

# 群体智能算法的研究 及MATLAB实现

QUNTI ZHINENG SUANFA DE YANJIU  
JI MATLAB SHIXIAN

程春英 编著



内蒙古出版集团  
内蒙古科学技术出版社

# 群体智能算法的研究及 MATLAB 实现

程春英 编著

内蒙古出版集团

内蒙古科学技术出版社

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

群体智能算法的研究及 MATLAB 实现 / 程春英编著  
—— 赤峰 : 内蒙古科学技术出版社, 2015. 11  
ISBN 978-7-5380-2615-3

I. ①群… II. ①程… III. ①计算机算法—最优化算法—Matlab 软件 IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 273793 号

出版发行: 内蒙古出版集团 内蒙古科学技术出版社

地 址: 赤峰市红山区哈达街南一段 4 号

邮 编: 024000

电 话: (0476)8225264 8224848

邮购电话: (0476)8224547

网 址: [www.nm-kj.com](http://www.nm-kj.com)

责任编辑: 许占武

封面设计: 永 胜

印 刷: 赤峰金源彩色印刷有限责任公司

字 数: 150 千

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 8.125

版 次: 2015 年 11 月第 1 版

印 次: 2015 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 38.00 元

# 前 言

群体智能优化算法是一种新型的最优化算法，是目前最优化算法中最受欢迎的一类算法。群体智能优化算法在没有集中控制并且不提供全局模型的前提下，利用群体的优势来执行搜索任务，因此要比传统的优化方法更快地发现复杂组合优化问题的最优解，为解决复杂问题的最佳方案提供了新的思路。群体智能优化算法发展速度很快并在优化计算、系统工程、模式识别、自动控制、管理工程、电气工程等诸多领域获得了较好的应用。

群体智能优化算法是通过模拟自然界的生物群体行为来实现寻优目的的算法，例如人工鱼群算法、蚁群算法、萤火虫算法、蜂群算法、蝙蝠算法、细菌觅食算法、猫群算法等等都是近几年来研究比较多的优化算法。这些群体智能优化算法已成为仿生计算的重要研究方向并为解决实际问题做出了巨大的贡献，也成了当今群体智能领域的研究热点。

本书介绍了几种近年来比较受欢迎的、实用性较强的群体智能优化算法。

第 1 章，简单介绍了五种应用性较好的群体智能优化算法。

第 2 章，介绍了人工鱼群算法的基本原理，给出了人工鱼群算法的研究进展，最后通过 MATLAB 仿真实验实现了人工鱼群算法在函数优化问题、0/1 背包问题和 TSP 问题中的应用。

