

改进的混合蛙跳算法性能分析 及其在电力系统经济调度中的应用

代永强, 王联国, 施秋红, 宋磊

(甘肃农业大学信息科学技术学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对基本混合蛙跳算法收敛速度慢, 优化精度低的问题, 提出了改进的混合蛙跳算法: 通过引入自适应因子, 保持了算法开发与探索的平衡, 维持了种群的多样性, 提高了个体向局部最优或全局最优个体学习的能力, 加快了算法的收敛速度。通过对4个测试函数和电力系统中经济调度问题进行优化实验, 并与基本混合蛙跳算法和相关文献中的改进算法进行比较, 实验结果表明所提出的改进算法取得了更加理想的运算结果, 具有更好的优化性能。

关键词: 混合蛙跳算法; 自适应因子; 电力系统; 经济调度; 优化性能

Performance analysis of improved SFLA and the application in economic dispatch of power system

DAI Yong-qiang, WANG Lian-guo, SHI Qiu-hong, SONG Lei

(College of Information Science & Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Aiming at the problems of the shuffled frog leaping algorithm (SFLA), such as slow convergence speed and low optimization precision, the improved SFLA is proposed. Through introducing the adaptive factor, we ensure the algorithm balance between exploration and development, maintain the population diversity, improve the capacity of the individual learning from the best individual of local optimization or the global optimum, and speed up the convergence rate. Through testing four benchmark functions and optimizing the problems of economic dispatch in the power system, and comparing with basic SFLA and the improved SFLA in related references, we find that the improved SFLA achieves more reasonable results and has better optimization performance.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61063028) and Natural Science Foundation of Gansu (No. 096RJZA004).

Key words: shuffled frog leaping algorithm; adaptive factor; power system; economic dispatch; optimization performance

中图分类号: TP181 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2012)10-0077-07

0 引言

遗传算法, 粒子群算法, 蚁群算法, 人工鱼群算法等优化算法的出现对于求解约束、非线性和多极值的全局优化和多目标优化问题提供了新的解决方法, 并且在社会生产各个领域得到广泛应用^[1-4]。

混合蛙跳算法 (Shuffled Frog Leaping Algorithm, SFLA) 是2003年由Eusuff和Lansey提出的一种基于群体智能的生物进化算法^[5]。算法具有概念简单、参数少、计算速度快、全局寻优能力强、

易于实现等特点, 近年来, 该算法不断得到改进和应用^[6-10]。

本文通过引入自适应因子, 提出了一种改进的混合蛙跳算法, 通过测试实验函数和优化电力系统经济调度问题, 结果表明本文提出的改进算法较之基本混合蛙跳算法和文献[6-7]中的改进算法, 具有更好的优化性能。

1 改进的混合蛙跳算法

1.1 自适应混合蛙跳算法 (ISFLA)

ISFLA 在更新过程中, 青蛙个体能够记住自身前两次的更新步长和个体邻域的历史最优值, 因而迭代过程中 P_w (适应值最差个体) 不仅向 P_b (子

基金项目: 国家自然科学基金 (61063028); 甘肃省自然科学基金 (096RJZA004); 甘肃省科技支撑计划 (1011NKCA058)

群适应值最好个体)或 P_g (全局适应值最好个体)学习,在延续上次更新的部分惯性步长的同时,还向记忆中的个体邻域历史最优值学习,随着迭代次数的增加,自适应因子对个体更新策略影响呈线性减弱趋势。这种更新策略加快了算法的收敛速度,扩大了个体的搜索区域,同时也保持了开发与探索的平衡,维持了种群的多样性,一定程度上扩展了算法的搜索能力。具体更新策略如下式。

$$Dis(t+1)=W(R_1Dis(t)+R_2Dis(t-1)+R_3His(P_w))+R_4(P_b-P_w) \quad (1)$$

$$P_w(t+1)=P_w(t)+Dis(t+1) \quad (2)$$

$$W=W_c+(W_s-W_c)a \quad (3)$$

$$a=\exp(-30 \times (t/T_{\max})^s) \quad (4)$$

式中: R_1, R_2, R_3, R_4 是0~1之间的随机数; Dis 是 P_w 的移动步长; $DisM$ 是青蛙移动步长的上限; t 是当前迭代次数; T_{\max} 是总的迭代次数; W 是权重因子; W_s 和 W_c 是权重因子的初始值和结束值,本文中的取值分别是0.9和0.4; s 为大于1的整数,取值范围[1,30]。图1为 s 分别等于3、5、10, $T_{\max}=1000$ 时,函数 a 的值的曲线图。

