

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X2012230285

UDC_____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

改进的 PSO 算法优化神经网络模型
及其应用研究

Research on Optimization of Neural Network Model By
Improved PSO Algorithm and Its Application

蒋林利

指导教师姓名: 曾文华 教授

专业名称: 软件工程

论文提交日期: 2014 年 3 月

论文答辩日期: 2014 年 5 月

学位授予日期: 2014 年 6 月

指导教师: _____

答辩委员会主席: _____

2014 年 3 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

在水文学科领域中，准确的预报问题是防灾减灾的重要研究课题之一。近年来，由于全球气候的变化和人类活动的影响，全国的气象灾害越来越严重，而且持续的时间比较长和影响的范围也越来越大，我国国民经济的发展受到了严重地影响。如何对现有水文资料的分析和研究并找到其变化的规律是非常必要和重要的。近年来，国内外研究者已成功的将神经网络(Neural Networks, NNS)方法应用在大气学科预测建模等各个复杂领域。但目前还没有找到确定优化神经网络的各个参数的定量方法，其中采用最多的是BP神经网络，但对于复杂多维的训练数据或设置不同的参数会存在过拟合、收敛速度低、陷入局部最优和预测效果差等缺陷。这就极大地限制了神经网络在实时降水径流预测模型中的应用。近几年，群智能优化人工神经网络逐渐成为现代优化领域的研究热点，其中粒子群算法是当前优化算法领域的一大研究热点。

本文针对人工神经网络在预报建模过程中网络结构和优化网络参数难于确定的问题，提出一种改进的PSO(粒子群优化算法)进行优化神经网络各个参数并应用在广西降水和径流预报建模中。首先，对粒子群算法进行改进，采用随机分布的方法获取惯性权值来保持种群的多样性以及提高搜索能力，同时采用异步变化的策略来改变学习因子值以加强粒子的学习能力以加快收敛到全局最优解。其次，将改进的粒子群优化前馈神经网络算法。最后，针对复杂多维的因子，采用多种降维处理方法来获取主要相关信息的因子。并将所有数据设计分成训练样本集和测试样本集两类数据，建立基于改进的粒子群优化神经网络的降水和径流预报模型。实验结果表明，该模型在局部和全局搜索能力、速度和精度等问题上都优于BP神经网络的降水和径流预报中的应用。

关键词：PSO；前馈神经网络；径流水位预报

Abstract

In the field of hydrological subject, accurate prediction is one of the important research topics preventing disaster. In recent years, because of the impact of global climate change and human activities, the national meteorological disasters get more and more serious, and last longer and the influence scope is larger, thus, the development of national economy in China has been seriously affected. It is very necessary and important to analyze and research the existing hydrologic data in order to find the law of the change. In recent years, researchers at home and abroad have been successful applied neural network (Neural, Networks, NNS) method in various predictive modelling of atmospheric science. But there is no quantitative method determining the parameters used for the optimization of neural network, among which BP neural network is used the most frequently. But there are many disadvantages for complex and multidimensional training data or the parameters of different settings such as overfitting, low convergence speed, into a local optimum and bad effect of forecasting. This greatly limits the application of neural network in real-time rainfall and runoff forecasting model. In recent years, the group of intelligent optimization of artificial neural network has gradually become a hot issue in the field of modern optimization. The particle swarm optimization (PSO) algorithm is a hot research topic in the field of the current optimization algorithm.

This paper proposes an improved PSO (particle swarm optimization algorithm), based on the problem that it is difficult for artificial neural network to determine the network structure and optimization of network parameters in the process of forecasting model. Then, it applies each parameter of neural network optimization in the rainfall and runoff forecast model in Guangxi. First of all, it improves the particle swarm algorithm, uses the method of random distribution to obtain the inertia weight to keep the diversity of population and improve the searching ability, and uses strategy of asynchronous change to change the learning factor value to enhance the learning ability of particle and speed up the convergence to the global optimal

solution. Secondly, it uses the improved particle swarm to optimize feedforward neural networks. Finally, in the view of the complex and multidimensional factors, it uses a variety of dimension reduction processing method to get the main factors of relevant information. And it designs all data as the training sample set and testing sample set in order to establish rainfall and runoff forecasting model based on neural network of the improved particle swarm optimization. The experiment results show that this model is better than the runoff forecasting model of BP neural network in local and global searching ability, speed and accuracy.

