

# 北江流域历年洪水强度大小的比较研究\*

汪丽娜<sup>1</sup>, 陈晓宏<sup>2,3</sup>

1. 华南师范大学地理科学学院, 广东 广州 510631;
2. 中山大学水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;
3. 华南地区水循环与水安全广东省教育厅重点实验室, 广东 广州 510275)

**摘要:** 以北江流域石角站为研究对象, 利用目标转换式将投影寻踪模型的约束去除, 并通过人工鱼群优化算法的自适应搜索, 寻找到最优投影向量。结果表明: 人工鱼群优化的无约束投影寻踪模型进行洪水强度大小比较时, 有利于人工鱼群算法优化性能发挥, 并且所得的结果与实际情况相符。其中, 北江流域石角站 2006 年的洪水是 1954 - 2006 年 53 a 强度最大的洪水, 此外 1964、1966、1968、1982、1994 和 1997 年的洪水强度也较大, 仅次于 2006 年。这说明北江流域的洪水情势不容轻视, 要加强北江流域的防洪工作, 确保北江大堤的防洪能力。

**关键词:** 无约束投影寻踪模型; 人工鱼群算法; 洪水强度

**中图分类号:** TV122+.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2010)06-0145-04

## Comparative Research on the Magnitude of Flood Intensity during Previous Years of the Beijiang River Basin

WANG Lina<sup>1</sup>, CHEN Xiaohong<sup>2,3</sup>

1. School of Geography, South China Normal University, Guangzhou 510631, China;
2. Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
3. Key Laboratory of Water cycle and water security in Southern China of Guangdong Higher Education Institutes, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Using the transformation method, the restraint of traditional projection model can be removed. The unconstrained projection model is optimized by artificial fish swarm algorithm and used to calculate the projection vector values of flood. The obtained results are comparable with the actual case. The Shijiao Station of the Beijiang River is taken as an example in this paper. The results indicate that this new model is more effective and reasonable than the traditional method for flood classification. During the period from 1954 to 2006, the flood in 2006 was the biggest one, the floods in 1964, 1966, 1968, 1982, 1994 and 1997 also showed higher intensity. This suggests that the flood situation should not be despised in the Beijiang River. The flood control work should be strengthened in order to ensure the flood control ability of the dike in the Beijiang River.

**Key words:** a non-binding projection pursuit model; artificial fish swarm algorithm; flood intensity

对洪水进行准确合理的分类, 对于建立洪水调  
度规则、评估洪水危害大小、以及洪水预测预报  
等, 具有重要的意义。目前, 关于洪水分类的研究

并不多见<sup>[1-5]</sup>。投影寻踪模型是进行洪水分类较常  
用的方法<sup>[6-9]</sup>, 然而传统投影寻踪模型中的非线性  
约束, 使得模型求解变得异常困难, 本文通过转换

\* 收稿日期: 2009-11-01

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2010CB428405); 国家自然科学基金重点资助项目(50839005)

作者简介: 汪丽娜(1981年生), 女, 博士; E-mail: linawang2004@163.com

式的变换,去除了传统投影寻踪模型中的非线性约束,建立了无约束的投影寻踪模型,新模型有利于各种优化算法的性能发挥。同时,本文将近年来新兴的人工鱼群算法<sup>[10]</sup>用于投影寻踪模型的优化,将无约束的解空间看作鱼池,通过人工鱼群的自适应搜索,得到最优投影向量;用人工鱼群优化的无约束投影寻踪模型对北江流域石角站的逐年洪水数据进行研究。

北江是珠江的三大支流之一,是广东省境内非常重要的一条水系。北江流域地处亚热带,雨量多,强度大,多集中在汛期的4-9月。北江水量丰富,年平均流量1430 m<sup>3</sup>/s,主要径流是由雨量补给。石角水文站是北江干流重要的控制站,同时也是北江大堤防汛水情的代表站。本文以北江流域石角站1954-2006年53 a逐年洪水资料序列为基础,应用和人工鱼群聚优化的无约束投影寻踪模型,对北江流域多年的洪水进行分类,并且与传统的投影寻踪和人工鱼群,及投影寻踪和遗传算法进行比较,从理论和实际结果两方面阐述人工鱼群算法优化的无约束投影寻踪的可行性和优越性,并揭示北江流域石角站多年洪水的变化规律,为北江流域的综合治理、合理开发以及水资源的优化配置提供理论参考。