$His(P_w)$ 是 P_w 的个体邻域历史最优值。个体邻域结构如图2所示,在图中有 P 个存储体,标记为 $\{C(i), i=1, 2, \dots, P\}$,按照初始化种群的适应值降序排列,自左至右存储相应个体迭代过程中的历史最优值。个体邻域指个体所对应存储体左右半径内的存储体集合,如:以 $C(3)$ 为中心,半径为2的个体邻域集合是 $\{C(j), j=1, 2, 3, 4, 5\}$ 。存储体采用循环结构, $C(1)$ 包含在 $C(P)$ 的右邻域内, $C(P)$ 包含在 $C(1)$ 的左邻域内。

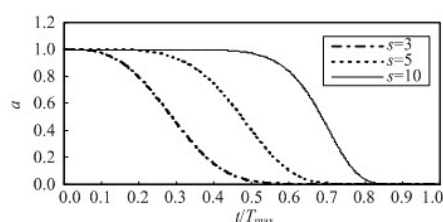


图1 函数 a 的变化曲线图

Fig. 1 The curve of function a

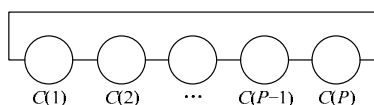


图2 邻域存储示意图

Fig. 2 The schemes of neighborhood storage

1.2 测试标准函数蛙跳算法流程

Step1: 设置相关参数,在定义域范围内随机产生 P 只青蛙,子群数为 M ,每个子群青蛙个数为 N ,全局信息交换迭代次数为 T_1 ,局部搜索迭代次数为 T_2 。

Step2: 计算每只青蛙的适应值,将所有青蛙按照目标函数值降序排序,随机分组。

Step3: 执行式(2)、式(3),对每个子群重新排序,更新每个子群的 P_w 、 P_b 及整个种群的 P_g 。

Step4: 判断局部搜索迭代次数是否达到 T_2 ,若未达到,返回Step3继续执行。

Step5: 判断全局信息交换迭代次数是否达到 T_1 或 P_g 是否达到要求的收敛精度。如果不满足,跳至Step2继续执行;如果满足,算法结束,输出 P_g 。

1.3 实验方法、结果及说明

1.3.1 实验设计

应用SFLA,文献[6-7]中的改进算法和ISFLA,对下面4个测试函数进行优化计算,并对其计算结果进行分析,以下4个测试函数均为求全局极小值,测试函数参数如表1所示,测试平台为VC++6.0,机器主频为P4(2.2 G),内存为2 G。

$$f_1(x) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10)$$

$$f_2(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1$$

$$f_3(x) = -20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{30} \sum_{i=1}^n x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{30} \sum_{i=1}^n \cos 2\pi x_i\right) + 20 + e$$

$$f_4(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (x_i^2 + x_{i+1}^2)^{0.25} [\sin^2(50(x_i^2 + x_{i+1}^2)^{0.1}) + 1]$$

实验中算法具体参数设置:青蛙种群规模为200,子群数为20,每个子群中青蛙数为10,迭代进化次数为500,子群内更新迭代次数为10。ISFLA的个体邻域半径为1,各函数优化的参数和目标精度见表1。对以上4个测试函数分别采用SFLA,文献[6-7]中的改进算法、ISFLA进行极小值寻优,实验结果采用算法独立执行30次得到的平均值。

表1 测试函数参数表

Table 1 The parameter of test function

函数	维数	搜索范围	理论最优值	目标精度
f_1	30	$[-5.12, 5.12]$	0	1×10^{-1}
f_2	30	$[-600, 600]$	0	1×10^{-2}
f_3	30	$[-32, 32]$	0	1×10^{-7}
f_4	30	$[-100, 100]$	0	5×10^0

