分布随机数,保证以较大概率生成我们所期望的参数值,既满足随机性要求,又可避免算法陷入局部最优.

在 DCNHS 算法操作过程中,根据式(1)或式

(2) 设迭代 k 次时参数为 $Y_{i,G}$, 然后 $Y_{i,G}$ 再由式(3)、

(4) 产生比例因子 $D_{i,k}$ 和变化率 $AR_{i,k}$:

$$D_{i,k} = N_{\text{rand}}(S_k, p) \quad (3)$$

$$AR_{i,k} = C_{\text{rand}}(V_k, q) \quad (4)$$

式中, k 为当前迭代次数; $N_{\text{rand}}()$ 为正态分布随机数; S_k 为自适应参数, 即正态分布的均值, 本文初始设置为 0.5; p 为正态分布的标准差, 本文设置为 0.1; $C_{\text{rand}}()$ 为柯西分布随机数; V_k 为自适应参数, 即柯西分布的位置参数, 本文初始设置为 0.5; q 为柯西分布的尺度参数, 本文设置为 0.1. 如果 $D_{i,k}$ 超出 $[0, 1]$, 则将其设置为 1; 如果 $AR_{i,k}$ 超出 $[0, 1]$, 则将其设置为 0 或 1.

在每一次迭代过程中, 每个目标参数 $Y_{i,G}$ 都根据其对应的比例因子 $D_{i,k}$ 和变化率 $AR_{i,k}$ 产生一个对应的实验参数 V_k . 如果带有参数 V_k 的 DCNHS 算法寻优性能强于 $Y_{i,G}$, 那么对应的 $D_{i,k}$ 和 $AR_{i,k}$ 将被保存在集合 DE 和 ARE 中, 在这一次迭代结束后, 自适应参数 S_k 和 V_k 按下式进行更新:

$$S_{j,k+1} = t \times S_{j,k} + (1-t) \times S_{j,k-1} \quad (5)$$

$$V_{j,k+1} = t \times V_{j,k} + (1-t) \times V_{j,k-1} \quad (6)$$

式中, k 为当前迭代次数; t 是在区间 $(0, 1)$ 的正常数, 本文设置为 0.2. 每更新一次参数 S_k 和 V_k 则代入 DCNHS 算法中进行运算, 得出结果与 $Y_{i,G}$ 作比较, 参数最优值存入集合中, 这样就对 DE 和 ARE 的信息进行了更新, 直到达到参数最大值, 更新结束, 将 DE 和 ARE 置零; 最后, S_k 和 V_k 按下式计算:

$$S_{j,k} = \frac{1}{M} \sum_{D_{i,k} \in \text{DE}} D_{i,k} \quad (7)$$

$$V_{j,k} = \frac{1}{N} \sum_{AR_{i,k} \in \text{ARE}} AR_{i,k} \quad (8)$$

式中, M 为集合 DE 的元素数量, N 为集合 ARE 的元素个数, 利用得出的参数进行最终的和声搜索算法计算, 综上所述实现了改进的 DCNHS 算法参数的自适应.

4 仿真实验与分析

为检验本文提出的 DCNHS 算法在解空间的搜索性能, 分别用 6 个标准优化算法测试函数对该算法进行测试, 本文所有函数取 50 维. 其表达式如下:

f_1 : SphereFunction

$$\min f_1(x) = \sum_{i=1}^N x_i^2$$

f_2 : RosenBrockFunction

$$\min f_2(x) = \sum_{i=1}^{N-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$$

f_3 : RastriginFunction

$$\min f_3(x) = \sum_{i=1}^N (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10)$$

f_4 : Schwefel's Problem 2.2.2Function

$$\min f_4(x) = \sum_{i=1}^N |x_i| + \prod_{i=1}^N |x_i|$$

f_5 : Roated Hyper-ellipsoidFunction

$$\min f_5(x) = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^N x_j \right)^2$$

f_6 : Schwefel's Problem 1.2WithNoise

$$\min f_6(x) = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^i x_j \right)^2 (1 + 0.4 |N(0, 1)|) - 450$$

