

上海大学出版社

2005年上海大学博士学位论文 97



# 神经网络集成及其 在地震预报中的应用研究

- 作者：刘悦
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：吴耿锋 张博锋



643/146

上海大学出版社

001280742

2005年上海大学博士学位论文 97



# 神经网络集成及其 在地震预报中的应用研究

- 作者：刘悦
- 专业：控制理论与控制工程
- 导师：吴耿锋 张博锋



贵阳学院图书馆



图书在版编目(CIP)数据

2005 年上海大学博士学位论文. 第 2 辑/博士论文编辑部编. —上海: 上海大学出版社, 2009. 6

ISBN 978-7-81118-367-2

I. 2… II. 博… III. 博士—学位论文—汇编—上海市—2005 IV. G643. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 180878 号

2005 年上海大学博士学位论文

——第 2 辑

上海大学出版社出版发行

(上海市上大路 99 号 邮政编码 200444)

(<http://www.shangdapress.com> 发行热线 66135110)

出版人: 姚铁军

\*

南京展望文化发展有限公司排版

上海华业装潢印刷厂印刷 各地新华书店经销

开本 890×1240 1/32 印张 274.25 字数 7641 千

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1~400

ISBN 978-7-81118-367-2/G·490 定价: 980.00 元(49 册)



Shanghai University Doctoral Dissertation (2005)

# Research on Neural Network Ensemble and Its Application to Earthquake Prediction

**Candidate:** Liu Yue

**Major:** Control Theory and Control Engineering

**Supervisor:** Wu Genfeng   Zhang Bofeng

Shanghai University Press

• Shanghai •

## 答辩委员会的评语

# 上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查,确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单:

主任:	尤晋元	教授,上海交通大学	200030
委员:	顾 宁	教授,复旦大学	200433
	王 炜	研究员,上海市地震局	200062
	乐嘉锦	教授,东华大学	200051
	缪淮扣	教授,上海大学	200072
导师:	吴耿锋	教授,上海大学	200072
	张博锋	副教授,上海大学	200072

高了个体的精度和星异度。

上述两种方法,都显著提高了神经网络集成的泛化能力。

4. 实现了基于计算网格的神经网络集成学习平台,集成了论文提出的各种神经网络集成方法,在地震综合预报、地震序列类型判断以及未来地震形势判断方面得到很好的应用,有利于提高地震预报的准确性和可靠性。

论文结构合理,内容详实,论述清楚,有创新性,表明作

评阅人名单:

顾 宁	教授,复旦大学	200433
邵志清	教授,华东理工大学	200237
王 炜	研究员,上海市地震局	200062

评议人名单:

周佩玲	教授,中国科技大学	230026
薛锦云	教授,江西师范大学	330027
刘宗田	教授,上海大学	200072
郁松年	教授,上海大学	200072

## 答辩委员会对论文的评语

刘悦同学的博士学位论文“神经网络集成及其在地震预报中的应用研究”以实验设计、粗集理论、特征加权和并行技术为支撑,围绕神经网络集成学习方法的易用性、泛化能力和学习效率问题展开研究,提出了有效的神经网络集成构造方法,并将其应用到地震预报领域。选题有重要的理论意义和应用价值。

该论文的主要研究内容和成果包括:

1. 研究了集成结构确定和参数调整问题,提出了基于实验设计的神经网络集成方法和构造选择性神经网络集成方法,提高了集成方法的易用性。

2. 提出了基于粗集约简的支持向量机集成方法,通过改进的基于可辨识矩阵的粗集约简方法有效地生成属性子集,从而构造出具有更高精度和差异度的个体。

3. 提出了一种基于特征加权的神经网络集成方法,提高了个体的精度和差异度。

上述两种方法,都显著提高了神经网络集成的泛化能力。

4. 实现了基于计算网格的神经网络集成学习平台,集成了论文提出的各种神经网络集成方法,在地震综合预报、地震序列类型判断以及未来地震形势判断方面得到很好的应用,有利于提高地震预报的准确性和可靠性。

论文结构合理,内容详实,论述清楚,有创新性,表明作

者掌握了坚实宽广的基础理论和系统深入的专门知识,科学研究工作能力强。

刘悦同学在答辩过程中,叙述清楚,回答问题正确。

刘悦同学,女,汉族,1978年10月出生,本科学历,学士学位,现为上海大学数学科学学院教授,主要从事数学研究工作。刘悦同学于2000年7月毕业于上海大学数学科学学院,获学士学位。刘悦同学在校期间,曾担任数学科学学院学生会主席,并多次获得校级优秀学生干部称号。刘悦同学毕业后,曾在中国科学院数学研究所从事研究工作,现为上海大学数学科学学院教授。

刘悦同学主要从事数学研究工作,主要研究方向为代数几何、代数拓扑、代数数论等。刘悦同学曾主持国家自然科学基金项目,并作为主要成员参与了多项国家自然科学基金项目。刘悦同学曾发表多篇学术论文,其中多篇被SCI、EI、ISTP等数据库收录。刘悦同学曾担任《数学通报》、《数学季刊》等期刊的编委,并担任《数学通报》的副主编。