本文采用以下方式分析算法的优化性能:(1)固定迭代进化次数,算法收敛速度和精度分析;(2)固定收敛精度,算法迭代进化次数分析。

1.3.2 实验结果及分析

1) 固定迭代进化次数, 算法收敛速度和精度分析

实验结果如表 2 和图 3~图 6 所示。由表 2 可以看出, ISFLA 的平均优化结果明显好于基本 SFLA 和文献[6-7]中改进算法。ISFLA 的运行时间与基本 SFLA 和文献[6]中的改进算法相当, 但明显快于文献[7]中改进算法, 另外 ISFLA 的标准差相对较小, 表明改进算法具有更好的稳定性。

表 2 固定迭代进化次数下的实验结果

Table 2 The results of fixed evolution number

函数	算法	平均最优值	标准差	平均运行时间/s
f_1	SFLA	16.283 9	6.320 12	1.42
	文献[6]	9.452 11	3.424 28	1.47
	文献[7]	6.646 63	3.464 18	6.72
	ISFLA	1.287 23	1.276 00	1.40
f_2	SFLA	0.855 34	0.199 68	1.38
	文献[6]	0.011 89	0.012 93	1.43
	文献[7]	0.011 11	0.015 20	7.81
	ISFLA	0.003 77	0.006 55	1.39
f_3	SFLA	0.682 94	0.602 55	1.34
	文献[6]	1.27E-8	7.75E-9	1.43
	文献[7]	0.073 82	0.016 36	8.16
	ISFLA	3.16E-12	1.08E-11	1.55
f_4	SFLA	16.039 0	6.041 19	2.67
	文献[6]	4.263 06	2.794 04	2.90
	文献[7]	9.119 88	3.599 30	31.76
	ISFLA	1.289 70	1.353 06	2.88

图 3~图 6 是函数 $f_1 \sim f_4$ 采用四种算法运行 30 次后得到的平均值的进化曲线, 在图 3~图 6 中, 使用函数平均极值的常用对数表示纵坐标的值, 使用进化次数表示横坐标的值。从图中可以看出, ISFLA 虽然在进化前期收敛速度较慢, 但在中后期收敛速度明显快于其他三种算法。

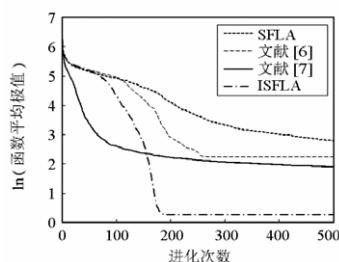


图 3 函数 f_1 平均值的进化曲线

Fig. 3 Average evolutionary curve of function f_1

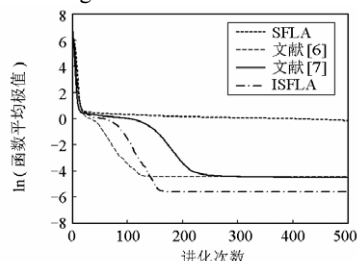


图 4 函数 f_2 平均值的进化曲线

Fig. 4 Average evolutionary curve of function f_2

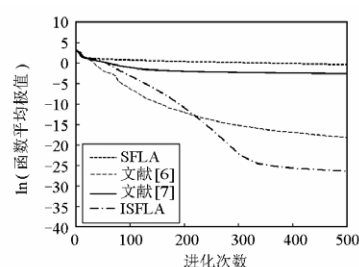


图 5 函数 f_3 平均值的进化曲线

Fig. 5 Average evolutionary curve of function f_3

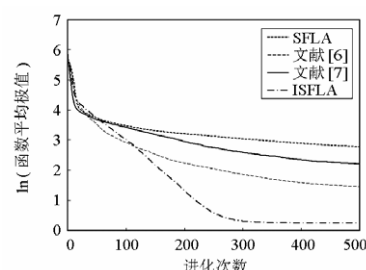


图 6 函数 f_4 平均值的进化曲线

Fig. 6 Average evolutionary curve of function f_4

2) 固定收敛精度, 算法迭代进化次数分析

4 个测试函数分别采用基本 SFLA、文献[6-7]中改进算法、ISFLA 各自独立执行 30 次, 达到表 1 中要求精度的迭代次数 (最大迭代次数为 500), 如表 3 所示, 其中, 成功率等于达到要求精度的迭代次数与实验总次数 (30) 之比。从表 3 可以看出: ISFLA 对 4 个函数达到 93%~100% 的成功率, 改进算法明显高于其他三种算法。从达到固定优化精度的平均迭代次数、最小迭代次数和最大迭代次数三个指标来看, ISFLA 都比其他三种算法整体上性能突出。以上结果说明 ISFLA 优化成功率高、收敛速度快, 且具有较好的稳定性。

