

改进 PSO 算法在水位流量关系拟合中的应用

潘中建

(江苏商贸职业学院,江苏 南通 226011)

摘要:粒子群算法(PSO)是一种基于群智能的全局优化方法。将改进 PSO 算法应用于水位流量关系拟合优化问题,通过对结果的比较分析,验证了改进 PSO 算法在提高精度方面的有效性,说明了改进 PSO 算法在水位流量关系拟合中应用的可行性。

关键词:粒子群算法;惯性权重;水位流量关系

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2015)02-0059-02

粒子群优化算法(PSO)是由 Kennedy J.与 Eberhart R.等通过对鸟群觅食行为的长期观察研究提出的一种基于群智能的全局优化算法^[1];具有在多维空间函数寻优、动态目标寻优等方面有着收敛速度快、解质量高、鲁棒性好等优点,已经被广泛应用于决策制定、信号处理等领域。

在使用 PSO 算法求解具体问题时,容易陷入局部极值点,收敛精度不高;惯性权重是粒子群算法中非常重要的一个参数,可以用来控制算法的搜索和开发能力^[2];Shi 提出带有惯性权重的改进算法使粒子具有较好搜索性能;Clerc 构造引入了带有收缩因子的 PSO 模型,使算法的全局搜索和局部搜索性能得到了提高。

利用非线性递减惯性权重的改进粒子群算法应用于水位流量关系拟合中,通过比较分析证明了该方法的可行性。

1 粒子群算法

PSO 算法是一种基于群智能的全局优化方法,与遗传算法类似,也是通过个体间信息的交换与更新来实现复杂空间中的最优化问题的求解;PSO 算法采用速度-位置搜索模型,每个优化问题的解被看作是搜索空间中的一个可移动粒子,每个粒子根据自身速度不断更新位置,并根据最优粒子的位置不断迭代来确定最优解。

假设在一个 n 维的目标解空间问题中,由 m 个粒

子组成的粒子群 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$,第 i 个粒子的速度矩阵为 $v_i=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})^T$,位置矩阵为 $x_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})^T$;它的个体极值为 $p_i=(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})^T$,种群的全局极值为 $p_g=(p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gn})^T$ 。按追随当前最优粒子的原理,粒子 x_i 将按式(1)、(2)改变速度和位置:

$$v_{id}^{t+1}=w \times v_{id}^t + c_1 \times r_1 \times (p_{id} - x_{id}^t) + c_2 \times r_2 \times (p_{gd} - x_{id}^t) \quad (1)$$

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

式中: $i=1, 2, \dots, m$; m 为该群体中粒子的总数; v_{id}^t 为第 t 次迭代粒子 i 飞行速度矢量的第 d 维分量,且 $v_{id} \in [-V_{\max}, V_{\max}]$; x_{id}^t 为第 t 次迭代粒子 i 位置矢量的第 d 维分量; p_{id} 为粒子 i 个体最好位置 p_{best} 的第 d 维分量; p_{gd} 为群体最好位置 g_{best} 的第 d 维分量; c_1, c_2 为加速常数 (acceleration constants); r_1, r_2 为分布于 $[0, 1]$ 之间的随机数; w 为惯性权重。

2 非线性递减惯性权重的改进粒子群算法

基本粒子群算法是在运算过程中线性减少惯性权重 w ,这样搜索步长就会逐渐减小,迭代慢慢地收敛到极值点,但由于仅仅使 w 线性减小,就会使算法易陷入局部极值点的领域内很难跳出来,从而只好收敛到局部极值点,并且找到极值点所需的迭代次数往往较大。

为了克服线性递减权重 w 的不足,引入了控制因

子 d_1, d_2 , 目的是为了控制 w 在 w_{\max} 与 w_{\min} 之间^[3]。

$$w=(w_{\max}-w_{\min}-d_1)e^{\frac{1}{1+d_2 \cdot iter/iter_{\max}}} \quad (3)$$