## 1 人工鱼群优化的无约束投影寻踪模型

### 1.1 无约束的投影寻踪模型

传统投影寻踪模型通常写成下面的形式

$$\begin{aligned} \max \quad & Q_a = S_a D_a \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{i=1}^p a_i^2 = 1 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, $S_a$ 为类间距离函数, $D_a$ 为类内密度函数, $a$ 为投影向量且 $a = (a_1, a_2, \dots, a_p), a_j \in [-1, 1]$ 。由于式(1)的目标函数是高度复杂的非线性函数,约束条件也是非线性的,该模型的求解通常要借助于启发式算法或者智能算法,如文献[4-5, 8-9]。但是,由于模型含有复杂的非线性约束,非线性约束将不利于各种优化算法的性能发挥,因此建立无约束投影寻踪模型具有十分重要的意义。

如果不考虑式(1)中的非线性约束,那么可行解空间可以用一个 $p$ 维的“超立方体”来描述,以集合 $C$ 表示:

$$C = \{(x_1, x_2, \dots, x_p) \mid -1 \leq x_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, p\} \quad (2)$$

式(1)的非线性约束,使得可行解空间限制在一

个 $p$ 维的“超球面”上,用集合 $S$ 表示:

$$S = \{(x_1, x_2, \dots, x_p) \mid \sum_{i=1}^p x_i^2 = 1, -1 \leq x_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, p\} \quad (3)$$

显然, $S$ 是 $C$ 的一个子集,即 $S \subset C$ 。

$$\begin{aligned} \text{由于} \quad & \sqrt{\sum_{j=1}^p x_j^2} \geq \sqrt{x_j^2} = x_j, \text{因此} -1 \leq \\ & \frac{x_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^p x_j^2}} \leq 1; \text{若设} y_j = \frac{x_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^p x_j^2}}, \text{则} -1 \leq y_j \leq 1, \\ & \sum_{i=1}^p y_i^2 = \sum_{i=1}^p \left( \frac{x_i}{\sqrt{\sum_{j=1}^p x_j^2}} \right)^2 = \frac{\sum_{i=1}^p x_i^2}{\sum_{j=1}^p x_j^2} = 1, \end{aligned}$$

因此, $(y_1, y_2, \dots, y_p) \in S$ 。

上述过程表明,对于任意 $(x_1, x_2, \dots, x_p) \in C$ ,通过下面的变换

$$y_j = \frac{x_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^p x_j^2}} \quad (4)$$

得到的向量 $(y_1, y_2, \dots, y_p) \in S$ 。

它可以把可行解空间从“超球面”扩展到“超立方体”,从而建立起无约束投影寻踪模型UPPM,对UPPM进行求解,不论采用什么优化算法,都将取得更好的优化效果,这是显然的。将得到的最终结果使用上述变换,即可得到满足PPM的最优解,从而绕过了PPM中的非线性约束。

### 1.2 用人工鱼群算法优化无约束投影寻踪模型

人工鱼群算法是一种仿生智能优化算法,它作为一种高度自适应的搜索算法,在多学科领域中有着广泛的应用<sup>[10-13]</sup>,并显示出其优化的优越性。人工鱼群算法是一种高度自适应的搜索算法,其核心算子主要包括觅食行为、聚群行为、追尾行为等,人工鱼群算法的详细过程见文献[10]。

对于UPPM模型,由于不含约束,其解空间是式(2)定义的“超立方体”,可以直接将人工鱼群算法应用于无约束投影寻踪模型的优化求解。这时,人工鱼群算法与模型优化求解的对应关系为:食物源所在的位置与最优投影向量相对应;鱼群觅食发现事物源表明得到最优解。

## 2 实例研究

### 2.1 分类结果及分析

由于洪水强度与洪峰水位、洪峰流量、洪水历时、洪水总量等要素相关,它是一个综合指标<sup>[11]</sup>。

因此在进行洪水强度比较时,比较任何一个单一的指标,都不能反映出洪水历场洪水之间真实的大小强度情况。在本研究中选取度量洪水大小的特征指标有:最高水位、洪峰流量、最大3天洪量、最大7天洪量和最大15天洪量,这5个指标。采用人工鱼群算法优化的无约束投影寻踪模型,将北江流域石角站1954-2006年53a的洪水数据进行强度比较,投影值越大,反映洪水强度越强,其结果如图1所示。