表 3 固定收敛精度下的实验结果

Table 3 The results of fixed convergence precision

函数	算法	成功率/%	平均迭代次数	最小迭代次数	最大迭代次数
f_1	SFLA	23	364	269	452
	文献[6]	37	166	111	292
	文献[7]	83	175	54	466
	ISFLA	100	128	83	209
f_2	SFLA	0	-	-	-
	文献[6]	80	77	65	115
	文献[7]	53	215	183	247
	ISFLA	93	129	115	175
f_3	SFLA	0	-	-	-
	文献[6]	100	349	247	436
	文献[7]	0	-	-	-
	ISFLA	100	249	243	254
f_4	SFLA	3	476	476	476
	文献[6]	63	298	197	479
	文献[7]	0	-	-	-
	ISFLA	100	189	161	330

2 在电力系统经济调度问题中的应用

2.1 燃料成本目标函数

电力系统经济调度问题燃料成本的数学模型如式(5)^[11]。

$$\min F_{\text{cost}} = \sum_{m=1}^Z F_{\text{mcost}}(P_m) \tag{5}$$

式中： F_{cost} 为系统燃料成本费用； Z 为系统内发电机数目； P_m 为第 m 台发电机的有功功率； $F_{\text{mcost}}(P_m)$ 为第 m 台发电机的耗量特性。

1) 普遍性描述

$F_{\text{mcost}}(P_m)$ 的二次函数近似表示为

$$F_{\text{mcost}}(P_m) = a_m P_m^2 + b_m P_m + c_m \tag{6}$$

式中， a_m, b_m, c_m 为燃料成本系数。

2) 发电机耗量曲线的阀点效应^[12]

机组热运行测试过程中，发电机有功功率从最小值缓慢增加到最大值，通过对 P_m 、 $F_{\text{mcost}}(P_m)$ 采样可获得机组的耗量曲线，通常将其表示为二次函数形式，如式(5)。然而汽轮机进汽阀突然开启时出现的拔丝现象在机组的耗量曲线上叠加了 1 个脉冲效果，即产生了阀点效应，如图 7 所示。

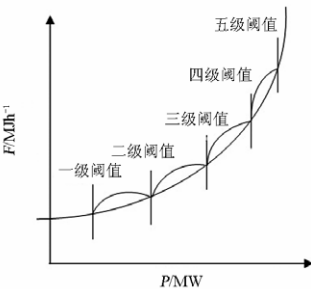


图 7 计及阀点效应的机组耗量曲线

Fig. 7 Unit input and output curve with valve point effect

当考虑阀点效应时，耗量特性为

$$F_{\text{mcost}}(P_m) = a_m P_m^2 + b_m P_m + c_m + E_m \tag{7}$$

$$E_m = |g_m \sin[h_m (P_m - P_m^{\min})]| \tag{8}$$

式中： E_m 为由阀点效应引起的耗量特性变化； a_m, b_m, c_m, g_m, h_m 为系统参数； P_m^{\min} 为第 m 台发电机的有功功率下限。

2.2 约束条件

调度过程中考虑两种约束条件：容量约束与平衡约束。

容量约束为

$$P_m^{\min} < P_m < P_m^{\max} \tag{9}$$

其中， P_m^{\min}, P_m^{\max} 为第 m 台发电机的最小和最大有功功率输出。

平衡约束为

$$\sum_{m=1}^M P_m - P_F - P_{\text{loss}} = 0 \tag{10}$$

其中： P_F 为系统负荷； P_{loss} 为有功网损。采用 B 系数法时，网损与发电机有功功率的关系为

$$P_{\text{loss}} = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^M P_m B_{mj} P_j + \sum_{m=1}^M B_{0m} P_m + B_{00} \tag{11}$$

