

引入模式搜索算子的粒子群优化算法

谢朝政, 樊晓光, 嵇真福

(空军工程大学 航空航天工程学院, 陕西 西安 710038)

摘 要: 针对粒子群优化算法(PSO)在解决复杂的高维优化问题时容易陷入局部最优和收敛速度慢的问题, 结合模式搜索算法较强的局部搜索能力, 提出一种引入模式搜索算子的粒子群优化算法(HJPSO)。为避免最优粒子陷入局部最优而导致整个种群出现搜索停滞, 在 PSO 算法的迭代过程中加入判断粒子陷入局部最优的机制, 当检测到早熟停滞迹象时, 使用模式搜索算子对整个粒子群当前搜索到的历史最优位置进行模式搜索以帮助算法跳出局部最优。标准测试函数的运行结果表明, 该算法具有较强的跳出局部最优的能力, 收敛速度较快, 稳定性好。

关键词: 粒子群优化; 早熟收敛; 模式搜索算法; 搜索算子

中图分类号: TP18

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)02-0097-03

Particle Swarm Optimization Algorithm with Pattern Search Operator

XIE Chao-zheng, FAN Xiao-guang, ZHUO Zhen-fu

(College of Aeronautics and Astronautics Engineering, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: Particle swarm optimization(PSO) algorithm tends to suffer from falling into local optima and converging slowly in complex high-dimensional optimization problems. To solve this problem, a particle swarm optimization algorithm with the Hooke-Jeeves operator(HJPSO) is proposed. To avoid the best particle being trapped into local optima, a mechanism for judging whether the particle trap into local optima or not is added into the iteration of PSO. When the signs of premature and stagnation is detected, the Hooke-Jeeves operator is introduced to help the algorithm jump out of the likely local optima by pattern search for the current historical optimal location to the whole particle swarm. The experimental results of several benchmark functions show that the proposed approach has strong capability of preventing premature convergence, better convergence rate and robustness.

Key words: particle swarm optimization; premature convergence; hooke-jeeves algorithm; search operator

1 引言

粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)^[1]是一种模拟鸟群觅食行为的群体智能优化算法,能有效解决大规模的数学优化问题^[2],但在解决一些复杂的高维优化问题时,易陷入局部最优且收敛速度慢。

针对上述 PSO 算法的不足之处,本文结合模式搜索算法强大的局部搜索能力,将其作为局部搜索算子融入 PSO 算法中,提出一种引入模式搜索算子的粒子群优化算法。在利用 PSO 算法的全局搜索能

力的基础上,加入判断早熟停滞的机制,一旦检索到早熟迹象,便利用模式搜索算法对当前粒子群的历史最优位置进行模式搜索,使其跳出局部最优。仿真实验表明了本文算法的有效性。

2 粒子群优化算法和模式搜索算法

2.1 粒子群优化算法

在粒子群优化算法中,一个粒子代表解空间中的一个点,每个粒子有 2 个向量,位置向量 $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}]$ 和速度向量 $V_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}]$,式中, D 代表问题的解的维数。初始化时,每

个粒子的位置和速度随机在搜索空间中进行设置. 在进化阶段, 通过粒子 i 的当前位置对其进行评估, 如果当前的适应度好于 $pbest_{id}$, 那么 $pbest_{id}$ 将被当前的值所取代. 与此同时, 选择粒子群中最好的 $pbest_{id}$ 作为全局最优解 $gbest_d$. 然后, 按照式 (1) 和式 (2) 对所有粒子的位置和速度向量进行更新.

$$v_{id}^{k+1} = \omega \cdot v_{id}^k + c_1 \cdot rand_1 \cdot (pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 \cdot rand_2 \cdot (gbest_d^k - x_{id}^k) \quad (1)$$

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (2)$$

式中, k 表示是第 k 次的迭代, v_{id}^k 是第 i 个粒子在第 k 代 d 维上的速度; x_{id}^k 是第 i 个粒子在第 k 代 d 维上的位置; $pbest_i$ 是第 i 个粒子自身历史的最优位置; $gbest$ 是群体的最优位置; ω 为惯性权重; c_1 和 c_2 为学习因子, 又称为加速因子; $rand_1$ 和 $rand_2$ 是 $(0, 1)$ 之间的随机数.

2.2 模式搜索算法

模式搜索算法 (HJ)^[3] 是由 Hooke 和 Jeeves 于 1961 年提出的一种直接局部搜索算法. 该算法由探测移动和模式移动两个过程组成, 探测移动是为了探测到下降的有利方向, 而模式移动的目的是沿着有利方向移动, 两种移动交替进行, 沿着函数值下降的最佳方向搜索到最优解. 模式搜索算法的步骤如下所示.