实验环境: 仿真实验使用 PC 机的操作系统为 Windows 7, CPU 为 Intel(R)Core(TM)2.40 GHz、内存为 4 GB, 仿真软件为 MATLAB 7.4. 将 DCNHS 与 HS、NGHS、IGHS_V 算法以及基本粒子群算法 PSO 和遗传算法 GA 进行优化性能测试比较. 基于公平原则, 为上述算法进行基本设置: $HM_{\text{max}} = 20$, $HM_{\text{CR}} = 0.93$, $PAR_{\text{max}} = 0.99$, $PAR_{\text{min}} = 0.01$, $BW_{\text{max}} = 1/(20UB-LB)$, $BW_{\text{min}} = 0.0001$, 其中在 NGHS 算法中 $P_m = 0.005$, PSO 算法, 学习因子 C_1 、 C_2 分别取 1 和 2, 种群大小取 40; GA 算法, 杂交概率 $P_c = 0.9$, 变异概率 $P_m = 0.03$, 种群大小取 40, 与文献[7]相比本文设置的的基本参数更加合理. 基于公平原则, 对每个测试函数每种算法分别进行 50 次独立实验, 每次迭代 $T_{\text{max}} = 8000$, 记录运行过程, 统计 20 次实验结果的最优值 B , 最差值 W , 平均值 M , 方差 S , 测试结果如表 2, 通过算法优化得到的最佳值用粗体字代表.

由表 2 中优化结果得知, DCNHS 算法对函数 f_1 、 f_3 的优化具有明显优势, 得到的最差解和平均值相同; 对函数 f_5 和 f_6 优化后, 其他几种算法的优化结果均与最优解的偏差相差较大, 然而 DCNHS 算法对函数 f_6 优化后最优值、最差值均与最优解相同; 与其他几种算法相比, DCNHS 算法优化的精度变化相对较小, 也具有更强的稳定性, 虽然个别优化结果略差于 IGHS_V、PSO、GA 算法, 但是通过优化得到了更好的平均值数量级, 为了进一步验证 DCNHS 算法在收敛精度和收敛速度更加具有优势, 分别给出了 HS、NGHS、IGHS_V 算法对函数 f_1 、 f_3 、 f_5 优化迭代 80000 次的寻优对比曲线, 如图 1~3 所示, 经过分析, DCNHS 算法在收敛速度和收敛精度方面优化效果明显优于其它 HS 改进算法.

表 2 实验测试结果

函数	指标	HS	NGHS	IGHS_V	PSO	GA	DCNHS
f_1	B	5.21e+02	1.34e+03	2.03e-169	4.46e+00	1.84e-09	0
	W	1.23e+03	5.13e-03	5.13e-151	8.97e+00	4.17e-09	0
	M	7.09e+02	4.92e-03	2.34e-155	5.26e+00	3.24e-09	0
	S	1.13e+02	1.28e-03	7.29e-156	8.09e-01	5.01e-10	0
f_2	B	2.51e+05	2.14e+02	1.41e-21	1.81e+03	8.38e+03	9.01e+01
	W	6.77e+06	5.71e+03	9.35e+01	4.50e+03	9.27e+01	9.68e+01
	M	4.23e+06	3.03e+03	6.76e+01	2.88e+03	1.27e+02	9.53e+01
	S	8.81e+05	1.57e+02	1.14e+01	9.84e+02	3.24e+01	3.23e-01
f_3	B	1.02e+02	2.17e+00	0	1.13e+02	4.13e+01	0
	W	1.54e+02	8.13e+00	2.01e+02	2.00e+02	6.52e+01	0
	M	1.39e+02	4.26e+00	5.13e+01	1.59e+02	5.71e+01	0
	S	1.48e+01	1.72e+00	8.72e+01	6.51e+01	6.31e+00	0
f_4	B	1.21e+02	2.14e-01	2.21e-128	0	9.33e-05	4.99e-211
	W	1.67e+02	4.41e-01	4.10e-257	1.09e+03	1.58e-04	1.12e-205
	M	1.42e+02	3.16e-01	3.57e-124	1.41e+02	1.01e-04	4.51e-207
	S	1.83e+01	5.17e-02	5.12e-124	1.26e+02	1.18e-05	0
f_5	B	1.27e+05	1.11e+04	0	2.31e+03	2.16e+05	0
	W	3.13e+05	2.67e+04	2.71e+05	8.91e+03	7.71e+05	1.51e-243
	M	1.81e+05	1.48e+04	1.31e+05	3.13e+03	3.41e+05	4.79e-212
	S	2.30e+04	2.21e+04	5.74e+04	6.19e+03	2.12e+04	0
f_6	B	2.01e+05	1.03e+05	1.69e+04	8.51e+03	2.79e+04	-210
	W	4.13e+05	2.13e+05	7.45e+04	3.21e+04	5.27e+04	-210
	M	2.41e+05	1.73e+05	4.37e+04	2.04e+04	3.18e+04	-210
	S	1.41e+01	1.79e+04	5.64e+04	6.11e+03	4.21e+03	0