式中： P 为 M 维有功功率列向量； B_{mj}, B_{0m}, B_{00} 为 B 系数，实际应用中可以每隔一段时间进行测量修正。

2.3 算例分析与结果说明

为了验证改进混合蛙跳算法的性能，本文以文献[12-13]的 3 机组 6 母线电力系统为例，分别讨论：a) 忽略网损，忽略阀点效应；b) 忽略网损，考虑阀点效应；c) 考虑网损，考虑阀点效应三种情形下系统的负荷分配问题，并针对同一问题，使用 ISFLA、文献[6-7]和 SFLA 进行优化求解，并与文献[14]中的标准 PSO 算法(PSO)以及文献[15-16]中改进粒子群算法的结果进行比较研究。具体的参数为：发电机负载总负荷 $P_D = 500$ MW，各发电机的耗量特性常数及有功功率容量约束见表 4。

表 4 发电机耗量曲线系数及有功功率极限

Table 4 The coefficients of input and output curves and generation limits of generators

机组	a_m	b_m	c_m	g_m	h_m	P_m^{\min}	P_m^{\max}
1	0.001 56	7.92	561	300	0.031 5	100.0	600.0
2	0.001 94	7.85	310	200	0.042 0	100.0	400.0
3	0.004 82	7.97	78	150	0.063 0	50.0	200.0

2.4 改进算法优化电力系统调度问题流程^[14]

Step1：设置相关参数，青蛙总数为 P ，子群数为 M ，每个子群青蛙个数为 N ，全局信息交换迭代次数为 T_1 ，局部搜索迭代次数为 T_2 。

Step2：根据不等式约束和等式约束在定义域范围内随机产生 P 只青蛙的前 $D-1$ 维位置。

Step3：计算每个个体最后一维的位置，判断是否符合机组功率限定，若不符合转 Step2。

Step4: 根据式(6)~式(8)计算每只青蛙的适应值, 将所有青蛙按照目标函数值降序排序, 随机分组。

Step5: 执行式(1)、式(2)对每个子群重新排序, 更新每个子群的 P_w 、 P_b 及整个种群的 P_g 。

Step6: 判断局部搜索迭代次数是否达到 T_2 , 若未达到, 返回Step5继续执行。

Step7: 判断全局信息交换迭代次数是否达到 T_1 或 P_g 是否达到要求的收敛精度。如果不满足, 跳至Step4继续执行; 如果满足, 算法结束, 输出 P_g 。

计算网损的 B 系数如下^[14]:

$$B = \begin{bmatrix} 0.0006760 & 0.0000953 & -0.0000507 \\ 0.0000953 & 0.0005210 & 0.0000901 \\ -0.0000507 & 0.0000901 & 0.0002940 \end{bmatrix}$$

$$B_0 = [-0.0007660 \quad -0.0000342 \quad 0.0001890]^T$$

$$B_{00} = 0.00040357$$

实验中算法具体参数设置: 青蛙种群规模为50, 子群数为10, 每个子群中青蛙数为5, 迭代进化次数为500, 子群内更新迭代次数为5。ISFLA的个体邻域半径为1, 试验次数为10, 实验结果采用算法独立执行10次得到的最好值。表5和表7分别统计了各算法的最优解以及与其他参考文献中的最优解。

表5中, 各种算法优化性能相近, 但是ISFLA在10~20次之内找到最优解, 而其他算法则在300~400次找到最优解^[14], 使用ISFLA求解该问题具有较快的收敛速度和精度。

从表6和表7中可以看出, ISFLA求解该问题得到的解均优于基本SFLA和文献[6-7]、文献[14-16]中的解, 且具有较快的收敛速度及较高的收敛精度。

表5 算法在情形a下运行结果

Table 5 The results of case a

算法	P_1/MW	P_2/MW	P_3/MW	$\sum P_m/\text{MW}$	Cost/\$
SFLA	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
文献[6]	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
文献[7]	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
ISFLA	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
SPSO[14]	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
CLPSO[14]	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
CPSO[14]	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
CLCPSO[14]	228.95	202.14	68.91	500.00	5 082.23
文献[15]	237.73	187.58	74.69	500.00	5 083.04

表6 算法在情形b下运行结果

Table 6 The results of case b

算法	P_1/MW	P_2/MW	P_3/MW	$\sum P_m/\text{MW}$	Cost/\$
SFLA	199.73	250.16	50.10	500.00	5 095.45
文献[6]	199.73	250.27	50.00	500.00	5 095.38
文献[7]	199.73	250.24	50.02	500.00	5 095.39
ISFLA	199.84	249.95	50.21	500.00	5 092.67
SPSO[14]	199.82	249.99	50.18	499.99	5 095.57
CLPSO[14]	199.80	250.03	50.17	500.00	5 095.55
CPSO[14]	199.21	249.68	50.10	499.99	5 095.54
CLCPSO[14]	199.75	250.12	50.13	500.00	5 095.48
文献[15]	299.41	100.70	99.90	500.01	5 121.47