第 3 章，介绍了蚁群算法的基本原理，给出了蚁群算法的研究进展，最后通过 MATLAB 仿真实验实现了蚁群算法在机器人路径规划问题和 0/1 背包问题中的应用。

第 4 章，介绍了萤火虫算法的基本原理，给出了萤火虫算法的研究进展，最后通过 MATLAB 仿真实验实现了萤火虫算法在 0/1 背包问题中的应用。

第 5 章，介绍了蝙蝠算法的基本原理，给出了蝙蝠算法的研究进展，最后通过 MATLAB 仿真实验实现了蝙蝠算法在函数优化问题中的应用。

第 6 章，介绍了猫群算法的基本原理，给出了猫群算法研究进展，最后通过 MATLAB 仿真实验实现了猫群算法在函数优化问题中的应用。

由于作者水平有限，书中难免出现不妥及疏漏之处，敬请读者批评指正。

程春英

2015 年 7 月于内蒙古民族大学

# 目 录

第 1 章 绪 论	[ 1 ]
第 2 章 人工鱼群算法	[ 6 ]
2.1 人工鱼群算法简介	[ 6 ]
2.2 人工鱼群算法的研究进展	[ 9 ]
2.3 人工鱼群算法在函数优化问题中的应用	[ 12 ]
2.4 人工鱼群算法在TSP问题中的应用	[ 19 ]
2.5 人工鱼群算法在0—1背包问题中的应用	[ 29 ]
第 3 章 蚁群算法	[ 42 ]
3.1 蚁群算法简介	[ 42 ]
3.2 蚁群算法的研究进展	[ 50 ]
3.3 蚁群算法在机器人路径规划问题中的应用	[ 52 ]
3.4 蚁群算法在 0—1 背包问题中的应用	[ 63 ]
第4章 萤火虫算法	[ 73 ]
4.1 萤火虫算法的简介	[ 73 ]
4.2 萤火虫算法的现状与研究进展	[ 77 ]
4.3 萤火虫算法在0—1背包问题中的应用	[ 80 ]
第5章 蝙蝠算法	[ 91 ]
5.1 蝙蝠算法简介	[ 91 ]
5.2 蝙蝠算法研究进展	[ 93 ]
5.3 蝙蝠算法在函数问题中的应用	[ 96 ]

- 第 6 章 猫群算法 [ 105 ]
  - 6.1 猫群算法简介 [ 105 ]
  - 6.2 猫群算法的研究现状 [ 108 ]
  - 6.3 猫群算法在函数优化问题中的应用 [ 111 ]

# 第 1 章 绪 论

本章介绍了几种实用性较强的新型的群体智能优化算法。

群体智能算法是一种新兴的演化计算技术，已成为越来越多研究者的关注焦点，已经成为了备受重视的研究热点和重要研究方向。由于它与其他传统优化算法相比，不需要梯度，不要求目标函数满足凸条件，具有适应性强、鲁棒性好、适合大规模并行计算等优点。

群体智能算法的研究始于 20 世纪 90 年代，它是受自然界生物群体所表现出的智能现象的启发，通过模拟社会性生物的群体行为而提出的一种随机优化算法。经过将近 20 年的发展，研究人员提出了许多种群智能算法，其中包括蚁群算法、人工鱼群算法、萤火虫算法、猫群算法、蜂群算法和细菌觅食算法和蝙蝠算法等等。其中，蚁群算法和人工鱼群算法是群体智能算法的典型代表，以后提出的诸多群体智能算法都是受到了这两种算法的研究启发。下面对本书涉及的几种算法做一下简单的介绍。

## (1) 人工鱼群算法

人工鱼群算法 (Artificial Fish Swarm Algorithm, AFSA)<sup>[1-2]</sup>是浙江大学的李晓磊博士于 2002 年基于现实环境中的鱼群觅食行为首次提出的一种新型的仿生类群体智能全局优化算法。人工鱼群算法是在解决优化问题的过程中引入了基于生物群体行为的人工智能思想，根据动物行为的适应性、自治性、盲目性和并行性的特点提出的一种全新的智能群体优化方法。人工鱼群算法具有良好的求取全局极值的能力，并具有对初值参数选择不敏感、鲁棒性强、简单易实现等优点。

人工鱼群算法是模拟自然界中鱼的群体觅食行为，通过个体之间的协作使群体达到最优选择的目的。人工鱼群算法采用了自下而上的设计思想，主要利用人工鱼群的觅食、聚群和追尾三种行为，构造了个体的底层行为。每条人工鱼探索它当前所处的环境，选择执行一种行为，通过不断调整自己的位置，最终集结在食物浓度大的区域周围，取得全局最



优解。人工鱼群算法在解决优化问题时，人工鱼存在的环境就是问题的解空间，下一刻的行为取决于目前自身状态和目前环境状态，并且它还通过自身活动来影响环境和其他同伴的活动，进而达到最终寻优的目的。在人工鱼群算法中，聚群、追尾和觅食三种行为是人工鱼的核心行为，控制着人工鱼寻找食物时位置的改变方式，并最终决定人工鱼是否能够找到食物，并对种群的更新起着决定性的作用。而随机行为是执行以上三种行为后适应度值没有得到改善后执行的行为，随机行为不一定向最优解的方向移动，但是随机行为能够帮助种群跳出局部最优值，增加种群的多样性。

