

文章编号:2095-7386(2019)04-0040-05

DOI:10.3969/j.issn.2095-7386.2019.04.009

基于变步长鱼群算法的农业机电设备优化设计

李 智

(武汉轻工大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430023)

摘 要:在分析和研究鱼群算法理论的基础上,运用鱼群算法及变步长自适应改进型鱼群算法,分别以继电器和减振弹簧作为仿真对象,对继电器体积、减振弹簧疲劳安全系数、弹簧质量及自振频率等多目标进行优化设计。仿真结果表明:使用鱼群算法和改进型算法优化,对于继电器,在保证可靠性和安全性的前提下,继电器体积分别减小36.41%和44.51%;对于减振弹簧,在满足多目标的前提下,得到了最佳的弹簧丝径、中径和工作圈数。有效证明了鱼群算法及其改进型算法用于此类问题求解的可行性。

关键词:鱼群算法;变步长;优化设计;电磁继电器;减振弹簧

中图分类号:TP 18

文献标识码:A

Agricultural mechanical and electrical equipment optimization based on changing-step fish swarm algorithms

LI Zhi

(School of Electrical and Electronic Engineering, Wuhan Polytechnic University Wuhan 430023, China)

Abstract:Based on fish swarm algorithms, improved fish swarm algorithms regarding self-adaptive and changing-step are used in optimization of electromagnetic relay, which takes the size as target function. Also the optimization simulation includes the damping spring, which takes the fatigue safety coefficients, mass and natural frequency as target function. The simulations show that the size of the relay is reduced by 36.41% and 44.51% respectively under fish swarm algorithms and the improved algorithms, and reliability and safety are guaranteed. As for the spring, the diameter, middle diameter and working numbers of coils are optimized under the multiple targets. It proved that fish swarm algorithms and its improved algorithms are practical in solving such problems.

Key words:fish swarm algorithms; changing-step; optimization; electromagnetic relay; damping spring

1 引言

鱼群算法(Fish Swarm Optimization)是国内学者李晓磊^[1]在2001年,根据人工鱼喜好往营养物质丰富的水域游动觅食的思想,提出的一种仿生物智能算法。该算法不依赖函数梯度等信息,简单实用效率高,利用个体智能实现全局寻优。

随后,众多学者又相继对该算法进行了改进和研究,并应用于一些相关领域的优化问题求解,取得一些成功案例。如胡瑾等^[2]将鱼群算法应用到番茄光环境调控目标值的建立;范政武等^[3]应用改进鱼群算法对车辆平顺性进行优化分析;丁红等^[4]应用鱼群算法对三江平原投影寻踪旱情进行评价;张红涛等^[5]通过鱼群算法对储粮害虫特征进行选择分

收稿日期:2019-06-12.

作者简介:李智(1964-),男,博士,教授,E-mail:lizhihb@aliyun.com.

析;辛萍萍等^[6]运用支持向量机的鱼群算法对 CO_2 进行优化调控建模……这些应用都取得一些成功,同时一些应用也遇到一些问题,如早熟收敛、后期搜索的盲目性以及人工鱼处于漫游状态下收敛速度的降低等。

针对这些问题,也有很多学者提出了一些针对性的策略,诸如朱旭辉等提出变步长自适应策略^[7];洪兴福等^[8]改进求解复杂的优化问题;刘东林等^[9]、梁毓明等^[10]、袁光辉等^[11]学者也分别提出不同的混合算法策略,力求从不同角度解决鱼群算法在实际应用中存在的不足。

2 鱼群算法

根据人工鱼在水中能够感知营养丰富食料的位置信息,通过个体的智能作出觅食的选择这一习性。鱼群算法依据鱼在水中觅食、聚群、追尾和随机性等状态,将这些鱼的运动状态与优化问题的解状态相结合,从而实现待优化问题的寻优。

在实现鱼群算法之前,先定义如下条件:

n 维目标搜索空间中,存在 N 条人工鱼群体,每条人工鱼的个体状态表示为 $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]$,其中 x_i 为待优化变量。人工鱼当前位置食物环境(即食物的多少)为目标函数 $Y=F(X)$ 。人工鱼两个状态之间的游动距离 $d_{ij}=\|X_i-X_j\|$, $Visual$ 表示人工鱼的感知范围, $Step$ 表示人工鱼移动步长, λ 表示人工鱼游动时拥挤程度因子, $Rand()$ 表示随机数, $trynum$ 表示尝试次数。鱼群算法的算法实现如下。