表 7 算法在情形 c 下运行结果
Table 7 The results of case c

算法	P_1/MW	P_2/MW	P_3/MW	$\sum P_m/\text{MW}$	P_L/MW	Cost/\$
SFLA	199.73	174.8	167.56	542.09	45.10	5 630.60
文献[6]	299.47	103.07	149.74	552.27	52.04	5 617.66
文献[7]	299.47	103.08	149.73	552.27	52.28	5 617.66
ISFLA	299.43	102.98	149.84	552.26	52.25	5 615.82
SPSO[14]	199.73	174.80	176.56	551.09	52.17	5 730.95
CLPSO[14]	199.73	174.79	176.56	551.08	52.17	5 730.93
CPSO[14]	199.73	174.80	176.56	551.09	52.17	5 730.95
CLCPSO[14]	199.73	174.79	176.56	551.08	52.17	5 730.93
文献[16]	299.46	171.89	99.87	571.22	71.22	5 735.78
文献[15]	299.46	172.00	98.84	570.30	70.24	5 735.93
GA[15]	300.01	170.20	100.10	570.31	70.99	5 745.11

4 结束语

混合蛙跳算法的研究应用已经渗透到很多领域，已经成为交叉学科中一个前沿性研究问题。目前对混合蛙跳算法的研究主要包括算法的改进和算法的应用两个方面^[17-18]。本文通过调整算法的更新策略，引入自适应因子，提出了改进的混合蛙跳算法 ISFLA，通过优化测试函数和电力系统中的经济调度问题，实验结果表明本文提出的改进算法取得了更加理想的解，具有较为突出的优化性能。

参考文献

- [1] 唐琳, 蔡德荣, 黄猛. 基于改进遗传算法的舰船路径规划[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(6): 1452-1454.
TANG Lin, CAI De-rong, HUANG Meng. Path planning of warship based on improved genetic algorithm[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(6): 1452-1454.
- [2] 李娟, 杨琳, 刘金龙, 等. 基于自适应混沌粒子群优化算法的多目标无功优化[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(9): 26-31.
LI Juan, YANG Lin, LIU Jin-long, et al. Multi-objective reactive power optimization based on adaptive chaos particle swarm optimization algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(9): 26-31.
- [3] 赵书强, 王磊. 改进蚁群算法在配电网规划中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 61-65.
ZHAO Shu-qiang, WANG Lei. Application of improved ant colony algorithm in distribution network planning[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 61-65.
- [4] 黄光球, 姚玉霞, 陆秋琴. 用鱼群算法求解通风系统风机定位优化问题[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(1): 243-248.
HUANG Guang-qiu, YAO Yu-xia, LU Qiu-qin. Locating optimization of fans in ventilation system based on fish-swarm algorithm[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(1): 243-248.
- [5] Eusuff M, Lansey K E. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm[J]. Water Resources Planning and Management, 2003, 129(3): 210-225.
- [6] ZHEN Zi-yang, WANG Dao-bo, LIU Yuan-yuan. Improved shuffled frog leaping algorithm for continuous optimization problem[C] // 2009 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Trondheim, Norway, 2009.
- [7] 赵鹏军, 刘三阳. 求解复杂函数优化问题的混合蛙跳算法[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(7): 2435-2437.
ZHAO Peng-jun, LIU San-yang. Shuffled frog leaping algorithm for solving complex functions[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(7): 2435-2437.
- [8] 罗雪晖, 杨烨, 李霞. 改进混合蛙跳算法求解旅行商问题[J]. 通信学报, 2009, 30(7): 130-135.
LUO Xue-hui, YANG Ye, LI Xia. Modified shuffled frog-leaping algorithm to solve traveling salesman problem[J]. Journal on Communications, 2009, 30(7): 130-135.
- [9] 王茜, 张粒子, 舒隽, 等. 基于阈值选择策略的改进混合蛙跳算法在电网规划中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(3): 34-39.
WANG Qian, ZHANG Li-zi, SHU Jun, et al. Application of improved shuffled frog leaping algorithm based on threshold selection strategy in transmission network planning[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(3): 34-39.
- [10] ZHANG Xun-cai, HU Xue-mei, CUI Guang-zhao, et al. An improved shuffled frog leaping algorithm with cognitive behavior[C] // Proceedings of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, Chongqing, China, June 25-27, 2008.