目前，人工鱼群算法已经在神经网络、模式识别、参数估计识别、数值优化问题等诸多方面得到了应用，并与其他算法结合解决组合优化问题，得到了社会广泛的认可。

## (2) 蚁群算法

蚁群算法 (Ant Colony Optimization, ACO)<sup>[3-4]</sup>是由意大利学者 Marco Dorigo 受到现实世界中真实蚂蚁的觅食行为的启发，于 1992 年在他的博士论文中首次提出的。蚁群优化算法的基本思想是模仿蚂蚁通过信息素进行通信而显示出的社会性行为。在智能体定义的基础上，由一个贪心法指导下的自催化过程引导每个智能体的行动，它是一种随机的通用试探法。个体行为显得盲目的蚂蚁在组成蚁群后却能产生惊人的自组织行为，在蚂蚁寻找食物过程中，总能找到一条从蚁穴到距离很远的食物之间的最短路径。仿生学家经过研究发现，蚂蚁寻找到食物的原因在于，它在行进觅食的过程中，会不断分泌一种特殊的挥发性物质，称为信息素。信息素主要有两方面的作用，一是蚂蚁之间通过它来相互通信，它可以吸引后来的蚂蚁沿信息素浓度高的路径行进；二是信息素的挥发作用，这使得寻找路径初期的距离较长的路径和长期没有经过的路径对蚂蚁的影响逐渐减小。由大量蚂蚁组成的蚁群的集体行为表现出了一种信息正反馈现象，某一路径上走过的蚂蚁越多，后来者选择该路径的概率就越大，蚂蚁之间就是通过这种信息的交流，最终可沿着最短路径行进。

蚁群算法具有天然的适用于组合优化问题的特点。所以它一经提出，就引起了诸多学者积极的关注，提出了许多改进的算法，并将其应用到解决实际工程问题中。

## (3) 萤火虫算法

萤火虫算法 (Glowworm Swarm Optimization, GSO)<sup>[5-7]</sup>是由印度学者 Krishnanand 和 Ghose 于 2005 年在研究改进的 ACO 解连续型最优化问题时首次提出的一种启发式群体智能算法。该算法思想来源于萤火虫求偶行为中荧光素越高，吸引力越强的生物习性。

自然界中的萤火虫都会发出特有的闪光信号来确定位置吸引异性，这种闪光信号就是短促并有节奏的荧光。萤火虫借助荧光来完成觅食、警戒和求偶繁殖等行为。萤火虫算法就是模拟自然界中萤火虫发光行为结构构造出的一种随机优化算法，算法中利用萤火虫的发光特性在其邻域内寻找同伴，并向邻域内位置最好的萤火虫方向移动，从而实现位置更新过程。

萤火虫算法的仿生原理是：用搜索空间中的点模拟自然界中的萤火虫个体，将搜索和优化过程模拟成萤火虫个体的吸引和移动过程，将求解问题的目标函数度量成萤火虫个体所处位置的优劣，将萤火虫个体的优胜劣汰过程类比为搜索和优化过程中用好的可行解取代较差的可行解的迭代过程。

目前，萤火虫算法在多模态函数优化、多信号源定位、集体机器人学和有害气体泄漏定位等方面得到了成功的应用。

#### （4）蝙蝠算法

蝙蝠算法（Bat Algorithm, BA）<sup>[8]</sup>是 Xin Sheyang 教授于 2010 年根据模拟蝙蝠采用回声定位进行捕食原理而提出的一种基于群体智能的新型启发式搜索算法，是一种搜索全局最优解的有效方法。蝙蝠算法在解决优化问题时将优化问题解作为搜索空间中的一个蝙蝠，每个蝙蝠都有对应适应度值，蝙蝠群体通过调整频率、响度、脉冲发射率跟随当前最优蝙蝠在解空间中进行搜索。蝙蝠算法的仿生原理是：首先将蝙蝠个体映射到搜索空间中的一些点，将搜索空间中的蝙蝠个体所处的位置度量为求解问题的适应度函数值，将算法搜索过程模拟成蝙蝠个体搜寻猎物和移动过程。

