

改进的人工鱼群算法*

范玉军¹, 王冬冬², 孙明明³

(1. 德州职业技术学院 基础部, 山东 德州 253000; 2. 青岛滨海学院 本科部, 青岛 266555;
3. 广西民族大学 数学与计算机科学学院, 南宁 530006)

摘要 通过对人工鱼群算法的研究, 给出了改进的人工鱼群算法。采用最优个体保留策略对觅食行为进行改进, 防止群体中最优个体的退化, 给出加速个体局部搜索方法, 改进算法中的聚群行为和追尾行为, 使全局最优值更快地突现出来。根据双射的定义和性质, 在不影响最终寻优结果的情况下对问题的搜索域进行“缩小”, 从而加速了全局搜索。仿真结果表明改进的人工鱼群算法具有求解精度高、寻优成功率高、收敛速度快、算法稳定等优点。

关键词 人工鱼群算法; 搜索域; 双射; 改进的人工鱼群算法

中图分类号: TP183

文献标识码: A

文章编号: 1672-6693(2007)03-0023-04

Improved Artificial Fish-school Algorithm

FAN Yu-jun¹, WANG Dong-dong², SUN Ming-ming³

(1. Dept. of Basic Science, Dezhou Vocational and Technical College, Dezhou Shandong 253000;

2. Dept. of Undergraduate Course, Qingdao Binhai University, Qingdao 266555;

3. College of Mathematics and Computer Science, Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China)

Abstract: In this paper the Improved Artificial Fish-school Algorithm is proposed based on the study of the Artificial Fish-school Algorithm. The preying behavior is improved by introducing the strategy of keeping the best individual, and this method prevents the degenerating of the best individual in colony. The method of accelerating individual local searching is put forward, and it is used to improve the swarming behavior and fish's following behavior in order to make the global optimal value to be shown faster. Without influence on the final results, the searching area is "reduced" based on the definition and properties of bijection, so that global searching is accelerated. Several computer simulation results show that the Improved Artificial Fish-school Algorithm has some advantages such as higher precision of solution, higher efficiency of optimization, faster convergence rate, and better stabilization etc.

Keywords: artificial fish-school algorithm; searching area; bijection; improved artificial fish-school algorithm

人工鱼群算法^[1](AFSA, Artificial Fish-school Algorithm)是模仿鱼类行为提出的一种基于动物自治体^[2-3]的优化方法,是集群智能思想^[4]的一个具体应用,它的主要特点是不需要了解问题的特殊信息,只需要对问题进行优劣的比较,通过各人工鱼个体的局部寻优行为,最终在群体中使全局最优值突现出来,有着较快的收敛速度。但当预寻优问题类似于 Schaffer's F6 函数时(Schaffer's F6 是一个搜索域大,具有无穷多个局部极值点,但只有一个全局极

值点,并且全局极值点附近存在一个圈谷),未改进的人工鱼群算法的搜索效果并不理想。

人工鱼群算法就是通过模拟鱼类的觅食、聚群、追尾等行为在搜索域中进行寻优,所以要对该算法进行改进无非就是通过对这几方面进行改进。笔者正是从这几点出发,给出了改进的人工鱼群算法(IAFSA, Improved Artificial Fish-school Algorithm),并达到了预期的效果。由于求极大值和求极小值可以相互转换,因此文中以求极大值问题进行讨论。

* 收稿日期 2007-01-05 修回日期 2007-04-19

资助项目 广西自然科学基金项目(No. 0542048) 广西民族大学重大科研项目(No. 0609013)

作者简介 范玉军(1961-),女,山东德州人,高级讲师,研究方向为计算智能。

1 改进的人工鱼群算法

1.1 相关符号定义

决策变量 X 表示人工鱼状态;目标函数值 $Y=f(X)$ 表示人工鱼当前状态的食物浓度; $d_{ij}=\|X_i-X_j\|$ 表示人工鱼状态 X_i 和 X_j 之间的距离; δ 表示拥挤度因子; $Trynumber$ 表示人工鱼每次移动时最大的试探次数; $Visual$ 表示人工鱼的可视距离; $Step$ 表示人工鱼的移动步长; N 表示人工鱼群的规模。