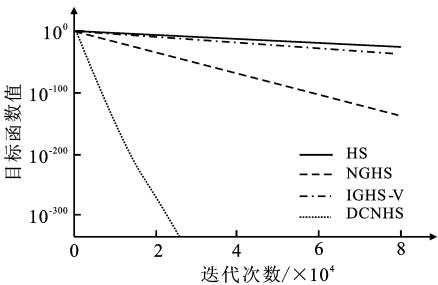


图 1 f_1 函数寻优对比曲线

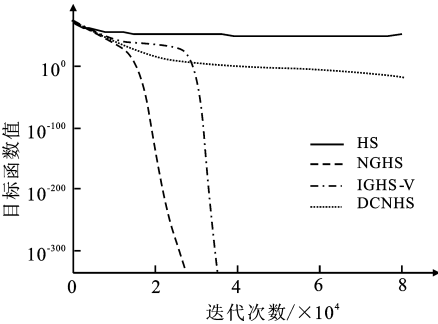


图 2 f_3 函数寻优对比曲线

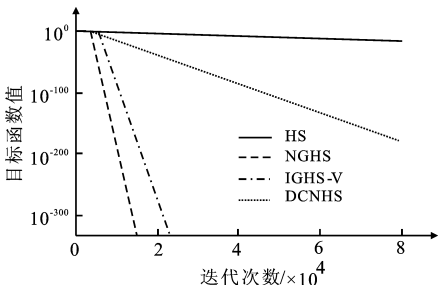


图 3 f_5 函数寻优对比曲线

法提出了动态方法调节算法参数,可以有效解决陷入局部最优的瓶颈,使算法的全局搜索能力加强,进而全局最优解得到更好的收敛性.并且引入柯西分布随机数和正态分布随机数增加参数的自适应;利用测试函数对 DCNHS 与 HS、NGHS、IGHS_V、PSO、GA 算法进行仿真比较,结果表明,DCNHS 算法的寻优效果有了明显提升,因此该算法可以在解决工程复杂问题中得到广泛应用.

5 结束语

针对 HS 算法存在提前收敛、收敛速度慢、参数选择不佳和极易陷入局部最优等问题,本文提出了一种改进自适应参数的和声搜索算法,DCNHS 算

参考文献:

[1] Geem Z W, Kim J H, Loganathan G V. A new heuristic optimization algorithm: harmony search [J]. Simulation, 2001, 76(2): 60-68.