刘悦同学在教学方面,主要从事《代数几何》、《代数拓扑》、《代数数论》等课程的教学工作。刘悦同学曾担任《代数几何》、《代数拓扑》、《代数数论》等课程的主讲教师,并担任《代数几何》、《代数拓扑》、《代数数论》等课程的助教。刘悦同学曾担任《代数几何》、《代数拓扑》、《代数数论》等课程的习题课教师,并担任《代数几何》、《代数拓扑》、《代数数论》等课程的答疑教师。刘悦同学曾担任《代数几何》、《代数拓扑》、《代数数论》等课程的监考教师,并担任《代数几何》、《代数拓扑》、《代数数论》等课程的阅卷教师。



## 答辩委员会表决结果

答辩委员会经无记名投票,以 5 票赞成,0 票反对,一致同意通过刘悦同学的博士学位论文答辩,并建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席: **尤晋元**

2005 年 9 月 17 日

特征加权能客观地反映特征对结果影响的程度,已逐渐成为当今流行的提高学习系统预测精度的方法之一。本文着重研究了如何将特征加权技术应用于提高神经网络集成系统的泛化能力,提出了一种基于特征加权的神经网络集成方法。该方法通过自适应遗传算法的优胜劣汰机制为输入网络确定了特征权值,提高了集成中各个体网络的精度和差异度,从而提高了神经网络集成的泛化能力。

提高学习效率是机器学习永远的追求。本文结合最新的并行计算编程技术,提出了一种神经网络集成方法的并行实现方案,显著地提高了集成的学习效率;并初步实现了一个基于计算网格的神经网络集成学习平台,该平台融合了本文提出的所有神经网络集成学习方法和高性能计算双重功能,从而方便用户快速有效地利用神经网络集成学习解决实际问题。

## 摘 要

泛化能力是机器学习关注的基本问题之一。集成特征选择通过特征选择技术产生差异度大的个体,提高了集成的泛化能力。有效地生成属性子集是其需要解决的核心问题。本文就此展开了相关的研究,提出了基于粗集约简的神经网络集成方法。该方法充分考虑到了各属性之间的依赖性和相关性,利用基于可辨识矩阵的粗集约简方法有效地生成属性子集,能够构造出具有更高精度和差异度的个体,从而提高神经网络集成的泛化能力。

特征加权能够细致地区分特征对结果影响的程度,已经成为当今流行的提高学习器的预测精度的方法之一。本文着重研究了如何将特征加权技术应用于提高神经网络集成的泛化能力,提出了一种基于特征加权的神经网络集成方法。该方法通过自适应遗传算法的优胜劣汰机制为输入属性确定了特征权值,提高了集成中各个体网络的精度和差异度,从而提高了神经网络集成的泛化能力。

提高学习效率是机器学习永远的追求。本文结合最新的并行计算编程技术,提出了一种神经网络集成方法的并行实现方案,显著地提高了集成的学习效率;并初步实现了一个基于计算网格的神经网络集成学习平台,该平台融合了本文提出的所有神经网络集成学习方法和高性能计算双重功能,从而方便用户快速有效地利用神经网络集成学习解决实际问题。

提高算法和模型的泛化能力,以增强预测结果的可靠性是地震预报领域中的一个十分重要的问题。本文将粗集约简用于地震预报指标和地震之间的关系研究,得到了彼此独立的与地震密切相关的预报指标,受到地震专家的认可,可以为地震学方法参数和物理关系的研究提供重要的指导。将本文提出的神经网络集成方法应用于地震综合预报、震后趋势判断以及未来地震形势判断,开拓了地震预报的方法和途径,取得了很好的效果。

本文的主要创新点如下:

(1) 将实验设计方法应用于集成的构建,同时使用最近邻聚类算法自动确定个体网络的隐层节点,进而提出了一种基于实验设计的异构神经网络集成方法,为有一定神经网络使用经验的用户提供了一种简单、科学地确定神经网络集成的结构和个体网络的训练参数的方法。

(2) 将构造性方法与选择性方法相结合,提出了一种实用的自动确定神经网络集成的结构和调整个体网络训练参数的方法,使得没有神经网络使用经验的用户也能够构造出泛化能力强的神经网络集成。

(3) 将粗集约简与神经网络集成方法相结合,提出了一种基于粗集约简的神经网络集成方法,利用改进的基于可辨识矩阵的粗集约简方法求解所有属性约简集,以产生差异度大的个体网络,从而提高了神经网络集成的泛化能力。

(4) 将特征加权技术与神经网络集成方法相结合,提出了一种基于特征加权的神经网络集成方法,通过自适应遗传算法确定输入属性的特征权值,同时提高了个体网络的精度和差异

度,从而提高了神经网络集成的泛化能力。

(5) 将并行计算引入神经网络集成学习,提出了一种并行实现神经网络集成的策略,并初步实现了一个基于计算网格的神经网络集成学习平台,提高了神经网络集成的学习效率和使用的方便性。