1.2 改进的觅食行为

设人工鱼的当前状态为 X_i ,在其可视域范围内随机的选择一个状态 X_j ,如果食物浓度 $Y_i < Y_j$,则向该方向前进一步;反之,再重新在其可视域范围内随机地选择一个状态,判断是否满足前进条件。试探 $Trynumber$ 次后,如果仍不满足前进条件,且当前状态 X_i 不是当前群体内的最优状态,则随机移动一步;若是当前群体内的最优状态,则不移动。

在对觅食行为的改进中,笔者采用了最优个体保留策略,避免了最优人工鱼状态的退化。

1.3 改进的聚群行为

设人工鱼的当前状态为 X_i ,探索当前可视域内伙伴的个数 n 及中心位置 X_c 。若食物浓度 $Y_i < Y_c$ 且 $n/N < \delta$,表明伙伴中心有较高的食物浓度,且并不拥挤,则向着伙伴的中心位置前进,在前进的过程中,若遇到食物浓度比伙伴中心位置的食物浓度高的位置,则移动到这个位置;若未发现比伙伴中心食物浓度高的位置,则移动到中心位置;若 $Y_i < Y_c$ 或 $n/N > \delta$,则执行觅食行为。

1.4 改进的追尾行为

设人工鱼当前状态为 X_i ,探索其可视域内最优的人工鱼状态 X_{max} ,如果 $Y_i < Y_{max}$,且 X_{max} 可视域内伙伴数目 n 满足 $n/N < \delta$,表明 X_{max} 处有较高食物浓度并且其周围不太拥挤,则向 X_{max} 的位置前进,在前进过程中若遇食物浓度到比 Y_{max} 还要高的位置,则移动到这个位置;若未遇到,则随机地向着 X_{max} 的位置移动一步;若 $Y_{max} < Y_i$ 或 $n/N > \delta$,则执行觅食行为。

1.5 搜索域的“缩小”

定义1^[5] 若是在一个集合 A 到集合 B 的映射 ϕ 下, B 的每一个元都至少是 A 某一个元的象,那么 ϕ 叫做一个 A 到 B 的满射。

定义2^[5] 一个集合 A 到集合 B 的映射 $\phi: a \rightarrow$

b ,其中 $a \in A, b \in B$,叫做一个集合 A 到集合 B 的单射,假如 $a_i \neq a_j \Rightarrow b_i \neq b_j$,其中 $a_i, a_j \in A, b_i, b_j \in B$ 。

定义3^[5] 假如一个集合 A 到集合 B 的映射 ϕ 既是满射又是单射,那么 ϕ 叫做一个集合 A 到集合 B 的双射。

性质1^[5] 集合 A, B ,若映射 $\phi: A \rightarrow B$ 为双射,则对 $\forall x \in A$,有且仅有一个 $y \in B$ 与之对应,对 $\forall y \in B$ 也同样有且仅有一个 $x \in A$ 与之对应。

对搜索域比较大的寻优问题,可以根据双射的定义和性质设计以下映射函数,对搜索域进行“缩小”,但搜索效果不变。

1) 若搜索域为对称区间,即预寻优变量 $x_i \in (-r, r)$ 或 $[-r, r]$ 则令

$$x_i = g(y_i) = ry_i \quad y_i \in (-1, 1) \text{ 或 } [-1, 1]$$

显然 $x_i = g(y_i) = ry_i$ 为一个满射,因此根据满射的性质,对 y_i 在 $(-1, 1)$ 或 $[-1, 1]$ 上寻优等价于 x_i 在 $(-r, r)$ 或 $[-r, r]$ 上寻优,搜索到最优解 y_i ,通过映射函数 g 的逆映射函数便可得到最终的最优解 x_i ,但搜索域显然“缩小”了。

2) 若搜索域为非对称区间,即预寻优变量 $x_i \in (a, b)$ 或 $[a, b]$ 则令

$$x_i = h(y_i) = y_i(b-a) + a \quad y_i \in (0, 1) \text{ 或 } [0, 1]$$

同理对 y_i 在 $(0, 1)$ 或 $[0, 1]$ 上寻优等价于对 x_i 在 (a, b) 或 $[a, b]$ 上寻优,可以最终得到最优解 x_i ,“缩小”了搜索域。