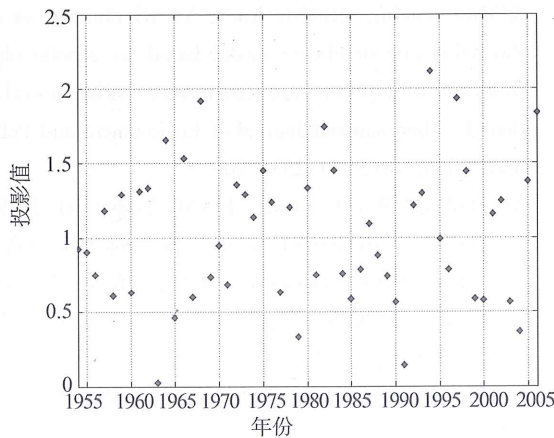


图1 北江流域历年洪水强度投影值

Fig. 1 The yearly flood classification results of Beiji River

图1直观地反映出北江流域石角站,历年洪水之间的强度比较情况。该结果融合了历场洪水量级大小及洪水的持续度,5项特征指标共同决定了北江流域石角站1954-2006年53a的历场洪水强度大小的比较结果,该结果与历史洪水实际情况较吻合<sup>[12]</sup>。投影值( $F_{pv}$ )的大小可以进一步判定各年洪水强度之间的差异。其中2006年的洪水投影值最大,1964、1966、1968、1982、1994、1997年的洪水投影值较次。

由于研究角度的不同,会导致选取洪水指标值的不一致,而洪水分类结果受洪水特征指标值选取的影响,得出的投影值大小会不同,但对洪水强度大小的排序影响不大<sup>[5]</sup>。根据选取的5项洪水特征指标,采用人工鱼群优化的无约束投影寻踪模型得出的北江流域洪水强度大小比较结果来看,在53a中有7场特大洪水,占13.21%;从点群的密集程度来看,尽管最大的洪水投影值(2006年)和最小的洪水投影值(1963年)直接差异非常大,但是洪水投影值处于0.5~1.5之间的点群较为密集。总体上,北江流域的洪水投影值波动性较大,说明北江流域的洪水情况不容轻视,应该加强堤围

的安全防护工作,确保北江大堤的行洪能力。

## 2.2 性能比较

在相同的实验条件下分别采用人工鱼群算法优化的无约束投影寻踪模型(UPPM-AFS)、人工鱼群算法优化的传统的投影寻踪模型(PPM-AFS)以及遗传算法优化的投影寻踪模型(PPM-GA),三种不同的方法建立洪水分类时网络的收敛情况,为了检验本文所提模型的性能优越性,分别对各种模型独立地运行多次,比较三种模型的平均收敛曲线,如图2所示。

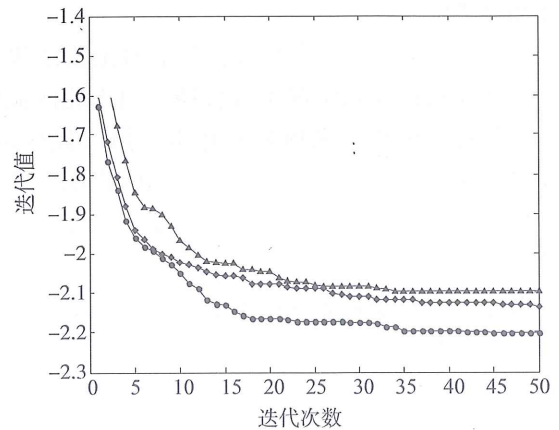


图2 三种算法的平均收敛曲线比较

Fig. 2 The comparison among the average projective index function of three curves

由图2可知,①将UPPM-AFS算法和PPM-GA算法进行比较。用PPM-GA算法进行洪水分类时,训练到一定程度时目标指数函数几乎不在更新出现了网络麻痹现象,导致网络不能训练下去,而采用UPPM-AFS算法进行洪水分类时,避免了PPM-GA算法本身很难避免的缺陷,即马上陷入局部最小值,而错过全局最优解,UPPM-AFS算法在不断调整网络参数时跳出局部最小,鱼群中各个体的局部寻优达到全局最优的目的,使全局最优值突显出来,对于聚类而言,亦取得更加准确、合理的分类结果,从而使网络收敛。②将UPPM-AFS算法和PPM-AFS算法进行比较。从收敛曲线上明显看出,UPPM-AFS算法继承了PPM-AFS算法优点的同时,UPPM-AFS算法的射影指数函数小于PPM-AFS算法,同时本文通过定义“超立方体”到“超球面”的变换,将可行解空间由原来的“超球面”扩展到“超立方体”中,去掉模型的约束,有利于优化算法的性能发挥。

综上所述,UPPM-AFS算法在优化效果上明显

优于 PPM-AFS 算法和 PPM-GA 算法。

### 3 结 论

1) 从新建立模型的理论和实践价值来看: 无约束投影寻踪模型的建立不仅利于算法优化性能的发 挥, 并且有效避免了因陷入局部最小值, 而错过寻找全局最优解的困扰。

2) 从实际的洪水强度大小比较的应用结果来看: 人工鱼群算法优化的无约束投影寻踪模型所得的洪水强度大小的比较结果与历史洪水实际情况较吻合, 表明该方法对于解决洪水强度大小比较的有效性和合理性。