此外还引入了动态元件匹配电路来减小电容失配的影响。

仿真结果显示 $\Delta\Sigma$ 调制器在两种模式下分别可以达到 77.1 dB 和 108.9 dB 的峰值 SNDR, 两种模式下的输入信号带宽分别为 1.25 MHz 和 39 kHz, 芯片的整体功耗为 12 mW。

参考文献:

- [1] Gaggi R, Inversi M, Wiesbauer A. A power optimized 14-bit SC $\Delta\Sigma$ modulator for ADSL CO applications[C] // IEEE International Solid-State Circuits Conference, San Francisco, 2004: 82-83.
- [2] Fujimoto Y, Kanazawa Y, Lore P, et al. An 80/100MS/s 76.3/70.1dB SNDR $\Delta\Sigma$ ADC for digital TV receivers[C] // IEEE International Solid-State Circuits Conference, San Francisco, 2006: 76-77.
- [3] Malla P, Lakdawala H, Komegay K. A 28mW Spectrum-Sensing Reconfigurable 20 MHz 72dB-SNR 70dB-SNDR DT $\Delta\Sigma$ ADC for 802.11n/WiMax Receivers[C] // IEEE International Solid-State Circuits Conference, San Francisco, 2008.
- [4] Lim J. A low-power sigma-delta modulator for wireless communication receivers using adaptive biasing circuitry and cascaded comparator scheme[C] // Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Berlin, Springer, 2006: 359-365.
- [5] Christen T. A 0.13 μ m CMOS EDGE/UMTS/WLAN Tri-Mode $\Sigma\Delta$ ADC with -92dB THD[C] // Proc. ISS-CC 2007. San Francisco, 2007: 240-241.
- [6] Yi K, Soheil R, Jan C, et al. A systematic design methodology for power-optimal design of high-order multi-bit continuous-time Delta-Sigma modulators[C] // Springer Analog Integrated Circuits and Signal Processing, Berlin, Springer, 2008.
- [7] Dessouky M, Kaiser A. A 1V 1mW digital-audio $\Delta\Sigma$ modulator with 88 dB dynamic range using local switch bootstrapping[C] // 2000 IEEE Custom Integrated Circuits Conference, San Jose, 2000: 13 - 16.
- [8] Yves Geerts, Michiel Steyaert, Willy Sansen. Design of multi-bit delta-sigma A/D converters[M]. London: Kluwer Academic Publishers, 2002: 143-149.
- [9] Yin G, Eynde F, Sansen W. A high-speed CMOS comparator with 8-b resolution[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1992, 27(2): 208-211.
- [10] Yves Geerts, Michiel Steyaert, Willy Sansen. Design of Multi-Bit Delta-Sigma A/D Converters[M]. London: Kluwer Academic Publishers, 2002: 19-25.
- [11] Miller T M R. A multibit sigma-delta ADC for multi-mode receivers[C] // IEEE J. of Solid-State Circuits, San Francisco, 2003: 475-482.

作者简介:

闫宁男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为数模混合集成电路设计. E-mail: ningyan09@126.com.

(上接第 41 页)

- [2] Zou D, Gao L, Li S, et al. An effective global harmony search algorithm for reliability problems[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(4): 4642-4648.
- [3] Chen J, Pan Q, Li J. Harmony search algorithm with dynamic control parameters[J]. Applied Mathematics and Computation, 2012, 219(2): 592-604.
- [4] Mahamed G H Omran, Mahamed Mahdavi. Global-best harmony search[J]. Applied Mathematic and computation, 2008, 198(2): 643-656.
- [5] Wu B, Qian C, Ni W, et al. Hybrid harmony search and artificial bee colony algorithm for global optimization problems[J]. Computers & Mathematics with Applications, 2012, 64(8): 2621-2634.
- [6] Valian E, Tavakoli S, Mohanna S. An intelligent global harmony search approach to continuous optimization problems[J]. Applied Mathematics and Computation, 2014, 232(3): 670-684.
- [7] 翟军昌, 高立群, 欧阳海滨, 等. 一种自适应全局和声搜索算法[J]. 控制与决策, 2015, 30(11): 1503-1509.

作者简介:

彭泓女, (1967-), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为计算机控制与应用、智能检测、数字信号处理。

王兆鑫(通信作者) 男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为智能算法处理与应用. E-mail: 1134492842@qq.com.