通过上面的方法达到了“缩小”搜索域但不影响搜索结果的目的,从而加速了全局搜索,最终的目的是提高算法的收敛速度,由3.1 Schaffer's F6函数的仿真结果证明,通过上面的搜索域“缩小”方法,达到了这一目的。需要说明的是,搜索域的“缩小”是笔者针对搜索域比较大的寻优问题而设计的,对搜索域较小的预寻优问题效果并不明显。

2 改进的人工鱼群算法的执行

2.1 公告板^[6]

公告板用来记录最优人工鱼个体的状态。各人工鱼个体在寻优过程中,每次行动完毕就检验自身状态与公告板的状态,如果自身的状态优于公告板状态,就将公告板的状态改写为自身状态,这样就使公告板记录下了历史最优的状态。

2.2 移动策略

根据所要解决的问题性质,对人工鱼当前所处

的环境进行评价,从而选择一种行为。人工鱼首先模拟执行聚群、追尾行为,然后评价行动后的值,选择其中最大者来实际执行,缺省行为方式为觅食行为^[7]。

2.3 改进的人工鱼群算法的执行步骤

Step1 若所要解决的问题的搜索域比较大,则“缩小”搜索域,然后在搜索域内随机产生 N 个人工鱼个体,若所要解决的问题的搜索域不大,则直接在搜索域内随机的产生 N 个人工鱼个体,组成初始群体;

Step2 分别计算各人工鱼状态的食物浓度,选择最大食物浓度的人工鱼个体状态记录到公告板内;

Step3 各人工鱼分别模拟改进聚群行为和追尾行为,缺省行为为觅食行为,然后选择最优的行为作为实际执行行为,并与公告板记录进行比较,若优于公告板记录,则以自身替换公告板记录^[8];

Step4 判断是否满足终止条件,若满足,则输出公告板记录,算法终止,若不满足,则执行 Step3。

3 仿真实例

以下仿真均在 Matlab 7.0 下编程运行。

3.1 仿真实例 1

Schaffer's F6 函数^[9]

$$f(x_1, x_2) = 0.5 + \frac{\sin^2 \sqrt{x_1^2 + x_2^2} - 0.5}{[1.0 + 1.00(x_1^2 + x_2^2)]^2}$$

其中 $-100 \leq x_1, x_2 \leq 100$, 求 $\min f(x_1, x_2)$ 。

该函数有无穷多个极值点,但只有一个 $(0, 0)$ 为全局最小点,函数值为 0。该函数的特点是在其最小值点附近存在一个圈谷,其取值为 0.009 716,从而,在优化中非常容易陷入局部极值陷阱,一般优化方法对此函数很难奏效。因此,该函数已成为测试进化算法效能的一个标准函数,很多研究中被采用。

笔者分别采用人工鱼群算法与改进的人工鱼群算法对该函数进行优化,对结果进行比较。取不同的随机初始群体对函数进行 30 次优化,在给定世代内,若群体中的最优个体的函数值达到给定的阈值,认为算法成功收敛。其中算法中的参数取最大迭代次数为 200,阈值为 0.001,算法中的参数 $N = 100$, $Trynumber = 30$, $\delta = 0.618$,对于 AFSA 取最优参数 $Visual = 10$, $Step = 0.8$,方法 1(方法 1 为在原来人工

鱼群算法的基础上加入了搜索域的“缩小”)和 IAFSA 取最优参数 $Visual = 1$, $Step = 0.05$,计算结果如表 1。然后再分别用 AFSA、方法 1 和 IAFSA 对 Schaffer's F6 函数进行 30 次优化,每次优化均迭代 100 次,得到 30 个最优函数值的平均值及其与函数实际最优值之间的平均误差和标准差,结果见表 2。

表 1 3 种方法的收敛情况比较

算法	AFSA	方法 1	IAFSA
平均迭代次数	200	131.80	23.67
成功收敛到阈值的次数	1	22	30
成功收敛的最小代数	—	37	11

表 2 3 种方法的寻优比较

算法	AFSA	方法 1	IAFSA
平均最优函数值	0.0793	2.4799×10^{-3}	2.0975×10^{-6}
平均误差	0.0793	2.4799×10^{-3}	2.0975×10^{-6}
标准差	0.0732	2.5551×10^{-3}	1.4779×10^{-6}