2.1 觅食行为

选择开始觅食游动的人工鱼一个初始随机位置状态,这个随机位置状态对应优化问题的初始随机解 X_i 。在人工鱼感知范围内,当鱼游动到下一个状态 X_j ,会通过感知判断此位置与前一个状态位置的食物多少,如果食物减少则放弃,感知食物增加则继续向食物方向靠近。此过程对应优化问题则是将目前的状态解与前一状态解相比较,求出相应的目标函数,优于此前的就保留此状态,再继续移动一步进入下一个状态,反之,随机移动一步。

数学描述为:

$$X_j = \begin{cases} X_i + Rand * Step * \frac{X_j - X_i}{\|X_j - X_i\|}, & Y_i > Y_j, \\ X_j + Rand * Step, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

2.2 聚群行为

聚群行为是指人工鱼搜索其感知范围内的伙伴数目及中心位置,如果伙伴所在的位置状态较优,而且不太拥挤,则人工鱼就朝着伙伴所在的中心位置移动一步,否则执行觅食行为。

如果当前人工鱼状态为 X_i ,目标函数为 Y_i ,鱼群数目为 N ,中心位置为 X_z 。当中心位置不太拥挤时,即 $Y_z/N > \lambda Y_i$,则人工鱼向中心位置移动一步;反之,执行觅食行为。

数学描述为:

$$X_j = \begin{cases} X_i + Rand * Step * \frac{X_j - X_i}{\|X_j - X_i\|}, \\ Y_z/N > \lambda Y_j, \\ prey(X_i). \end{cases} \quad (2)$$

2.3 追尾行为

当人工鱼状态为 X_i ,搜索其感知范围内的食物浓度最大的伙伴位置时,感知到其周围不太拥挤,则人工鱼向该伙伴追尾靠近,移动一步;反之,执行觅食行为。

数学描述为:

$$X_j = \begin{cases} X_i + Rand * Step * \frac{X_{max} - X_i}{\|X_{max} - X_i\|}, \\ Y_{max}/N > \lambda Y_j, \\ prey(X_i). \end{cases} \quad (3)$$

在上述 3 个行为发生过程中,还伴随着随机行为和约束行为,使得所发生的人工鱼行为状态为可行状态,即对应优化问题所得解为可行解。

鱼群算法每一步的适应值即目标函数,都存放在一个公告板里,其作用是记录每一步的状态,并通过此公告板的不断更新,最终记录的就是所要求的最佳状态。

3 继电器优化设计模型

继电器是农业电气控制系统不可缺少的电气产品,是具有隔离功能的自动开关元件。在本文中,以直流拍合式电磁继电器为例进行优化设计,设计过程主要考虑继电器工作的可靠性、安全性,同时要保证继电器可靠吸合,吸力和反力特性要有良好配合,以及避免线圈温升过大。继电器结构图如图 1 所示。

取继电器体积 V 为目标函数:

$$\begin{aligned} \text{Min } V = & T \left(\frac{\delta_0}{x_1} \right)^3 \left[x_3 x_2^2 + \frac{(x_4^2 - 1)(x_4^2 + x_5)}{2x_4^2} \right] + \\ & x_5 (3x_2 + T \frac{x_5}{x_2} + x_3 + x_4), \end{aligned} \quad (4)$$

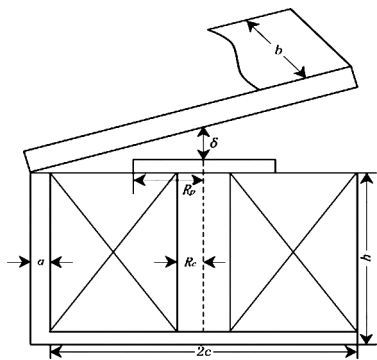


图1 继电器结构图

约束条件主要考虑:

1) 继电器最高温升限定 $T_m = 60\text{ }^\circ\text{C}$;