Step1: 给定初始点 x_0 , n 个坐标方向 $e_1, e_2, \dots, e_n$, 初始步长 $\delta > 0$, 加速因子 $\alpha \geq 0$, 缩减率 $\beta \in (0, 1)$, 精度 $\epsilon > 0$. 置 $y_0 = x_0, k = 1, j = 1$;

Step2: 探测移动, 对 $j = 1, 2, \dots, n$, 若 $f(y_{j-1} + \delta e_j) < f(y_{j-1})$, 则置 $y_j = y_{j-1} + \delta e_j$, 转 Step3; 若 $f(y_{j-1} - \delta e_j) < f(y_{j-1})$, 则置 $y_j = y_{j-1} - \delta e_j$, 转 Step3; 否则置 $y_j = y_{j-1}$;

Step3: 若 $j < n$, 置 $j = j + 1$, 转 Step2; 若 $f(y_n) < f(x_k)$, 转 Step4, 否则, 转 Step5;

Step4: 模式移动: 置 $x_{k+1} = y_n$, 令 $y_0 = x_{k+1} + \alpha(x_{k+1} - x_k)$, 置 $k = k + 1, j = 1$, 转 Step2;

Step5: 若 $\delta \leq \epsilon$, 停止迭代, 得到点 x_k ; 否则, 置 $\delta = \beta\delta, y_0 = x_k, x_{k+1} = x_k$. 令 $k = k + 1, j = 1$, 转 Step2.

3 引入模式搜索算子的粒子群优化算法

3.1 算法思想

标准粒子群优化算法在求解复杂的高维优化问题时易陷入局部最优且收敛速度慢, 严重影响了算

法的性能. 对此, 本文结合 PSO 算法和 HJ 算法各自的优点, 利用粒子群算法进行全局搜索, 并通过模式搜索算法进行局部搜索, 从而构建一种引入模式搜索算子的粒子群优化算法 (HJPSO). 其基本实现过程是: 在 PSO 算法的迭代过程中加入判断粒子陷入局部最优的方法, 当检测到早熟停滞迹象时, 引入模式搜索算子对目前整个粒子群找到的历史最优位置进行模式搜索, 使其跳出局部最优, 进而找到全局最优解.

3.2 判断粒子陷入局部最优解的方法

在粒子群的每次迭代过程中, 粒子的最优解 (即每次迭代整个种群的最优适应值) 在连续 MAX 次迭代过程中都无变化时, 便可认为粒子群有早熟停滞的可能, 表明算法已经或即将陷入局部最优解. MAX 的值根据具体的求解问题设定. 若种群的最优解连续未变化的次数达到 MAX, 则进入模式搜索算法, 以使其跳出局部最优解. 本文中 MAX 取值为 5.

3.3 算法的实施步骤

算法的具体步骤如下所示.

Step1: 种群初始化, 设定惯性权重 ω , 加速因子 c_1, c_2 , 最大迭代次数 T . 在搜索空间中随机生成 m 个粒子组成的初始种群 x_i , 生成各个粒子初始速度 $v_i (i = 1, 2, \dots, m)$; 设定模式搜索的初始步长、加速因子以及搜索精度等;

Step2: 计算每个粒子的适应度值, 并更新个体最优和全局最优值;

Step3: 检查是否达到最大迭代次数, 若达到则转 Step7, 否则转 Step4;

Step4: 判断粒子群是否早熟停滞, 若停滞, 则转 Step5, 否则转 Step6;

Step5: 对当前粒子群进行模式搜索;

Step6: 更新粒子群的位置和速度, 转 step2.

Step7: 输出最终解, 结束程序.

其流程如图 1 所示.

4 仿真实验与分析

为测试本文算法的有效性, 本文选用 PSO 算法常用的 4 个标准测试函数分别对标准 PSO 算法、IPSOSM 算法^[4] 和本文 HJPSO 算法进行函数仿真测试, 测试函数如表 1 所示. 其中, f_1, f_2 为单峰函数, f_3, f_4 为多峰函数, 且这些函数的全局最优均为 0, 若当前算法获取的最优值小于 $1.0e-6$, 则认为算法运行成功.