式中: w_{\max}, w_{\min} 分别表示惯性权重 w 的最大值和最小值, w_{\max} 一般取值为 0.8–1.2, w_{\min} 一般取值为 0.4; $iter$ 为当前粒子的迭代次数; $iter_{\max}$ 为最大迭代次数。

改进 PSO 算法描述如下:

步骤 1: 对粒子的初始位置(限制在参数的可行域

内)和速度(限制在 $v_{id} \in [-V_{\max}, V_{\max}]$ 内)进行初始化;

步骤 2: 对所有粒子根据目标函数计算粒子 P_i 的当前适应值 *fitness value*, 如果当前 *fitness value* 比之前最优值 $pbest_i$ 好, 则把 *fitness value* 位置赋值给 $pbest_i$; 从所有粒子中找出个体适应值最大的位置 $pbest_i$ 赋值给 $gbest_j$;

步骤 3: 根据式(1)和(3)更新 P_i 的速度, 速度被限制在 $[v_{\min}, v_{\max}]$ 之间; 根据式(2)更新 P_i 的位置, 位置被限制在参数的可行域上;

步骤 4: 若 $iter$ 未达到最大迭代次数 $iter_{\max}$ 返回步骤 2, 否则停止。

3 算例

水位流量关系曲线一般可以用如下表达式表示:

$$Q=aH^b \quad (4)$$

式中: Q 为流量; H 为水位; a, b 为待定参数, 通过逆变

换为 $a=e^A, b=B$ 求解。

本文采用下述拟合准则^[4]:

残差平方和准则:

$$\min E = \sum_{i=1}^n |Q_i - aH_i^b|^2 \quad (5)$$

绝对残差绝对值和准则:

$$\min E = \sum_{i=1}^n |Q_i - aH_i^b| \quad (6)$$

相对残差绝对值和准则:

$$\min E = \sum_{i=1}^n |(Q_i - aH_i^b)/Q_i| \quad (7)$$

利用传统的非线性智能优化方法处理上述三个准则中的函数较为困难。本节采用改进惯性权重的粒子群算法来解决上述问题。

某水文站, 有 13 组水位流量原始观察数据^[4], 见表 1 第 1~2 栏。

用改进粒子群算法求解, 采用残差平方和准则计算结果为 $Q=5.8061H^{1.7029}$; 用绝对残差绝对值和准则计算结果为 $Q=4.3052H^{1.8273}$; 用相对残差绝对值和准则计算结果为 $Q=4.2630H^{1.8310}$ 。计算流量及其绝对误差、相对误差见表 1。从表 1 可以看出, 用改进算法求解的绝对误差和相对误差甚至可达到 0.00。

表 2 给出了各准则计算比较。由表 2 可知, 用改

表1 用改进算法解水位流量关系

Table 1 The improved algorithm for water lever-discharge relation

实测水位 H/m	实测流量 $Q/m^3 \cdot s^{-1}$	残差平方和准则			绝对残差绝对值和准则			相对残差绝对值和准则		
		计算流量 $/m^3 \cdot s^{-1}$	绝对误差 $/m^3 \cdot s^{-1}$	相对误差 $\%$	计算流量 $/m^3 \cdot s^{-1}$	绝对误差 $/m^3 \cdot s^{-1}$	相对误差 $\%$	计算流量 $/m^3 \cdot s^{-1}$	绝对误差 $/m^3 \cdot s^{-1}$	相对误差 $\%$
15.50	596	618	21.95	3.68	644	48.33	8.11	644	48.48	8.13
14.90	561	578	16.77	2.99	599	38.48	6.86	600	38.53	6.87
14.10	542	526	16.05	2.96	542	0.02	0.00	542	0.09	0.02
14.55	574	555	19.15	3.34	574	0.00	0.00	574	0.00	0.00
12.60	435	434	0.73	0.17	441	6.28	1.44	441	6.05	1.39
12.47	433	427	6.34	1.46	433	0.00	0.00	433	0.25	0.06
12.67	448	438	9.62	2.15	446	2.23	0.50	446	2.45	0.55
8.30	204	213	9.32	4.57	206	1.80	0.88	205	1.37	0.67
11.40	372	366	5.78	1.55	368	4.47	1.20	367	4.79	1.29
10.30	309	308	0.90	0.29	305	3.67	1.19	305	4.06	1.31
10.70	331	329	2.25	0.68	327	3.66	1.10	327	4.03	1.22
9.48	258	268	9.51	3.69	262	4.38	1.70	262	3.97	1.54
7.77	182	191	8.64	4.75	182	0.42	0.23	182	0.00	0.00