2) 当气隙 $\delta = \delta_0$ 时, 吸力 F_0 大于反力 $F_{f0} = 24.4\text{ N}$; 当气隙 $\delta = \delta_1$ 时, 吸力 F_1 大于反力 $F_{f1} = 36.0\text{ N}$ 。

$$\text{S. t. } F_0 = \frac{1}{2} (IN)^2 \mu_0 T \frac{2x_2(x_2 - \sqrt{x_2^2 - 1})}{x_1^2} > F_{f0}. \quad (5)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} (IN)^2 \mu_0 T \left(\frac{\delta_0}{\delta_1} \right)^2 \times \frac{2x_2(x_2 - \sqrt{x_2^2 - 1})}{x_1^2} > F_{f1}. \quad (6)$$

$$T = (K_N IN)^2 \frac{\rho_T}{2K_T k_t \delta_0^2} \times \frac{(x_2^2 - 1)x_1^2}{(x_2 + k_\beta)(x_2 - 1)x_3^2} < T_m. \quad (7)$$

$$x_i > 0, i = 1, 2, \dots, 5. \quad (8)$$

式(4)~(8)中, x_i 为优化变量, 取值为以铁心半径为基本尺寸, 极靴半径、线圈外半径、线圈高度等对铁心半径的相对值, 即

$$x_1 = \frac{\delta_0}{R_c}; x_2 = \frac{c}{R_c}; x_3 = \frac{h}{R_c};$$

$$x_4 = \frac{R_p}{R_c}; x_5 = \frac{A_e}{A_c}.$$

A_e — 继电器轭铁截面积(mm^2);

A_c — 继电器铁心截面积(mm^2);

IN — 线圈磁势(A);

μ_0 — 真空中的磁导率($\mu\text{H/m}$);

k_β — 线圈内表面与外表面散热率之比;

K_T — 线圈表面综合散热系数($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);

K_N — 线圈电压转换成额定电压, 热态线圈 IN 转化成冷态线圈 IN 需乘上的系数;

k_t — 线圈填充系数。

4 振动筛减振弹簧模型

振动筛是农业上常见的用作物料的分级、洗涤、脱水、脱介的筛分机械。在本文中, 以文献^[13]所给出的直线型振动筛减振弹簧为例进行优化设计。目标函数以疲劳安全系数、弹簧的质量以及弹簧的自振频率为考虑因素^[14]。设计变量取弹簧的丝径 d , 中径 D 和工作圈数 n , 即

$$X = [d, D, n] = [x_1, x_2, x_3]. \quad (9)$$

约束条件主要考虑弹簧的强度、刚度、稳定和旋绕比等性能条件, 以及丝径、外径边界、工作圈数及压并高度边界等边界条件。

4.1 目标函数

目标函数由三部分组成, 该优化设计是一个多目标的优化。

4.1.1 疲劳安全系数最大化

为保证弹簧的疲劳安全系数满足要求, 取疲劳安全系数的倒数最小化。

$$\text{Min } f_1(x) = \tau_2 / (\tau_0 + 0.75\tau_1). \quad (10)$$

τ_0 — 脉动疲劳极限(MPa);

τ_1 — 最小工作载荷下的切应力(MPa);

τ_2 — 最大工作载荷下的切应力(MPa)。

4.1.2 弹簧质量较轻

$$\text{Min } f_2(x) = \pi^2 \rho x_1^2 x_2 (x_3 + n_1) / 4. \quad (11)$$

n_1 — 弹簧的支撑圈数。

4.1.3 自振频率较大

作为一端固定, 另一端转动的钢制弹簧, 要求其自振频率的倒数最小化。

$$\text{Min } f_3(x) = \frac{x_3 x_2^2}{1.78 \times 10^5 x_1}. \quad (12)$$

4.2 约束条件

约束条件分为性能和边界两个部分。

4.2.1 性能约束部分

1) 强度约束, 最大工作载荷下的应力值低于其许用应力值:

$$\frac{12.8}{\pi} x_1^{-2.86} x_2^{0.14} - 392 \leq 0. \quad (13)$$

2) 刚度约束, 弹簧刚度与设计要求的误差小于十分之一:

$$G x_1^4 x_2^{-3} x_3^{-1} / 8 - 186.021 \leq 0. \quad (14)$$

$$152.199 - G x_1^4 x_2^{-3} x_3^{-1} / 8 \leq 0. \quad (15)$$

G — 切变模量(MPa)。

3) 稳定性约束, 弹簧的高径比小于许用高径比:

$$0.3x_2 x_3 + 1.5x_1 - 3.7x_2 \leq 0. \quad (16)$$

4) 旋绕比约束, 弹簧的旋绕比设计在 6—14 范围内:

$$x_2/x_1 - 14 \leq 0. \tag{17}$$

$$6 - x_2/x_1 \leq 0. \tag{18}$$

4.2.2 边界约束部分

1) 弹簧丝径约束, 满足 d 在 10—28 mm 之间;

$$10 - x_1 \leq 0. \tag{19}$$

$$x_1 - 28 \leq 0. \tag{20}$$

2) 压并高度约束, 为避免在最大工作载荷情况下发生并圈, 要求最大工作载荷下的高度必须大于压并高度:

$$x_1 x_3 - 0.5 x_1 - 347.65 \leq 0. \tag{21}$$

3) 弹簧外径约束, 外径范围在 60—160 mm 之间:

$$x_2 + x_1 - 160 \leq 0. \tag{22}$$

$$60 - x_1 - x_2 \leq 0. \tag{23}$$

4) 工作圈数约束, 工作圈数 n 满足在 2—15 之间:

$$2 - x_3 \leq 0. \tag{24}$$

$$x_3 - 15 \leq 0. \tag{25}$$

5 算法改进及优化仿真

由于常规鱼群算法的步长选取是固定的, 即使寻优到接近优化点附近也是如此, 容易在接近优化值附近形成反复徘徊, 从而出现该位置的震荡现象, 导致收敛慢。在程序编制过程中, 在原算法的基础上考虑设计变步长自适应机制, 在靠近优化点附近相应减小步长。同时考虑以一定概率接受目标函数次之的新解, 以避免陷入局部最优, 从而提高寻优精度。

程序编制中, 人工鱼感知范围 $Visual$ 取 10, 尝试次数 $trynum$ 取 10, 人工鱼总数 N 取 50, 拥挤程度因子 λ 取 0.618。移动步长 $Step$ 分为两种情况进行选取, 原算法仿真时 $Step$ 取 1.2, 变步长时, 按照接近优化点附近再采用的原则, 设定步长为 $Step = Rand * \|X_j - X_i\|$, $Rand()$ 函数防止收敛过快而陷入局部最优解。两种选取方式, 即保证在远离优化点之外寻优的快速性, 又保证了在优化点附近寻优的精确性。

分别运用基本鱼群算法和变步长自适应鱼群算法做实例仿真。

仿真过程中, 继电器参数 μ_0 取值 1.256; k_β 取值 0.9; 气隙 $\delta_0 = 0.005$ m; $\delta_1 = 0.002$ m; k_t 取值 0.5; K_T 取值 11.8; K_N 取 1。

按文献[14]中的弹簧设计手册设计要求, 设振动筛减振弹簧最小工作载荷为 7 382 N, 最大工作载荷为 8 853 N, 工作频率为 17 Hz, 许用应力 392 MPa, 减振弹簧参数切变模量 G 取 8×10^4 MPa, 弹簧的支撑圈数 n_1 取 2, 疲劳安全系数 ≥ 1.2 , 自振频率大于 2 倍的工作频率。继电器仿真结果如表 1 所示。减振弹簧仿真结果如表 2 所示。

表 1 继电器优化仿真结果

项目	原尺寸	原算法	变步长算法
铁芯半径/mm	13.20	13.70	14.09
极靴半径/mm	19.80	21.79	17.70
线圈半径/mm	26.50	16.50	13.69
线圈高度/mm	76.50	57.00	61.88
体积/cm ³	346.00	220.00	192.00

表 2 减振弹簧优化仿真结果

项目	原算法	变步长算法
弹簧丝径/mm	21.09	21.10
中径/mm	131.99	132.00
工作圈数/mm	4.62	4.64
疲劳安全系数	1.35	1.35
结构重量/N	74.01	73.8
自振频率/Hz	45.33	46.27