蝙蝠算法一经提出，就引起了诸多学者积极的关注，并且已经成功地应用到数值优化问题、背包问题、旅行商问题、PFSP 问题、工程优化问题等诸多领域。

#### （5）猫群算法

猫群算法（Cat Swarm Optimization, 简称 CSO）是由我国台湾的 Shu chuanchu<sup>[9-10]</sup>在 2006 年通过观察猫在日常生活中的行为动作提出的一种全局优化算法。猫在日常生活中，总是喜欢躺在某处不动，经常花费大量的时间处于休息状态，这种猫在懒散环顾四周的行为称之为搜寻模式。即使在这种情况下，它们也时刻保持高度的警惕性，一旦发现目标便进行跟踪，并且能快速地捕获猎物，这种猫在跟踪状态的行为称之为跟踪模式。猫群算法是通过这两种模式进行寻优的。

在猫群算法中，猫就是待求的优化问题的可行解。猫群算法中将猫的行为模式分为两种，一种是搜寻模式，另一种是跟踪模式。为了更好地模拟真实世界的猫的行为，整个猫群中的大部分的猫执行搜寻模式，其他少部分执行跟踪模式。

在搜寻模式下，猫群的行为较为懒散，但是它们也时刻关注着周围的情况，对于活动的目标具有强烈的好奇心，以锁定目标猎物的位置，寻找下一个转移地点。猫群在搜寻模式下，先复制自身的位置，再将复制的位置放到记忆池中，通过改变记忆池中复制的副本，使所有副本都能到达一个新的位置点，从中选取一个适应度值最高的位置来代替它的当前位置，有很好的竞争机制。

猫群算法中的跟踪模式类似于粒子群算法，在每一次迭代中，猫将跟踪一个当前最优值来更新自己，这个当前最优值是目前整个种群找到的最优解，使得猫的移动方向向着全局最优解逼近，利用全局最优解的位置来更新猫的位置，因此具有学习机制。目前，猫群算法主要应用于函数优化问题，并取得了很好的效果。

目前群体智能算法还存在一些不足之处，有待于进一步的研究探讨。群体智能算法的理论基础还比较薄弱，缺乏精确意义上的理论定义。算法中的参数都是按照经验值来确定的，没有确切的理论依据，对于不同的问题值的选取差别很大，对解决的问题本身的依赖性很大。因此对仿生智能优化算法本身的理论研究和实际应用都是有着重大意义的。

## 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. 系统工程理论与实践, 2002, 22(11):2-38.
- [2] 李晓磊. 一种新型的智能优化算法——人工鱼群算法[D]. 杭州:浙江大学, 2003.
- [3] M Dorigo , L M Gambardella. Ant colony system: A cooperative learning approach to TSP.IEEE Tran .Evol .Comput , 1997, 1(1):53-66.
- [4] M Dorigo , T Stutzle .Ant colony optimization .MIT Press, 2004.
- [5] Krishnanand K N,Ghose D. Detection of multiple source locations using a glowworm metaphor with applications to collective robotics[C]//Swarm Intelligence symposium , 2005. SIS 2005. Proceedings 2005 IEEE. IEEE, 2005:84-91.

[6] Krishnanand K N, Ghose D. Glowworm swarm based optimization algorithm for multimodal functions with collective robotics applications [J]. Multivalent and Grid Systems, 2006:209–222.

[7] Krishnanand K N, Ghose D. Glowworm swarm optimization for simultaneous capture of multiple local optima of multimodal functions[J]. Swarm Intelligence, 2009, 3(2):87–124.