- [11] Nidul S, Chakrabarti R, Chattopadhyay P K. Evolutionary programming techniques foreconomic load dispatch[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2003, 7(1): 83-94.
- [12] Walters D C, Sheble G B. Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1993, 8(3): 1325-1332.
- [13] Allen J W, Bruce F W. Power generation operation and control[M]. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [14] 袁瑛. 粒子群算法在电力系统经济调度中的应用研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2010.
YUAN Ying. Study on the application of particle swarm optimization in the system power economic dispatch[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2010.
- [15] 唐巍, 李殿璞. 电力系统经济调度负荷分配的混沌优化算法[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(10): 36-40.
TANG Wei, LI Dian-pu. Chaotic optimization for economic dispatch of power systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(10): 36-40.
- [16] 侯云鹤, 鲁丽娟, 熊信良, 等. 广义蚁群与粒子群结合算法在电力系统经济负荷分配中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 34-38.
HOU Yun-he, LU Li-juan, XIONG Xin-yin, et al. Application of generalized ant colony optimization algorithm integrated with particle swarm optimization algorithm in economic dispatch of power system[J]. Power System Technology, 2004, 28(21): 34-38.
- [17] 赵守法. 蛙跳算法的研究与应用[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
ZHAO Shou-fa. The research and application of shuffled frog leaping algorithm[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [18] LI Ying-hai, ZHOU Jian-zhong, ZHANG Yong-chuan, et al. Novel multi objective shuffled frog leaping algorithm with application to reservoir flood control operation[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2010, 136(2): 217-226.

收稿日期: 2011-06-27; 修回日期: 2011-09-23

作者简介:

代永强 (1981-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为计算智能; E-mail: dyq@gsau.edu.cn

王联国 (1968-), 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为智能信息处理;

施秋红 (1984-), 女, 硕士, 助教, 研究方向为计算智能。

(上接第 76 页 continued from page 76)

- WANG Rui, LIN Fei, YOU Xiao-jie, et al. Research on the reactive power control of distributed generation system based on genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(2): 24-27.
- [11] 钱科军, 袁越, 石晓, 等. 分布式发电的环境效益分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(29): 11-15.
QIAN Ke-jun, Yuan Yue, SHI Xiao, et al. Environmental benefits analysis of distributed generation[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(29): 11-15.
- [12] 赵晶晶, 李新, 彭怡, 等. 基于粒子群优化算法的配电网重构和分布式电源注入功率综合优化算法[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 162-166.
ZHAO Jing-jing, LI Xin, PENG Yi, et al. A comprehensive optimization algorithm for injection power of distributed generation and distribution network reconfiguration based on particle swarm optimization[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 162-166.
- [13] 袁晓辉, 王乘, 张勇传, 等. 粒子群优化算法在电力系统中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 14-19.
YUAN Xiao-hui, WANG Cheng, ZHANG Yong-chuan, et al. A survey on application of particle swarm optimization[J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 14-19.
- [14] Shi Y, Eberhart R. A modified particle swarm optimizer[C] // IEEE International Conference on Evolutionary Computation, Anchorage, Alaska, USA, 1998: 69-73.
- [15] 王守相, 王成山. 现代配电系统分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 196-202.
- [16] Ding M, Li B, Han P. Impacts of doubly-fed wind turbine generator operation mode on system voltage stability[C] // 2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, 2009: 602-606.
- [17] 吴红斌, 孙辉. 分布式发电实验室的潮流仿真[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 49-52.
WU Hong-bin, SUN Hui. Power flow simulation of distribution generation laboratory[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 49-52.
- [18] 温健. 地区配电网潮流计算及软件开发[D]. 北京: 华北电力大学, 2006.

收稿日期: 2011-06-29; 修回日期: 2011-08-20

作者简介:

吕清洁 (1987-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为含分布式电源的配电网规划; E-mail: lqj-05@163.com

王 韶 (1956-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为电力系统规划与可靠性。