作为机械产品, 做出优化设计后, 如要进行生产制造, 后续要进行取整处理。

6 结束语

从优化仿真结果可知, 运用鱼群算法和改进后的变步长自适应算法, 在保证可靠性和安全性的前提下, 使得继电器体积分别减小 36.41% 和 44.51%, 优化效果明显; 在对振动筛的减振弹簧的设计中, 在满足多目标的前提下, 得到了最佳的弹簧丝径、中径和工作圈数的优化值。

随着鱼群算法在不同领域的应用不断拓宽^[15-19], 对其改进和应用也不断深入^[20-21]。由于鱼群算法简单易行, 且改进后效果较为理想, 继续研究与其它算法的深度切合, 深入探讨该算法的应用空间, 可以有效的用于其它优化问题的求解。

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] 胡瑾, 闫柯, 何东健, 等. 基于改进型鱼群算法

- 的番茄光环境调控目标值模型[J]. 农业机械学报, 2016, 47(1): 260-265.
- [3] 范政武, 王铁, 陈峙. 基于人工鱼群算法的车辆平顺性优化分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6): 107-114.
- [4] 丁红, 刘东, 李陶. 基于改进人工鱼群算法的三江平原投影寻踪旱情评价模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 84-88.
- [5] 张红涛, 毛罕平, 张晓东. 基于人工鱼群算法的储粮害虫特征选择[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2010, 31(5): 502-505.
- [6] 辛萍萍, 张珍, 王智永, 等. 基于支持向量机-改进型鱼群算法的 CO_2 优化调控模型[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 249-256.
- [7] 朱旭辉, 倪志伟, 程美英. 变步长自适应的改进人工鱼群算法[J]. 计算机科学, 2015, 42(2): 210-216, 246.
- [8] 洪兴福, 胡祥涛. 一种求解复杂优化问题的新型人工鱼群算法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(14): 40-45.
- [9] 刘东林, 李乐乐. 一种新颖的改进人工鱼群算法[J]. 计算机科学, 2017, 44(4): 281-287.
- [10] 梁毓明, 裴兴环. 粒子群优化人工鱼群算法[J]. 计算机仿真, 2016, 33(6): 213-217.
- [11] 袁光辉, 樊重俊, 张惠珍, 等. 一种新的粒子群算法与人工鱼群算法的混合算法[J]. 上海理工大学学报, 2014, 36(3): 223-226.
- [12] 庞玲玲, 汪友华, 陈堂功, 等. 群体消亡粒子群优化算法在继电器优化设计中的应用[J]. 低压电器, 2011(5): 1-4.
- [13] 王新亚, 吕兴坤, 刘云飞, 等. 振动筛减振弹簧多目标优化设计[J]. 工程机械, 2016, 47(1): 38-41.
- [14] 徐灏. 机械设计手册: 第二卷[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [15] 朱维娜, 林敏. 基于人工鱼群算法的轴承故障随机共振自适应检测方法[J]. 振动与冲击, 2014, 33(6): 143-147.
- [16] 杨柳, 汪妮, 解建仓, 等. 基于改进人工鱼群算法的灌区优化配水研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(6): 189-195.
- [17] 刘志君, 高亚奎, 章卫国, 等. 混合人工鱼群算法在约束非线性优化中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(9): 55-60.
- [18] 马炫, 刘庆. 基于人工鱼群算法的多播树演化寻优[J]. 通信学报, 2012, 33(9): 1-7.
- [19] 郭惠勇, 宋小辉, 李正良. 基于改进人工鱼群算法的输电塔塔腿拓扑优化[J]. 振动与冲击, 2017, 36(4): 52-58.
- [20] Yu Y, Tian Y F, Yin Z E. Multiuser detector based on adaptive artificial fish school algorithm[C]. Proc of IEEE Int Symposium on Communications and Information Technology. Beijing, 2005: 1480-1484.
- [21] 张英杰, 李志武, 奉中华. 一种基于动态参数调整的改进人工鱼群算法[J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2012, 39(5): 77-82.