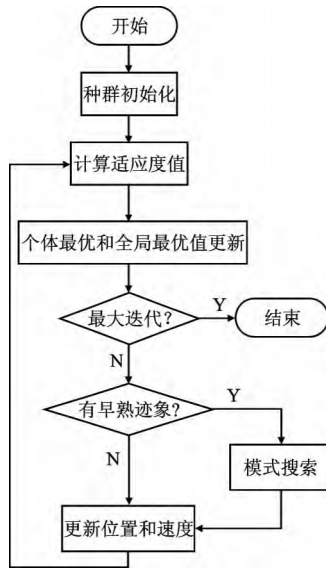


图 1 HJPSO 算法流程

表 1 仿真实验使用的 4 个测试函数

函数	名称	维数	搜索空间
f_1	Sphere	30	$[-100, 100]$
f_2	Rosenbrock	30	$[-30, 30]$
f_3	Rastrigin	30	$[-5.12, 5.12]$
f_4	Ackley	30	$[-32, 32]$

表 2 3 种算法对 4 个函数的仿真测试结果对比

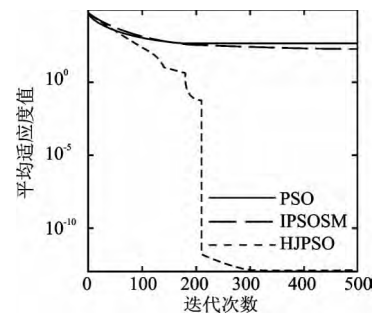
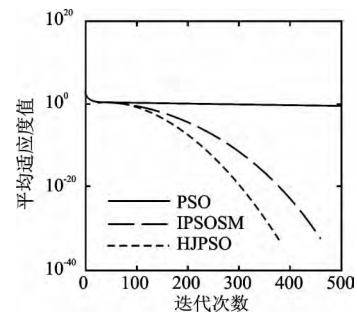
函数	性能指标	PSO	IPSOSM	HJPSO
f_1	Best	3.578 3	$1.535\ 9\text{e}-19$	$2.595\ 8\text{e}-14$
	Worst	483.639 1	531.609 6	$3.808\ 0\text{e}-13$
	Mean	325.895 9	208.967 2	$1.689\ 0\text{e}-13$
	Std	119.508 1	150.277 6	$6.475\ 5\text{e}-14$
	SR	0	0.12	1
f_2	Best	0	0	0
	Worst	18.358 5	0	0
	Mean	0.367 2	0	0
	Std	2.596 3	0	0
	SR	0.98	1	1
f_3	Best	78.064 0	0	0
	Worst	224.917 6	201.721 5	$4.190\ 1\text{e}-11$
	Mean	148.285 5	96.214 5	$1.695\ 1\text{e}-11$
	Std	39.100 5	49.892 0	$1.077\ 6\text{e}-11$
	SR	0	0.02	1
f_4	Best	$3.737\ 7\text{e}-10$	$2.273\ 4\text{e}-10$	$2.567\ 7\text{e}-10$
	Worst	19.963 0	19.966 8	$4.532\ 0\text{e}-07$
	Mean	12.205 4	9.481 6	$2.498\ 0\text{e}-07$
	Std	4.563 2	5.727 8	$8.193\ 8\text{e}-08$
	SR	0.02	0.06	1

仿真测试中,种群规模为 20,在 PSO 和 HJPSO 算法中, $c_1=c_2=2$,在 IPSOM 算法中, $c_1=1.5, c_2=2, c_3=0.5, w$ 均随迭代次数由 0.9 线性递减至 0.4, 模式搜索算子中, $\delta=2, \alpha=1.2, \beta=0.5, \epsilon=1.0\text{e}-$

6. 分别用 3 种算法对各个测试函数独立运行 50 次, 每次运行算法迭代 500 次,统计这 50 次运行结果的最优值(Best)、最差值(Worst)、平均值(Mean)、方差(Std)和运行成功率(SR). 其中 Best 和 Worst 反映了解的质量; Mean 显示了在给定算法迭代次数下算法所能达到的精度,反映了算法的收敛精度; Std 和 SR 反映了算法的鲁棒性和稳定性. 结果如表 2 所示.

由表 2 的仿真结果对比可以得出,PSO 算法和 IPSOSM 算法在求解复杂的高维函数优化问题时容易陷入局部最优,不能取得令人满意的结果,而 HJPSO 算法因为引入了模式搜索算子,克服了算法早熟,取得了较好的结果,无论是算法的求解精度,还是算法的稳定性, HJPSO 算法的性能远远优于标准 PSO 算法,其性能较 IPSOSM 算法也有了很大的提高.

