

自适应改进和声—单纯形进化算法研究^{*}

曲良东^{1a,2}, 何登旭^{1b,2}, 黄 勇^{1a,2}

(1. 广西民族大学 a. 信息科学与工程学院; b. 理学院, 南宁 530006; 2. 广西混杂计算与集成电路设计分析重点实验室, 南宁 530006)

摘 要: 针对和声搜索算法的不足, 提出了一种自适应改进和声—单纯形进化算法(AIHSEA)。通过在新算法中加入变异策略对和声微调进行改进来增强算法的鲁棒性; 适时执行单纯形算子增加群体搜索的方向性来加快搜索; 采用自适应参数 HMCR、PAR 和 BW 调节全局和局部搜索。采用六个标准的优化算法测试函数对 AIHSEA 进行测试, 并与 HS、IHS 和 GHS 算法进行对比, 仿真结果表明 AIHSEA 算法具有较强的精确寻优和跳出局部最优的能力。

关键词: 和声搜索算法; 单纯形法; 局部优化; 全局优化; 自适应

中图分类号: TP18; TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)03-0676-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.03.007

Research on adaptive improved harmony-simplex evolutionary algorithm

QU Liang-dong^{1a,2}, HE Deng-xu^{1b,2}, HUANG Yong^{1a,2}

(1. a. College of Mathematics & Computer Science, b. School of Science, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Hybrid Computation & IC Design Analysis, Nanning 530006, China)

Abstract: For the purpose of avoiding the disadvantage of harmony search algorithm, this paper proposed an adaptive improved harmony pattern search(AIHSEA) algorithm. In AIHSEA, it added a mutation strategy to enhance the robustness of HS. In order to increase the directivity of the harmony search, it implemented the simplex method timely. It adjusted its global and local searches by using adaptive parameters HMCR, PAR and BW. Finally, AIHSEA was tested by six standard benchmark functions and contrasted with HS, HIS and GHS algorithm. The test results show the favorable abilities of accuracy and escaping local minimums.

Key words: harmony search algorithm; simplex method; local optimization; global optimization; adaptive

0 引言

和声算法(harmony search, HS)^[1]是一种启发式智能优化方法,其基本思想来源于音乐创作。在音乐创作中,乐队里每位乐师弹奏一个音符,便构成一个和声,连续时间内所有和声都演奏出来就构成动听的音乐。每位乐师都对自己的乐器有所了解,凭借他多年的演奏经验,把最动听的几个音符保存在记忆中。在进行乐队作品创作时,乐师们经常会演奏出记忆中比较好的那些个音符,如果形成的和声不好听,乐师则会在所奏音符附近进行调整。该算法可用于全局优化搜索,并已应用于工程实际中^[2~6]。但实验也表明算法鲁棒性不高,且随机性较大,没有方向性。文献[7,8]将和声算法进行改进,但这些算法在一些情况下仍不能很好地搜索到精度较高的解,而且易陷入局部最优。单纯形法^[9]也称可变多面体搜索法,其计算量小、搜索速度快,是一种传统的局部搜索方法。它具有计算简单、收敛速度快、不需要计算导数、精度高、可靠性好等优点。

本文将和声算法进行改进,并与单纯形法相结合,提出一种自适应改进和声—单纯形进化算法,该方法改进了已有和声

搜索算法的不足。

1 和声搜索算法和单纯形法

1.1 和声搜索算法

基本和声搜索算法是一种启发式算法,是受乐队演奏音乐的启发而得到的。每个乐器的音符相当于目标函数中的每个变量,演奏音乐的目的是使音乐优美动听,而优化的目的是使目标函数达到极小值,这样演奏音乐的过程便与优化过程对应起来。算法首先产生 HMS 个初始解,并放入和声记忆库中;然后对解的各个分量分别以概率 HMCR 在和声记忆库内进行搜索,以 1 - HMCR 的概率在记忆库外搜索,期望获得新解的对应分量。在记忆库内进行搜索时,当随机搜索到某一分量后,则对该分量以概率 PAR 进行扰动。最后由搜索后得到的各个分量构成新解。若新解优于记忆库中的最差解,则用新解替换库中最差解。如此循环,直到满足终止条件为止。和声搜索的具体步骤如下:

a) 定义问题与参数值。假设问题为最小化,其形式为 min

收稿日期: 2012-07-22; **修回日期:** 2012-08-27 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60873118, 60973147); 国家教育部博士点基金项目(20090009110006); 广西科学研究与技术开发项目(栏科次 11107006-30); 广西自然科学基金资助项目(2010GXNSFB013052); 广西重点实验室项目(HCIC201105); 中国—东盟研究中心项目(20120139); 广西高等学校科研项目(201204LX085); 广西民族大学科研资助项目(2011MDQN041)

作者简介: 曲良东(1976-),男,讲师,硕士,主要研究方向为算法设计与分析、智能计算及应用(quliangdong@163.com); 何登旭,男,教授,硕士,主要研究方向为智能算法设计、神经网络; 黄勇,男,副教授,硕士,主要研究方向为信息安全、形式化方法与验证技术。

$f(X)$ 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。

b) 初始化和声记忆库。随机生成 HMS 个和声 $X_1, X_2, \dots, X_{HMS}$ 放入和声记忆库。在此,和声记忆库可类比于遗传算法中的种群。和声记忆库为

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

和声记忆库 HM 表示一个矩阵,用来储存和声向量和相应的函数值。

c) 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 $x_i'(i = 1, 2, \dots, n)$ 通过以下机理产生:(a) 学习和声记忆库;(b) 音调微调;(c) 随机选择音调。

举例说明:新解的第一个分量 x_1' 以 HMCR 的概率选自 $HM(\{x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^{HMS}\})$ 中的任何一个值,以 $1 - HMCR$ 的概率选自 HM 外(且在变量范围内)的任何值。如果新分量 x_1' 来自和声记忆库 HM ,要对其进行音调微调,具体操作如下:

$$x_1' = \begin{cases} x_1' \pm r_1 \times BW & \text{if } r_2 < PAR \\ x_1' & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中: r_1, r_2 表示 $[0, 1]$ 上均匀分布的随机数。

d) 更新和声记忆库。对步骤 c) 中的新解 X_{new} 进行评估,如果优于 HM 中的函数值最差的一个和声 X_w ,则将新解更新至 HM 中。

e) 检查是否达到算法终止条件。重复步骤 c) 和 d),直到创作(迭代)次数达到 T_{max} 。

1.2 单纯形法

单纯形法^[9]也称可变多面体搜索法,它计算量小、搜索速度快,是一种传统的局部搜索方法。该方法首先在 n 维空间中构造一个 $n + 1$ 个顶点的多面体,求出各顶点的函数值,并确定其中的最优点、次优点和最差点;然后通过反射、扩张、压缩或收缩等策略找出一个较好点,取代最差点,从而构成新的多面体。这样重复迭代,可以找到或逼近一个最优点。记最差顶点为 X_w ,形心为 $\bar{X}$,最优顶点为 X_b ,几个操作算子如下:

a) 反射操作: $X_r = \bar{X} + \alpha(\bar{X} - X_w)$ 。

b) 扩张操作: $X_e = \bar{X} + \gamma(X_r - \bar{X})$ 。

c) 压缩操作: $X_c = \bar{X} + \beta(X_w - \bar{X})$ 。

d) 收缩操作: $X_j = X_b + \theta(X_j - X_b) (j = 1, 2, \dots, n + 1; j \neq b)$ 。

1.3 HS 与单纯形法的相关性分析

HS 和单纯形法都是企图通过产生一个新个体用来代替群体中的最差个体,不同的是它们产生新个体的方式。HS 中新个体通过学习和声记忆库、音调微调、随机选择音调等三种方式来产生;单纯形法中新个体以单纯形的形心为支点反射、扩张、压缩或收缩来产生。在 HS 中由于随机选择音调的作用使算法具有全局作用,但由于以概率随机性微调,抵消了加速搜索方向,因此局部搜索效率低。单纯形法中反射、扩张、压缩或收缩等操作搜索方向明确,局部搜索能力强,但由于形体的限制,所以算法的全局能力有限。