[8] YANG X S. Nature inspired meta-heuristic algorithms[M]. 2nd ed. Frome, UK: luniver Press, 2010:97–104.

[9] Santosa Budi, Ningrum Mirsa Kencana. Cat swarm optimization for Clustering [A]. International Conference on Soft Computing and pattern Recognition, SoCpaR 2009[C]. Piscataway, USA: IEEE Computer Society, 2009:54–59.

[10] Liu yongguo, Shen yidong. Data clustering with cat swarm optimization[J]. journal of Convergence Information Technology, 2010, 5(8).

## 第 2 章 人工鱼群算法

本章,介绍了人工鱼群算法的基本原理,然后介绍了人工鱼群算法的一些改进算法,最后通过 MATLAB 仿真实验实现了人工鱼群算法在函数优化问题、TSP 问题和 0/1 背包问题中的应用。

### 2.1 人工鱼群算法简介

#### 2.1.1 引言

人工鱼群算法(Artificial Fish Swarm Algorithm, AFSA)<sup>[1-5]</sup>是李晓磊等人于 2002 年在对现实环境中的鱼群行为研究的基础上提出的一种新型仿生类群体智能全局优化算法,该算法采用自上而下的设计思想,主要利用鱼群的三大基本行为分别为觅食行为、聚群行为和追尾行为,构造了个体的底层行为,通过鱼群中个体的局部寻优来达到最终寻优的目的。

在人工鱼群算法中,聚群行为、追尾行为和觅食行为是算法中的核心操作,控制人工鱼寻找食物时的位置的改变方式,并最终决定人工鱼是否能够寻找到的食物,对种群的更新起决定性的作用。而随机行为是执行上述三种行为后的适应度都不能得到改善后执行的行为,它可有效地跳出局部最优,增加种群的多样性。

人工鱼群算法具有较好的求解全局极值的能力,并具有对初值参数不敏感、分布式计算机制、较强的鲁棒性、简单易实现等优点。目前该算法已经应用到神经网络、参数估计辨识、模式识别等多个领域。以下为人工鱼几种典型的行为描述:

#### (1) 鱼的觅食行为

平时鱼会在水中自由自在地游来游去,这一般可视为一种随机移动,当发现食物时,会朝着食物多的方向快速游去。在寻优过程中,人工鱼根据自身的位置,经过很多次的试探后,在感知范围内找到比当前位置更优的位置。

#### (2) 鱼的聚群行为

鱼在游动过程中会自然地聚集成群，这也是为了保证群体的生存和躲避危害而形成的一种生活习性。鱼游动时尽量避免与临近伙伴过于拥挤，尽量保持与临近伙伴的平均方向一致的方向游动且朝临近伙伴的中心方向移动。因此聚群行为能够使人工鱼向感知范围内的鱼群中心聚集。

### (3) 鱼的追尾行为

在鱼群的游动过程中，当其中一条或几条鱼发现食物时，其临近的伙伴会尾随并快速到达食物多的地方。追尾行为加快了人工鱼向更优位置的游动，同时能促使陷于局部最优解的人工鱼向更优的方向移动，从而提高解的质量。

人工鱼群算法具有较强的鲁棒性、优良的分布式计算机制、易于和其他方法结合等优点。目前对该算法的研究、应用已经渗透到多个应用领域，并由解决一维静态优化问题发展到解决多维动态组合优化问题。

## 2.1.2 相关定义

人工鱼个体的状态可表示为向量  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，其中  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$  为欲寻优的变量，人工鱼当前所在位置的食物浓度表示为  $Y = f(X)$ ，其中  $X$  为目标函数值，人工鱼个体之间的距离表示为  $d_{ij} = \|X_i - X_j\|$ ， $Visual$  表示人工鱼的感知距离， $Step$  表示人工鱼移动的步长， $\delta$  表示拥挤度因子。