图 2~图 5 分别为 3 种算法对各标准测试函数的寻优搜索的迭代曲线. 由图中可以看出, HJPSO 算法能够较快地逼近或搜索到全局最优解,具有较快的收敛速度.

图 2 f_1 函数的迭代曲线图 3 f_2 函数的迭代曲线

5 结束语

本文结合 PSO 算法的全局搜索能力和模式搜索算法的强局部搜索能力,提出了一种引入模式搜

(下转第 104 页)

4 结束语

本文通过对现有的一些非均匀分簇协议进行分析,发现现有的非均匀分簇协议有如下两个缺点:一是每一个通信轮都对整个监测区域重新分簇,造成额外的能量支出;二是簇间路由不是最节省能量的“直线”方式,需进一步优化.基于此,本文针对这些缺点提出了 EBUCBS 协议,该协议利用扇形与圆形的性质解决了上述两个问题,延长了网络生存时间,提高了能量消耗均衡性.但随着监测区域增大,外围的簇的大小也随着增大,当外围簇的大到一定程度时,不利于簇头竞选以及簇头节点能量负担过重容易死亡,所以该协议不适合监测区域大的场景而适合监测区域较小的场景.

参考文献:

- [1] Ganesan Vennira Selvi, Rajendran manoharan. Unequal clustering algorithm for WSN to prolong the network lifetime (UCAPN) [C] // Proceedings International

Conference on Intelligent Systems Modelling Simulation. Bangkok; IEEE, 2013; 456-461.

- [2] 李成法,陈贵海,叶懋,等.一种基于非均匀分簇的无线传感器网络路由协议[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 27-36.
- [3] 蒋畅江,石为人,唐贤伦,等.能量均衡的无线传感器网络非均匀分簇路由协议[J]. 软件学报, 2012, 23(5): 1222-1232.
- [4] Wang Tong, Wu Jiyi, Xu He. A cross unequal clustering routing algorithm for sensor network[J]. Measurement Science Review, 2013, 13(4): 200-205.
- [5] Tao Liu, Qingrui Li, Ping Liang. An energy-balancing clustering approach for gradient-based routing in wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2012(35): 2150-2161.
- [6] 莫桂江. 蚁群-遗传算法的无线传感器网络路径优化[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(9): 139-142.
- [7] Raghuvanshi, Ajay Singh, et al. Optimal number of clusters in wireless sensor networks; a FCM approach[J]. International Journal of Sensor Networks, 2012, 12(1): 16-24.

(上接第 99 页)

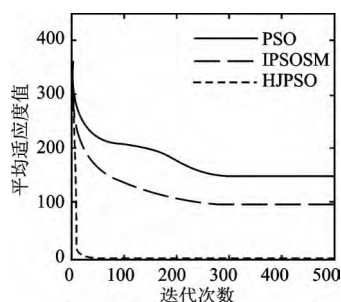


图 4 f_3 函数的迭代曲线

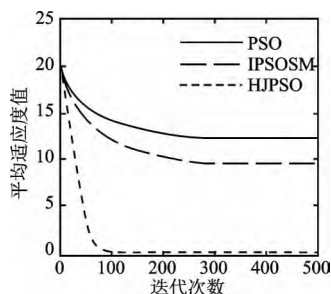


图 5 f_4 函数的迭代曲线

算子的粒子群优化算法. 在常用的标准测试函数上的测试结果表明, HJPSO 算法能够克服标准 PSO 算法在求解复杂的高维优化问题时的不足, 并

具有较好的稳定性和鲁棒性. 使用更多的测试函数来测试本文所提算法的性能, 并将其应用于求解实际问题, 将是下一步的研究内容.

参考文献:

- [1] Kennedy J, Eberhart C. Particle swarm optimization [C] // Proc of IEEE Int Conf on Neural Networks. Perth; IEEE Piscataway, 1995: 1942-1948.
- [2] 李明, 曹德欣. 一种可逃逸的杂交粒子群算法[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(12): 94-98.
- [3] Hooke R, Jeeves T A. Direct search solution of numerical and statistical problems[J]. Journal of the Association for Computing Machinery, 1961, 8(2): 212-229.
- [4] 李丁, 夏露. 改进的粒子群优化算法在气动设计中的应用[J]. 航空学报, 2012, 33(10): 1809-1816.

作者简介:

谢朝政 男, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为机载计算机技术. E-mail: lswchen@126.com

樊晓光 男, (1965-), 教授, 博士生导师. 研究方向为综合航空电子技术.

嵇真福 男, (1971-), 硕士, 讲师. 研究方向为综合航空电子技术.