2 自适应改进和声—单纯形进化算法

单纯使用和声搜索算法能获得较好的解,但速度较慢,有

时解的精度不高。这是由和声搜索算法的搜索机制决定的。在和声库内,每个变量都是由随机选取或对解变量进行微调得到的,从第 t 步到第 $t + 1$ 步搜索过程中,解变量的更新没有方向性,因此所花费的迭代次数比较多。大量实验表明,和声搜索算法鲁棒性不高,且随机性较大,没有方向性,局部搜索也是有限的。文献[6,7]将和声算法进行了改进,但这些算法在一些情况下仍不能很好地搜索到精度较高的解,且易陷入局部最优。本文将和声算法与单纯形法相融合,提出了自适应改进和声—单纯形进化算法(AIHSEA)。用和声搜索来全局定位,用单纯形法的方向来加强局部搜索,同时由于单纯形中反射和扩张的作用使得新个体远离形心,增加了群体的多样性和广泛性,也有利于个体跳出局部最优。本文从以下三个方面对和声搜索进行改进:

a) 当 $r_2 \geq PAR$ 时,用公式 $x_i' = x_i' + x_i' \times \eta$ 微调。其中 η 是服从标准正态分布的函数。此变异策略的目的是增加算法的鲁棒性。

b) 如果产生的新和声 X_{new} 不优于 X_{worst} 时,表明此次和声搜索失败,和声记忆库不会改进。这时转用单纯形法迭代一次来改善个体的质量,进而更新和声记忆库,达到进化群体的目的,提高和声的寻优效率。这里的单纯形顶点数与和声记忆库大小一致,是 HMS 个。

c) 算法参数 HMCR、PAR 和 BW 自适应调整来协调全局和局部搜索。在基本和声算法中, HMCR、PAR 和 BW 都取常数。但在算法开始运行时,人们希望有小的 HMCR、PAR 和大的 BW,这样算法可在全局范围内进行搜索;而当算法迭代多次后,希望算法有大的 HMCR、PAR 和小的 BW,以便在局部范围内寻找最优解。此算法主要引入了动态的 HMCR、PAR 和 BW 来协调全局和局部搜索。表达式为

$$HMCR(t) = HMCR_{min} + \frac{HMCR_{max} - HMCR_{min}}{T_{max}} \times t$$

$$PAR(t) = PAR_{min} + \frac{PAR_{max} - PAR_{min}}{T_{max}} \times t$$

$$BW(t) = BW_0 \times e^{(-30 \times (\frac{t}{T_{max}})^p)}$$

其中: T_{max} 为最大迭代次数; t 为当前的迭代次数; BW_0 为干扰因子。

新算法中取长补短,利用和声搜索算法跳出局部最优的亮点来全局定位,用单纯形法的局部搜索且具有方向性的特点来加快搜索。算法流程如图 1 所示。

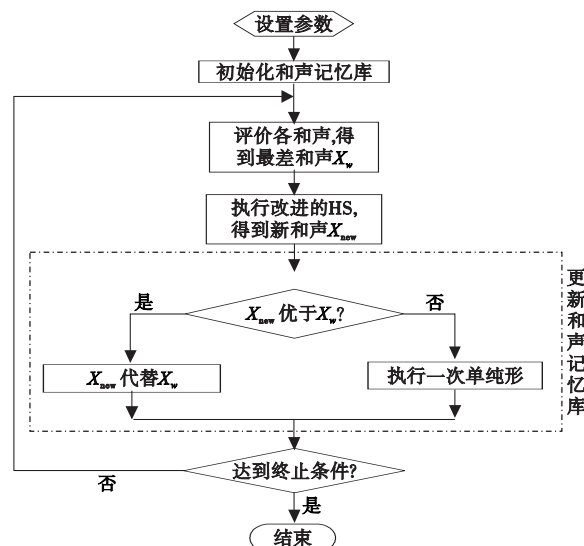


图1 AIHSEA流程

AIHSEA 具体步骤如下:

a) 设定各参数值。

b) 初始化 HMS ($> n$) 个和声, 形成和声记忆库。

c) 生成一个新的和声 $X_{\text{new}} = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ 。以一定概率从库里或库外选分量, 再微调。其中微调时用一个变异策略:

$$x'_i = \begin{cases} x'_i + r_1 \times \text{BW} & \text{if } r_2 < \text{PAR} \\ x'_i \times (1 + \eta) & \text{otherwise} \end{cases}$$

d) 更新和声记忆库。如果新解 X_{new} 优于 HM 中的函数值最差的和声 X_{worst} , 则用 X_{new} 代替 X_{worst} ; 否则对记忆库的和声执行一次单纯形搜索 (这里单纯形迭代一代)。

e) 检查是否达到算法终止条件。如果达到终止条件, 算法结束; 否则重复步骤 c) 和 d), 直到创作 (迭代) 次数达到 T_{max} 。

3 仿真实验及分析

为了检验 AIHSEA 的有效性, 下面用了六个经常用到的测试函数^[10], 分成三组, 一组是二维的, 一组是五维的, 一组是十维的, 对该算法进行测试。其表达式如下:

$$\text{a)} f_1 = 100(x_2 - x_1^2)^2 + (x_1 - 1)^2 \quad -30 \leq x_1, x_2 \leq 30$$

$$\text{b)} f_2 = 0.5 + \frac{\sin^2 \sqrt{x_1^2 + x_2^2} - 0.5}{[1.0 + 0.001 \times (x_1^2 + x_2^2)]^2} \quad -100 \leq x_1, x_2 \leq 100$$

$$\text{c)} f_3 = [-20 \exp(-0.2 \sqrt{\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_i^2}) + 20] - [\exp(\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \cos 2\pi x_i) - \exp(1)] \quad -30 \leq x_1, x_2 \leq 30$$

$$\text{d)} f_4 = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^5 x_i^2 - \prod_{i=1}^5 \cos \frac{x_i}{\sqrt{i}} + 1 \quad -600 \leq x_i \leq 600$$

$$\text{e)} f_5 = \sum_{i=1}^{10} x_i^2 \quad -100 \leq x_i \leq 100$$

$$\text{f)} f_6 = \sum_{i=1}^{10} (x_i^2 - 10 \cos 2\pi x_i + 10) \quad -5.12 \leq x_i \leq 5.12$$

实验环境: 操作系统为 Windows XP, CPU 为 Intel® Core® 2 Duo 2.20 GHz, 内存为 1 GB 的 PC 机, 仿真软件为 MATLAB 7.4。将 AIHSEA 与 HS、IHS、GHS 进行实验对比, 参数设置如表 1 所示。

表 1 各算法参数设置值

算法	HMS	HMCR	PAR	BW	T_{max}
HS	20	0.9	0.3	0.01	50 000
IHS	20	0.9	$\text{PAR}_{\min} = 0.01$	$\text{BW}_{\min} = 0.0001$	50 000
			$\text{PAR}_{\max} = 0.99$	$\text{BW}_{\max} = (UB - LB)/20$	
GHS	20	0.9	$\text{PAR}_{\min} = 0.01$	—	50 000
			$\text{PAR}_{\max} = 0.99$	—	
AIHSEA	20	$\text{HMCR}_{\min} = 0.9$	$\text{PAR}_{\min} = 0.01$	$\text{BW}_0 = 0.01$	50 000
		$\text{HMCR}_{\max} = 0.99$	$\text{PAR}_{\max} = 0.99$	$p = 40$	

为了公平起见, 对每种函数每个算法分别进行 20 次独立实验 ($\alpha = 1, \gamma = 2, \beta = \theta = 0.5$), 统计 20 次实验结果的最差值、最好值、平均值和标准差, 如表 2 所示。从表 2 的实验结果可以看出, 无论是最差解、最好解、平均值还是标准差, AIHSEA 都远远优于 HS、IHS 和 GHS, 与文献[10]的 AHSPSO、PSO、SA 相比, AIHSEA 也是较优的。