3) 从所得的历场洪水强度大小的比较结果来看, 北江流域的洪水情况不容轻视, 由于北江流域的地理位置, 即该流域地处亚热带季风气候区域, 受气候的影响, 加之该流域人类活动的作用, 城市化进程的加快, 造成该流域洪水强度大小较大的波动性变化。

因此, 应该加强北江堤围的安全防护工作, 确保北江大堤的行洪能力。

#### 参考文献:

- [1] 马寅午, 周晓阳, 尚金成, 等. 防洪系统洪水分类预测优化调度方法[J]. 水利学报, 1997, 4: 1-8.
- [2] 卢正波, 侯召成. 洪水聚类有效性分析[J]. 南水北调与水利科技, 2007, 5(2): 87-90.
- [3] 邱超. 特征加权 FCM 算法在洪水样本分类中的应用[J]. 水文, 2007, 27(5): 49-51.
- [4] 王顺久, 张欣莉, 候玉, 等. 洪水灾情投影寻踪评估模型[J]. 水文, 2002, 22(4): 1-4.
- [5] 董前进, 王先甲, 艾学山, 等. 基于投影寻踪和粒子群优化算法的洪水分类研究[J]. 水文, 2007, 27(4): 10-14.
- [6] FRIEDMAN J H, Tukey J W. A Projection Pursuit Algorithm for Exploratory Data Analysis[J]. IEEE Transactions on Computers. 1974, 23(9): 881-890.
- [7] FRIEDMAN J H. Projection pursuit regression[J]. Journal of the American Statistical Association, 1981, 76: 817-823.
- [8] WANG Shunjiu, ZHANG Xinli, YANG Zhifeng, et al. Projection pursuit cluster model based on genetic algorithm and its application in Karstic water pollution evaluation[J]. International Journal of Environment and Pollution, 2006, 28(3/4): 253-260.
- [9] XIE Yulong, WANG Jihong, LIANG Yizeng, et al. Robust principal component analysis by projection pursuit[J]. Journal of Chemometrics, 2005, 7(6): 527-541.
- [10] 李晓磊. 一种新型的智能优化方法—人工鱼群算法[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- [11] 孙倩, 段春青, 邱林, 等. 基于熵权的模糊聚类模型在洪水分类中的应用[J]. 华北水利水电学院学报, 2007, 28(5): 4-6.
- [12] 杨创鹏, 朱昆鹏. 北江“05.6”与“98.6”暴雨洪水特性比较分析[J]. 中山大学学报论丛, 2006, 26(6): 204-206.
- [13] 谭泳, 谢彪, 潘锦江. “94.6”和“97.7”洪水北江大堤险情探讨[J]. 广东水利水电, 2000, (2): 46-48.
- [7] 卫煜英, 曹艳平. 气相色谱质谱联用法分析海藻脂肪酸及其它成分[J]. 营养学报, 1995, 17(1): 53-55.
- [8] RUSSEL-WELLS B. Fats of brown seaweeds[J]. Nature, 1932, 129: 654-655.
- [9] ITO K, TSUCHIYA Y. Differential fatty acid composition of some marine algae associated with their habit at depths[J]. Tohoku J Agr Res, 1977, 28: 145-150.
- [10] VELIMIROV B. Fatty acid composition of kelp on the West coast of South Africa and some ecological implications[J]. Bot Mar, 1979, 22(4): 237-240.
- [11] YEHUDA S, RABINOVITZ S, MOSTOSKY D I. Essential fatty acids are mediators of brain biochemistry and cognitive functions[J]. J Neurosci Res, 1999, 56: 565-570.
- [12] HENRY E G, MOMIN R A, NAIR M G, et al. Antioxidant and cyclooxygenase activities of fatty acids found in food[J]. J Agric Food Chem, 2002, 50: 2231-2234.
- [13] TERRY P D, ROHAN T E, WOLK A. Intakes of fish and marine fatty acids and the risks of cancers of the breast and prostate and of other hormone related cancers: A review of the epidemiologic evidence[J]. Am J Clin Nutr, 2003, 77(3): 532-543.
- [14] COLQUHOUN A. Gamma-linolenic acid alters the composition of mitochondrial membrane subfractions, decreases outer mitochondrial membrane binding of hexokinase and alters carnitine palmitoyl transferase I properties in the Walker 256 rat tumour[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2002, 1583: 74-84.

(上接第 141 页)