### (1) 行为描述

#### ① 觅食行为

设人工鱼当前状态  $X_i$ ，在其感知范围内随机选择一个状态  $X_j$ ，如果在求极大问题中， $Y_i < Y_j$ （或在求极小问题中， $Y_i > Y_j$ ，因极大和极小问题可以互相转换，所以以下均以求极大问题讨论），则向该方向前进一步。反之，再重新随机选择状态  $X_j$ ，判断是否满足前进条件，反复几次后如果仍不满足前进条件，则随机移动一步。

#### ② 聚群行为

设人工鱼当前状态为  $X_i$ ，探索当前邻域内(即  $d_{ij} < Visual$ ) 的伙伴数目  $n_f$  及中心位置  $X_c$ ，如果  $Y_c / n_f > \delta Y_i$ ，则表明伙伴中心有较多的食物并且不太拥挤，则朝伙伴的中心位置方向前进一步，否则执行觅食行为。

#### ③ 追尾行为

设人工鱼当前状态为  $X_i$ ，探索当前邻域内的伙伴中  $Y_j$  为最大的伙伴  $X_j$ ，如果  $Y_j / n_f > \delta Y_i$ ，则表明伙伴  $X_j$  的状态具有较高的食物浓度并且其周围不太拥挤，则朝伙

伴  $X_j$  的方向前进一步，否则执行觅食行为。

#### ④随机行为

随机行为的实现较简单，就是在视野中随机选择一个状态，然后向该方向移动，其实它是觅食行为的一种缺省行为。

#### (2) 行为选择

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  $L$ 。如对于求极大值的问题，最简单的评估方法可以用试探法。就是模拟执行聚群行为、追尾等行为，然后评价行动后的值，选择其中的最大者来实际执行，缺省的行为方式为觅食行为。

### 2.1.3 人工鱼群算法的应用

人工鱼群算法被提出以后，很多学者对其进行了研究，将人工鱼群算法应用到新的领域，并解决新的问题。

#### (1) 神经网络

神经网络 (Neural Network ,NN) 称为人工神经网络，是科学家们在对生物的神经元、神经系统等生理学的研究取得了突破性进展以及对人脑的结构、组成和基本工作单元有了进一步认识的基础上，通过借助数学和物理的方法从信息处理的角度对人脑神经网络进行抽象后建立的简化模型。