固定精度 0.000 1, 对 f_6 测试达到精度所用的运行时间, HS、IHS、GHS 和 AIHSEA 分别是 2.787 1 s、8.681 5 s、3.170 9 s 和 0.615 0 s, 可见 AIHSEA 的收敛速度也是很快的。

4 结束语

针对和声搜索算法的不足, 提出了自适应改进和声—单纯形进化算法。该算法结合和声算法与单纯形法的优点, 相互补

充, 使新算法具有很好的寻优效果。文中针对六个标准测试函数, 用 AIHSEA 与 HS、IHS 和 GHS 进行比较, 结果表明 AIHSEA 具有很好的跳出局部最优和快速收敛到最优解的能力。

表 2 实验结果

函数	算法	最差值	最好值	平均值	标准差
f_1	HS	12.239 5	1.8151e-008	3.419 5	4.388 8
	IHS	7.919 7	1.2104e-011	1.274 8	2.194 4
	GHS	6.762 4	0.006 2	0.535 8	1.479 8
	AIHSEA	4.1930e-010	9.1839e-015	2.8300e-011	9.4638e-011
f_2	HS	0.037 2	0.009 7	0.018 0	0.012 9
	IHS	0.037 2	0.009 7	0.011 1	0.006 2
	GHS	0.078 2	0.009 7	0.029 7	0.024 5
	AIHSEA	0	0	0	0
f_3	HS	4.4105e-005	1.1311e-005	2.5304e-005	8.9858e-006
	IHS	8.4896e-005	2.1822e-005	6.0037e-005	1.5637e-005
	GHS	0.017 6	8.0691e-004	0.006 0	0.005 1
	AIHSEA	0	0	0	0
f_4	HS	0.044 3	0.007 4	0.021 9	0.009 9
	IHS	0.044 3	0.009 9	0.020 3	0.009 1
	GHS	0.200 8	1.3608e-006	0.058 6	0.068 4
	AIHSEA	0	0	0	0
f_5	HS	3.7653e-007	3.7231e-008	1.5594e-007	7.7759e-008
	IHS	2.1074e-008	6.9612e-009	1.3443e-008	3.9114e-009
	GHS	0.001 9	1.5942e-007	4.2447e-004	6.7048e-004
	AIHSEA	2.3891e-049	5.2969e-066	1.9795e-050	6.0781e-050
f_6	HS	4.1949e-005	7.8880e-006	1.9215e-005	1.0003e-005
	IHS	3.0858e-006	6.8936e-007	2.4314e-006	5.1984e-007
	GHS	0.003 7	1.1440e-011	2.9030e-004	8.2382e-004
	AIHSEA	0	0	0	0

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.
- [2] GEEM Z W. Optimal cost design of water distribution networks using harmony search[J]. *Eng Optimiz*, 2006, 38(3): 259-280.
- [3] LEE K S, GEEM Z W. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm[J]. *Computers & Structures*, 2004, 82(9/10): 781-798.
- [4] LEE K S, GEEM Z W. A new meta-heuristic algorithm for continuous engineering optimization: harmony search theory and practice[J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2005, 194(36-38): 3902-3933.
- [5] GEEM Z W, TSENG C, PARK Y. Harmony search for generalized orienteering problem: best touring in China[C]//Proc of International Conference on Natural Computation. 2005: 741-750.
- [6] 武磊, 潘全科, 桑红燕, 等. 求解零空闲流水线调度问题的和声搜索算法[J]. *计算机集成制造系统*, 2009, 15(10): 1960-1967.
- [7] MAHDAVI M, FESANGHARY M, DAMANGIR E. An improved harmony search algorithm for solving optimization problem[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2007, 188(2): 1567-1579.
- [8] OMRAN M G H, MAHDAVI M. Global-best harmony search[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2008, 198(2): 643-656.
- [9] 粟塔山, 彭延杰, 周作益, 等. 最优化计算原理与算法程序设计[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2001: 90-94.
- [10] 高立群, 葛延峰, 孔芝, 等. 自适应和声粒子群搜索算法[J]. *控制与决策*, 2010, 25(7): 1101-1104.