从表 1 可以看出,搜索域“缩小”以后算法的收敛速度提高了,而且收敛到阈值的成功率也提高了;IAFSA 对 Schaffer's F6 函数在 30 次优化中都能收敛到给定的阈值,说明该算法是收敛的,平均迭代次数和最小成功收敛的代数也明显低于 AFSA,说明该算法具有更快的收敛速度。

从表 2 可以看出,方法 1 的优化结果平均误差和标准差比 AFSA 都要小,而 IAFSA 的优化结果的平均误差和标准差更小,平均误差小说明有更好的局部求精能力,标准差小表明算法有更好的稳定性。

3.2 仿真实例 2

典型的大海捞针类问题(NiH 问题)^[10]。

$$\max f(x, y) = \left(\frac{3.0}{0.05 + (x^2 + y^2)} \right)^2 + (x^2 + y^2)^2, x, y \in [-5.12, 5.12]$$

其中 $(0, 0)$ 为全局极值点,函数值为 3600,4 个局部极值点为 $(-5.12, 5.12)$, $(-5.12, -5.12)$, $(5.12, -5.12)$, $(5.12, 5.12)$,函数值为 2748.78。

与仿真实例 1 一样,笔者采用同样方法对函数进行优化,比较结果如表 3、表 4,AFSA 和 IAFSA 的参数均相同, $Visual = 1$, $Step = 0.005$,其他参数与仿真实例 1 相同。

表3 两种方法的收敛情况比较

算法	AFSA	IAFSA
平均迭代次数	73.03	21.93
成功收敛到阈值的次数	28	30
成功收敛的最小代数	31	9

表4 两种方法的寻优比较

算法	AFSA	IAFSA
平均最优函数值	3599.5005	3599.9926
平均误差	4.9947×10^{-4}	7.4056×10^{-6}
标准差	1.6869	1.6349×10^{-2}

从表3可以看出,IAFSA比AFSA的收敛速度要快,成功率要高。

从表4可以看出,IAFSA比AFSA的求解精度要高,且算法更稳定。

4 结论

笔者通过对AFSA的深入研究,根据AFSA的原理,以及数学里的一些知识,对AFSA进行了改进,用不同的测试函数对IAFSA进行了仿真实验,并与AFSA的结果进行了比较,结果表明IAFSA提高了算法的收敛速度、求解精度和算法的稳定性,但算法收敛性的理论证明尚有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 李晓磊,邵之江,钱积新.一种基于动物自治体的寻优模式:鱼群算法[J].系统工程理论与实践,2002,22(11):32-38.
- [2] WILSON S. The Animal Path to AI[A]. Proceedings of the First International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior[C]. Cambridge: MIT Press, 1991.
- [3] JEFFREY D. Animals and What They can Tell us[J]. Trends in Cognitive Sciences, 1998, 2(2): 60-67.
- [4] BONABEAU E, THERAULAZ G. Swarm Smarts[J]. Scientific American, 2000, 282(3): 72-79.
- [5] 《数学手册》编写组. 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979.
- [6] 李晓磊,路飞,田国会,等. 组合优化问题的人工鱼群算法应用[J]. 山东大学学报(工学版), 2004, 34(5): 64-67.
- [7] 王翠茹,周春雷. 基于人工鱼群算法的0-1背包问题的优化算法及其改进[A]. 2005年中国模糊逻辑与计算智能联合学术会议论文集(下)[C]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2005: 887-891.
- [8] WANG Dong-dong, ZHOU Yong-quan, CAO Dun-qian. Artificial Fish-School Algorithm for Solving Nonlinear Equations[J]. Journal of Information & Computational Science, 2007, 4(1): 255-264.
- [9] 左兴权,李士勇. 一种新的免疫进化算法及其性能分析[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(11): 1607-1609.
- [10] 任子武,伞冶. 自适应遗传算法的改进及在系统辨识中的应用研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(1): 41-43.

(责任编辑 黄颖)