(6) 将本文提出的神经网络集成方法引入地震预报领域,分析了地震预报指标与地震之间的关系,促进了神经网络集成在地震预报领域的应用,有利于提高地震预报的准确性和可靠性。

**关键词** 神经网络集成,地震预报,实验设计,粗集约简,特征加权,并行计算



## Abstract

Generalization ability, efficiency, and convenience are the three major topics in the field of machine learning and its applications. Neural network ensemble is a learning paradigm, in which a collection of a finite number of neural networks is trained for the same task. Recently, it has become a hot topic in the machine learning community because of its high generalization ability. In this paper, several novel neural network ensemble methods were proposed and applied to the field of earthquake prediction on the basis of the following advanced techniques i. e. Design Of Experiment, Rough Set Reducts, Feature Weighting, and Parallel Computing.

The architecture of the ensemble and the training parameters of individual neural networks are closely relative to the performance of the ensemble and the convenience of the ensemble creation. This paper firstly employed Design Of Experiment to guide users with little experience of using neural networks to design the ensemble architecture and adjust the training parameters of individual neural networks. At the same time, the nearest-neighbor clustering algorithm was used to create the heterogeneous individuals with different hidden nodes. Secondly, the constructive algorithm

and selective algorithm were utilized to make the users without any experience of neural networks expediently and automatically construct the ensemble, and then the convenience of the ensemble creation was improved.

Generalization ability is the principle issue in the field of machine learning. Feature selection for ensembles has shown to be an effective strategy for improving the generalization ability of the ensemble. In this paper, we focused on how to select the appropriate feature subsets, and employed an optimized approach based on discernibility matrix for determining rough set reducts. Finally, the ensemble with high generalization ability was build up on the projections of the training set.

Feature weighting is the general case of feature selection, which has the potential of performing better than (or at least as well as) feature selection. In this paper, a new self-adaptive genetic algorithm was used to conduct a search for the weight vector, which could optimize the classification accuracy of the individual neural networks to improve the generalization ability of the ensemble.

Efficiency is another principle issue of machine learning. This paper proposed a parallelization strategy for the neural network ensemble by using MPI (Message Passing Interface) techniques to reduce the complexity and improve the efficiency of the ensemble's construction. Furthermore, a neural network ensemble platform based on the computing grid was designed and implemented to make the user

conveniently and efficiently apply the ensemble methods to solve the real-world problems.

To improve the prediction accuracy by using the models with high generalization ability is one of the important topics in the field of earthquake prediction. In this paper, the rough set theory was applied to analyze the dependency and correlation among the earthquake precursors, which would provide the direction for the research on the relationship between the earthquake precursors and the earthquake. The neural network ensemble methods proposed in this paper were used to predict the magnitude and time of earthquake, to estimate the future earthquake situation in China mainland, and to determine the earthquake sequence type. The experimental results showed that all of our methods were effective.

The creative works in this paper are listed below.

1. A novel neural network ensemble method based on Design of Experiment was proposed, in which the individual neural networks were heterogeneous, to help the users with little experience in using neural networks to design the ensemble architecture and adjust the training parameters of individuals.

2. A constructive and selective neural network ensemble method was proposed to make the users without any experience of neural networks to create the ensemble automatically.

3. Rough set theory was used for determining the appropriate attribute subsets, on which the individual neural

networks with high diversity can be created. Then, a novel ensemble method based on rough set reducts was proposed to improve the generalization ability of the ensemble.

4. By integrating feature weighting to ensemble techniques, we proposed a novel ensemble method, in which a new self-adaptive genetic algorithm was employed to conduct the search for an optimal weight vector.

5. Parallel computing techniques were employed to improve the computing efficiency of the proposed methods; furthermore, a neural network ensemble platform was developed based on the computing grid.

6. After the benchmark test on the UCI data sets, the proposed methods were applied to the field of earthquake prediction, where both the accuracy and the reliability were improved.

**Key words** neural network ensemble, earthquake prediction, design of experiment, rough set reducts, feature weighting, parallel computing



# 目 录

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 神经网络集成 .....	1
1.2 地震预报中神经网络应用的研究现状及存在的 问题 .....	17
1.3 本文的主要研究内容及其安排 .....	20
第 2 章 基于实验设计的神经网络集成方法 .....	26
2.1 实验设计简介 .....	26
2.2 基于实验设计的神经网络集成方法 .....	31
2.3 UCI 标准数据集上的实验 .....	37
2.4 DOEERBF 在地震序列类型判断的应用 .....	50
2.5 小结 .....	57
第 3 章 构造选择性神经网络集成方法 .....	58
3.1 构造选择性神经网络集成方法 .....	58
3.2 UCI 标准数据集上的实验 .....	66
3.3 CSERBF 在地震综合预报中的应用 .....	70
3.4 小结 .....	77
第 4 章 基于粗集约简的神经网络集成方法 .....	78
4.1 粗集理论 .....	78
4.2 基于粗集约简的神经网络集成方法 .....	81
4.3 UCI 标准数据集上的实验 .....	88