文献[6]提出将人工鱼群算法应用到神经网络的结构优化和特征选择中，减少了运算量，泛化能力也得到了增强。

文献[7]将人工鱼群算法用于三层前向神经网络的训练过程，建立了相应的优化模型。

文献[8]提出了人工鱼群算法优化 BP 神经网络的速度辨识器，实现了人工鱼群算法的全局搜索能力与 BP 算法的局部寻优性能的互补结合。

#### (2) 数值计算

文献[9]提出了一种基于人工鱼群算法的近似求导算法，为工程和科学近似提供了一种新的求导方法。

文献[10]提出了一种基于人工鱼群算法的优化分割数值积分算法，该算法不仅能求解通常意义下的函数的数值积分，还能计算奇异函数的数值积分。

#### (3) 通信领域

文献[11]表明基于鱼群算法的多用户检测器在误码率、抗远近效应和收敛速度上的性

能都明显优于遗传算法和粒子群算法的多用户检测器。

文献[12]将人工鱼群算法用于小波包多载波系统多用户检测,采用自适应步长、自适应视野和生存竞争机制等方法取得令用户满意的检测效果。

#### (4) 数据挖掘

在数据挖掘的理论研究与应用中,预测模型的研究是一个重要的问题,而分类是预测的手段之一

文献[13]采用具有吞食行为的改进鱼群算法并结合模糊 C-均值算法进行分类,可有效克服模糊 C-均值聚类算法依赖初值问题及易陷入局部极值的问题。

文献[14]通过分析 K-均值算法的优缺点,将人工鱼群算法与传统的 K-均值算法结合而得到一种新的混合聚类算法,达到了较好的聚类效果。

## 2.2 人工鱼群算法的研究进展

本节介绍了人工鱼群算法的一些改进的算法<sup>[15]</sup>,并展望了人工鱼群算法的发展方向。

基本人工鱼群算法在解决实际问题时还有一些不足,例如人工鱼步长与视野对算法的收敛速度和收敛精度影响很大,若设置不当会陷入局部极值或者达不到较优的精度。在鱼群算法的觅食行为中,当人工鱼个体没有找到较优状态时,会随机选择一个新的状态,没有充分利用前面已经得到的有利信息,从而导致计算量增加和收敛速度减慢。近年来,关于人工鱼群算法的研究主要集中在参数的改进、行为的改进和与其他算法结合使用等方面上。

### 2.2.1 算法参数的改进

人工鱼群算法中的参数比较多,有人工鱼群的群体数目,拥挤度因子,视野和步长等。其中有些参数可以通过数值实验的方法来确定它的大致范围,也有些参数会直接影响算法的性能。

#### (1) 基于步长的改进

王西邓<sup>[16]</sup>等人提出了对步长进行改进策略,一种是移动步长缩减策略,另一种是移动步长动态调整策略。移动步长缩减策略就是通过缩减移动步长,限制普通种群人工鱼的随机跳动,对全局极值域进行更加精细的搜索,最终获得全局极值。

Shan<sup>[17]</sup>等人提出了一种引入觅食步长参数的算法,算法在保留基本人工鱼群算法原有移动步长随机性的同时,根据觅食步长调整其移动的距离跨度。

Wang<sup>[18]</sup>等人提出了一种去除步长限制的人工鱼群算法,其基本思路就是将人工鱼群算



法的实际步长改为参数定义域内的随机数, 以保证更好的全局搜索能力。

### (2) 基于感知范围和步长的改进

刘彦君<sup>[19]</sup>等人提出使每条人工鱼都能根据群的状态自动地选择并适当调整自身的感知范围和步长, 从而提高收敛速度和寻优精度。实验结果表明, 改进后的人工鱼群算法, 在寻优精度、收敛速度及克服局部极值的能力方面均有所提高。

王联国等人<sup>[20]</sup>提出了动态调整人工鱼的感知范围和步长, 在算法初期使用较大的感知范围和步长, 使人工鱼在更大的范围内进行搜索, 增强算法的全局搜索能力。随着搜索的进行, 感知范围和步长逐步减少, 在算法后期逐步演化为局部搜索, 定位在最优解附近进行精细搜索, 从而达到算法的局部搜索能力和寻优结果精度的提高。

Yu<sup>[21]</sup>等人提出了一种对人工鱼群的感知范围的改进方法。此方法在人工鱼群算法的初始阶段, 每条人工鱼以一个大范围的感知范围进行搜索, 这样可以扩大寻优的范围。随着算法的进一步运行, 人工鱼群的感知范围将适当地减小以加快收敛的速度。

### (3) 对于拥挤度因子的改进

张英杰<sup>[21]</sup>等人提出了一种基于参数动态调整的改进人工鱼群算法。动态调整视野和拥挤度因子以提高算法的搜索效率。

Xiao<sup>[23]</sup>等提出了一种对步长和拥挤度因子进行适当的自行调整, 以达到提高收敛精度目的的自适应人工鱼群算法。

## 2.2.2 对行为的改进

### (1) 对觅食行为的改进

范玉军<sup>[24]</sup>等人提出了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, 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。

张严<sup>[25]</sup>等人提出了一种改进的人工鱼群算法, 对其觅食行为、追尾行为与移动策略进行了改进。

## 2.2.3 人工鱼群算法与其他算法相结合

罗德相<sup>[26]</sup>等人提出了一种基于粒子群和人工鱼群混合的优化算法, 并用于求解具有变量边界约束的、非线性复杂函数最优化、求解复杂化学方程根的问题。