Key words: PSO; Feedforward Neural Network; Runoff Forecasting

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 论文主要研究内容	4
1.4 论文结构安排	5
第二章 相关算法理论介绍	6
2.1 神经网络基本原理	7
2.1.1 生物神经元模型	7
2.1.2 人工神经元模型	8
2.1.3 神经网络模型分类	8
2.2 三层前馈神经网络	9
2.2.1 BP 神经网络基本原理及学习算法	9
2.2.2 BP 神经网络缺陷	13
2.3 PSO 算法概述	13
2.3.1 PSO 算法思想的起源和研究背景	13
2.3.2 PSO 算法的基本原理	14
2.3.3 标准的 PSO 算法	15
2.3.4 粒子群算法的基本流程	16
2.4 PSO 算法参数的分析	17
2.5 PSO 算法的研究现状	19
2.5.1 PSO 改进算法的研究现状	20
2.5.2 PSO 优化神经网络算法及应用研究现状	21
2.6 本章小结	22
第三章 改进的 PSO 算法优化神经网络模型	23
3.1 改进的 PSO 算法基本思想及参数设置	23
3.2 基于改进的 PSO 算法优化神经网络模型	24
3.3 本章小结	27
第四章 算法仿真	28
4.1 函数及实验参数设置	28
4.2 仿真结果分析	29
4.3 本章小结	36
第五章 算法应用	37
5.1 应用实例之一：径流预测	37
5.1.1 径流数据资料来源	37
5.1.2 运行环境及参数的选择	37
5.1.3 基于改进的 PSO 算法优化神经网络模型的径流水位预报及结果分析	37

5.2 应用实例之二：降水预测	42
5.2.1 降水资料来源及特征	42
5.2.2 预报因子提取	42
5.2.3 基于改进的 PSO 算法优化神经网络模型的月降水预报及结果分析	43
5.3 本章小结	49
第六章 总结与展望	50
6.1 总结	50
6.2 展望	51
参考文献	52
附 录 攻读硕士期间发表的论文	57
致 谢	58

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Research status of Domestic and Foreign	3
1.3 Main Research Contents	4
1.4 Organizational Structure.....	5
Chapter 2 Related Algorithms Theoretical Introduction.....	6
2.1 The Basic Principle of Artificial Neural Network	7
2.1.1 Biological Neuron Model	7
2.1.2 Artificial Neuron Model	8
2.1.3 Classification of Artificial Neural Network Model	8
2.2 Three feedforward neural network	9
2.2.1 The basic principle of BP neural network and learning algorithm	9
2.2.2 BP Neural Network Defects.....	13
2.3 Overview of PSO	13
2.3.1 Origin and Background of PSO Ideas	13
2.3.2 Basic Principle of PSO Algorithm	14
2.3.3 Standard PSO Algorithm.....	15
2.3.4 Basic Process of PSO.....	16
2.4 Analysis of PSO Algorithm Parameters.....	17
2.5 Research Status of PSO	19
2.5.1. Research Status of Improved PSO	20
2.5.2 Research Status of PSO Optimization Neural Network Algorithm and Its Application	21
2.6 Summary.....	22
Chapter 3 Improved PSO optimization neural network algorithm ..	23
3.1 Basic Idea of Improved PSO and Its Parameter Settings	23
3.2 Neural Network Based on Improved PSO	24
3.3 Summary.....	27
Chapter 4 Algorithm Simulation.....	28
4.1 Function and Experimental Parameters.....	28
4.2 Simulation Results Analysis	29
4.3 Summary.....	36
Chapter 5 Algorithm Applied	37
5.1 Example of Application 1: Runoff Forecast	37
5.1.1 Runoff Data Sources	37
5.1.2 Operating environment and parameter settings	37
5.1.3 Results Analysis Based on NN with Improved PSO Water Runoff	

Forecasting	37
5.2 Examples of Application 2: Precipitation Forecast.....	42
5.2.1 Rainfall Data Sources And Characteristics	42
5.2.2 Predictors Extract.....	43
5.2.3 Results Analysis Based on NN with Improved PSO monthly rainfall forecast	44
5.3 Summary.....	49
Chapter 6 Conclusions.....	50
6.1 Summary.....	50
6.2 Outlook.....	51
References	52
Appendix.....	57
Acknowledgements	58