(下转第 64 页)

Flow Data Check in Hydrological Data Processing

XIE Yunshan¹, XIE Haiwen¹, ZHAO Deyou², BAI Jizhang¹

(1. Zhenjiang Hydrology Water Resources and Survey Bureau of Jiangsu Province, Zhenjiang 212001, China;

2. Jiangsu Hydrology Water Resources and Survey Bureau, Nanjing 210029, China)

Abstract: This paper introduced the flow data check in the hydrological data processing. According to the flow measuring start and stop time for discharge computation, this paper found the water level in the concerned telemetered water level file, compared the water level data in the file with the observed water level data, put the different in a file, and then transfer discharge computation process and flow measuring process into DAT file, plotting to the process of water level line on CAD diagram so that to check the time data. At the same time, comparison was made between the water levels in the discharge computation file.

Key words: flow; telemetered water level; data processing; check; SHDP

(上接第 60 页)

表2 各准则计算比较

Table 2 Comparison of the criteria calculation

拟合方法及准则	残差平方和	平均绝对误差	平均相对误差
传统变换后的残差平方和	2136.32	9.846	2.21
改进粒子群算法残差平方和	1821.00	9.77	2.48
改进粒子群算法绝对残差绝对值和	3930.00	8.75	1.79
改进粒子群算法相对残差绝对值和	3950.90	8.77	1.77

进粒子群算法的三种拟合准则计算的平均绝对误差和平均相对误差小于传统方法。使水位流量关系曲线的拟合精度明显提高,验证了算法的有效性。

4 结语

本文较详细的阐述了粒子群算法,将改进 PSO 算法应用于水位流量关系拟合优化问题;通过比较分析,验证了改进粒子群算法的在提高精度方面的有效性,

说明了算法的可行性。

参考文献:

- [1] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [A]. IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1995: 1942-1948.
- [2] Sun Jun, Feng Bin, Xu Wenbo, et al. Particle swarm optimization with particles having quantum behavior [A]. Congress on Evolutionary Computation, 2004:134-138.
- [3] 李会荣,高岳林,李济民. 一种非线性递减惯性权重策略的粒子群优化算法[J]. 商洛学院院报, 2007,21(4):16-20. (LI Huirong, GAO Yuelin, LI Jimin. A particle swarm optimization algorithm with the strategy of nonlinear decreasing inertia weight [J]. Journal of Shangluo University, 2007,21(4):16-20. (in Chinese))
- [4] 黄才安. 水位流量关系回归的优化研究[J]. 水利水电技术, 1995,26(10):2-5. (HUANG Caian. Optimal regression study on stage-discharge relation[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 1995,26(10):2-5. (in Chinese))
- [5] 陈继雄. 线性回归诊断在水位流量关系中的应用[J]. 水文, 1988,(5): 26-29. (CHEN Jixiong. Application of linear regression diagnostics in the stage discharge relation [J]. Journal of China Hydrology, 1988,(5):26-29. (in Chinese))

Application of Improved PSO Algorithm in Water Level-discharge Relation Curve Fitting

PAN Zhongjian

(Jiangsu Vocational College of Business, Nantong 226011, China)

Abstract: Particle swarm optimization (PSO) is a global optimization method based on swarm intelligence. The improved algorithm was applied in the optimization of water level-discharge relation curve fitting. The comparative analysis was made to verify the effectiveness of the improved PSO algorithm.

Key words: particle swarm algorithm; inertia weight; water level-discharge relation