第一章 绪论

广西柳江是珠江流域西江水系主要支流之一，位于广西的北部，发源于贵州的独山县，跨越了黔、湘、桂三个省区，其流域总面积为 58270km²，广西占 41925km²，近 20 多年来，河川流域的干旱、洪涝灾害等自然灾害频繁的发生，抗旱防洪已成为流域管理所面临的首要问题。随着全球气候变暖、环境恶化和人类活动等因素对降水影响及径流水文变化的影响加剧，径流预测问题受到科学工作者得广泛关注。

1.1 研究背景和意义

水文现象是受水文、气候、流域自然地理特征等因素综合影响的一个复杂动力学系统，具有随机性、非线性、多时间和空间尺度等特征。其中径流、降水、蒸发是形成陆地水循环的主要部分。气候变化和当地的人类活动直接影响了流域径流的变化。由于我国地理位置的特殊、地形西北高、东南底等特征和气候条件十分复杂。随着全球气候变暖和环境的恶化，自然灾害和极端气候事件频频发生，已经严重地阻碍我国的经济发展以及对人民生命财产安全造成了巨大的威胁。应对极端的气象灾害已成为水文研究者面临的重大课题之一。根据统计，从 1990 年到 2012 年期间，各类自然灾害造成我国平均每年约 3 亿人次受灾，300 多万间房屋倒塌，紧急转移安置 1000 多万人次，直接经济损失 2000 多亿元。据不完全统计，我国 2013 年前三个季度，各类自然灾害造直接经济损失 5170.8 亿元。灾情比 2012 年同期偏重。由于我国大部分地位处于季风候区，水灾旱灾呈现出明显的区域性和季节性变化。如广西位于亚热带季风气候区，四季分明，气候温和，柳江流域的年径流变化比较平稳，但季节性变化很大，降水时空分布不均匀，夏季 4-7 月是主要的降水汛期，因为夏季东南风由海洋吹向陆地，雨季持续的时间较长、强度较大、降水较集中，夏季的降水汛期量约是超过全年降水量的 60%。有时受强台风影响，多地出现强降雨，而气候的变化和人类活动的影响导致西江流域径流发生了新的变化和严重的流域洪涝灾害。如广西 2010 年 5 月 31 日，因强降雨引起的径流洪涝灾害，造成

多人死亡和直接经济损失超过 12 亿，2013 年 6 月因一次暴雨引起的洪涝灾害造成直接经济损失 42.49 亿元。

准确的径流预测是对国民经济发展具有重要的意义，因为径流量是一个地区的工业农业供水的重要依据，也是地区经济发展规模的重要因素。人工调节和控制天然径流的能力，关系到农业生产和当地人们是否受到干旱洪涝灾害的危害。

目前，径流预测技术还存在理论不够完善，预测的精度低等缺陷。气候变化和人类的活动对河川径流量和水位及其敏感，分析径流和水位的长期变化规律并建立准确及时的河川径流预测，不仅能为洪水灾害的风险分析提供良好的基础，也能为流域的水资源保护和管理等工作提供参考依据，因此，找到一种预测模型既能对降水进行预报又能对径流水位提供一种精确度更高的预报对水利管理者具有重要的参考价值。

优化神经网络的性能一直是学者们研究的重点，BP 算法是最常用的训练方法，其利用误差梯度下降信息来确定训练的方向，具有收敛速度慢，特别是在接近局部极值或全局极值时，收敛的速度变得更慢，而且还会时常出现陷入局部极值^[1]。最近十几年，虽然有很多学者对 BP 算法进行了大量的改进，所得到的收敛速度和精度还是有限的，仍然容易陷入局部最优解。

近年来，国内外的许多学者和专家把全局优化性能的群智能优化算法迭代 BP 神经网络，如遗传算法^[2]、粒子群算法^[3]，这些算法可以克服 BP 算法的缺陷。但如果针对复杂高维的大规模问题，遗传算法因具有复杂的遗传操作使得网络训练时间和复杂程度出现指数级增长。同时算法也缺乏局部区域的有效搜索机制，在后期收敛速度缓慢可能有停滞现象出现。而 PSO 算法只有速度-位移模型简单操作，只要根据自己的速度就可以来决定搜索方向，可以避免遗传算法上的缺陷。最近十年，改进的 PSO 算法来进化神经网络已成为被研究的热潮，并也取得了较好的效果。大量文献表明，PSO 算法优化神经网络模型可用于多目标优化、任务分配、模式分类和高维复杂的数据处理等优化问题。但 PSO 算法发展较短，理论基础和应用推广还需要进一步深入研究。因此，本文基于这个背景对 PSO 算法进行改进，用于前馈神经网络参数和结构的训练，并将新的方法应用于建立柳江径流水位预测和降水预测模型。因为径流预测和降

水预测是比其他预测问题更具有复杂性和难度性。因此本文研究工作具有非常重要的实际意义和现实价值的。

1.2 国内外研究现状

由于全球气候变暖和人类活动的影响,引起降水径流发生变化的因素具有大量的不确定性和复杂性^[4-5],所以建立降水径流预测模型十分复杂,目前,还没有找到一个比较统一的、完整的和普遍使用的预报体系。常规采用时间序列方法和协整理论等方法,这些方法很难准确的把握径流的变化规律和特征,主要是因为径流过程表现出强烈的非正态、非线性等特征。20世纪40年代,由美国 WARREN MCCULLOCH 和 WALTER PITTS 等提出的神经元模型后开始研究人工神经网络,经过几十年的快速发展,ANN 已经成功的应用在多个领域,如图像处理、智能控制、模式识别、自适应信号处理、生物医学工程和非线性优化等诸多学科领域并取得了可喜的应用研究成果。国内外研究者也成功的将神经网络(Neural Networks, NNS)方法应用在大气学科和径流预测建模等各个复杂领域^[9-11]。但目前还没有找到确定优化神经网络的各个参数的定量方法,其中采用最多的是 BP 神经网络,但对于复杂多维的训练数据或设置不同的参数会存在过拟合、收敛速度低、陷入局部最优和预测效果差等缺陷。这就限制了神经网络在实时降水和径流预测模型中的应用^[12-15]。近年来,由于群智能优化算法的出现,大量文献表明,其优化的神经网络应用在天气预报和径流预报模型中,利用遗传算法^[4,14]、粒子群算法^[7,10,19]和线性、非线性回归^[13]以及各种改进算法或混合算法^[11-19]进化神经网络,以达到更好的预测效果。其中,改进粒子群算法来进化神经网络已成为被研究的热潮。如文献[19]利用粒子群遗传混合方法优化的神经网络的降水预报具有很好的效果;文献[20]利用粒子群优化性能优化 BP 神经网络后应用到径流预测中,结果提高了模型的收敛速度和预测精度。目前国内外研究者对粒子群本身存在的一些缺陷,提出了各种改进的思想,如惯性权重的非线性递减^[21]、自适应变化^[22]、随机权重^[23]等这些方法都是针对惯性权重这个参数进行改进的方法相对较多,且这些改进的算法在高维复杂问题寻优时仍存在早熟收敛、收敛精度低的缺点。但对惯性权重和学习因子同时改进优化神经网络的径流预报的研究相对少见。

如 DOHALD W 和 McCann(1992)提出了 BP 神经网络预报强雷暴事件的研究,实验结果表明具有很好的预测效果^[24]。S. K. Jain 等^[25]人利用人工神经网络预测水库的入流量,比自回归滑动平均模型预测效果要好。Julian Dorado 等^[26]人将遗传算法与人工神经网络相结合进行水文研究,文中分析了降雨与径流之间的转化关系,实验表明该方法比较适合应用在分析径流系统方面。2001 年, HONGPING LIU 和 V. CHANDRASEKAR 等^[27]人利用雷达探测到的资料来建立具有自适应神经网络的降水预报,结果表明,具有较高的预报精度。Francois Ancti 等^[28]人利用人工神经网络与小波相结合方法对河流径流量进行预测,并与人工神经网络模型进行对比。Gillispie 研制开发了一些基于 ANN 的智能系统,美国气象局将其投入了使用,用来进行降水、河川流量和水位预报^[29]。王其虎等^[30]人利用流溪河水库 1959~2000 年径流数据,运用 BP 神经网络对径流量进行预测。金龙,吴建生等人^[31]利用遗传算法优化神经网络并建立短期气候预测建模,具有较高的预报精度高和较好的稳定性。Jiang Lin-li 等^[32]人将遗传和粒子群混合优化神经网络的结构和参数并建立径流预报,跟传统的 BP 和单个的算法比较,具有更高的预测精度。

1.3 论文主要研究内容

本文分析了 PSO 算法以及该算法优化神经网络的研究现状的基础上,从种群多样性、收敛速度等多个角度出发,提出了同时对惯性权重和学习因子改进的 PSO 算法,用于训练前馈神经网络的参数和结构,并将该模型应用于降水预测和径流水位预测以检验效果。论文主要研究内容如下:

(1) PSO 算法研究现状及其优化神经网络与应用研究现状

介绍目前各种改进粒子群算法并做出分析和归纳了现有方法的优缺点,分析了 PSO 算法各个参数的作用。

(2) 改进 PSO 算法并优化神经网络

首先,对粒子群算法进行改进,采用 0.5 到 1 的随机分布的方法获取惯性权值来提高全局和局部搜索能力,同时采用异步变化的策略方式动态地来改变学习因子值以加强粒子的学习能力,使得算法跳出局部最优解、具有更快的收敛速度和提高了最优解的精度;其次,将改进粒子群算法优化神经网络应用于

四个测试函数以验证算法的有效性。

(3) 将改进的算法应用在广西月降水预报和柳州径流预报建模中。针对复杂多维的降水因子和径流因子,采用均生函数和奇异谱处理后,最后采用主成分分析对因子进行降维来获取主要相关信息的因子。并将所有数据设计分成训练样本集和测试样本集,建立基于改进 PSO 优化神经网络的降水预报模型和径流预报模型。并对预报结果加以分析对比。与标准的、线性惯性权值、随机权值等几种粒子群神经网络在天气降水预报和径流预报上进行对比。

1.4 论文结构安排

本论文共 7 章:

第一章 绪论。阐述本论文的研究背景和意义、国内外研究现状、论文的主要研究内容和论文组织结构。

第二章 相关算法理论研究。首先概述人工神经网络。介绍了应用及优缺点。其次介绍了粒子群优化算法的背景、基本思想、参数的分析以及对 PSO 算法实现,最后简单介绍了该算法的研究现状和主要应用。

第三章 改进粒子群优化神经网络。对粒子群优化神经网络改进的具体方法。主要对惯性权重和学习因子同时进行改进使算法保持种群的多样性、跳出局部最优以及加快收敛速度。

第四章 实验仿真。采用四个常用测试函数来验证本文提出改进的算法的有效性,各个算法的参数的设置,实验结果与线性递减的自适应的粒子群进化神经网络算法和随机权重粒子群的神经网络算法的结果进行分析比较。

第五章 实例应用。将改进的粒子群算法优化神经网络分别应用于广西降水预报和广西径流水位预报模型中。并对预报因子进行选取和预处理,并分析其结果。

第六章 总结与展望。对基于改进的粒子群优化神经网络应用于降水预报和径流水位预报模型的总结,并对其未来发展方向进行展望。

第二章 相关算法理论介绍

随着对进化计算方法的深入研究, 研究者发现进化计算方法具有较强的鲁棒性和全局收敛性, 利用进化算法在解空间内进行搜索最优解, 能进化网络的权重系数、网络结构和学习规则。将网络的结构进行编码, 然后转化成进化的个体, 在训练过程中根据进化的规则及适应度函数值的反馈, 不断进化寻优以达到搜索到合适的网络结构和相应的参数的目的。因此, 将神经网络和进化计算方法结合使用, 不仅可以发挥神经网络的映射性能, 而且也提高了神经网络的收敛速度和学习能力, 得到了广泛的应用^[33-35]。

进化计算方法在优化神经网络参数时, 计算量大, 特别是对大规模复杂的问题, 在训练的过程当中, 神经元和连接的权值的个数都比较多, 这就使得进化计算的搜索空间也比较大。在进行优化网络结构和学习规则时, 先直接将没有经过训练的神经网络的结构模式和其学习规则进行编码, 将编成的码串用来表示个体; 接着执行相应的进化操作, 与传统的优化连接权值的方法相比, 其搜索空间会变小, 但也存在一定的缺陷, 如在优化过程中, 被选择的任何个体都必须先进行解码, 而这些解码串是没有经神经网络训练的, 然后再通过传统方法的训练以达到确定其连接的权值, 因此, 这种方法的收敛速度比较慢^[36]。

目前, 在大量的文献中发现, 进化计算方法中研究最多的是遗传算法。遗传算法能够处理许多复杂的问题, 其理论相对比较完善, 但仍容易陷入局部最优, 在训练神经网络时, 因其设置的参数较多而很难控制其过程。

近年来, 兴起的具有分布性、快速性、协作性和鲁棒性等特点的群智能优化算法得到越来越多研究者的关注, 如粒子群优化算法的出现克服了上面描述的缺陷, 其具有算法简单直观、参数少、容易实现和计算量偏小等特征, 得到了研究者的青睐。目前已广泛应用在神经网络训练、模式分类和函数优化等领域, 并取得了比较好的效果。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库