

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: B200424009

UDC \_\_\_\_\_

厦门大学

博士学位论文

延迟反馈神经网络和两层反馈神经网络的研究

Investigation on Delayed Feedback Neural Networks  
and Two-layer Feedback Neural Networks

吴桂坤

指导教师姓名: 赵鸿教授

专业名称: 凝聚态物理

论文提交日期: 2008年 月

论文答辩日期: 2008年 月

学位授予日期: 2008年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评阅人: \_\_\_\_\_

2008年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 摘 要

反馈神经网络是神经网络中最重要的类型之一，这种网络的突出特点就是它具有联想记忆的功能。反馈神经网络最重要的范例就是Hopfield网络，它已经被人们广泛地研究过，然而Hopfield网络和它的许多变种都存在着一些严重的缺陷，比如伪吸引子问题和低存储率问题。这些缺陷严重地限制了它们的实际应用能力。另外，Hopfield网络是典型的非线性动力系统，在近十几年来非线性动力学的发展中，人们认识到了非线性动力系统不仅可能存在不动点解，而且也可能存在大量的极限环或周期运动解。目前，绝大部分反馈神经网络都是利用系统的不动点作为信息存储的载体，但这种方式没有利用非线性动力系统大量存在的周期解，从某种意义上说是一种巨大的浪费。

最近，赵鸿教授提出了一套关于联想记忆反馈神经网络的整体学习规则（蒙特卡罗优化变异规则）[Phys.Rev.E.70,066137(2004)]。这种学习规则的基本思想就是：通过不断地优化变异随机选择的连接权矩阵元，从而使网络在给定的训练目标下达到整体最优。采用这种学习规则训练的反馈网络有许多非常有趣的动力学性质。特别是，用这种学习规则训练的反馈网络存在三个动力学性质非常不同的相区：混沌区、纯记忆区和混合区。在纯记忆区，伪吸引子被完全消除，因此它非常适合于联想记忆的应用。

本论文利用这套整体学习规则重点研究两个问题。第一个问题是推广蒙特卡罗优化变异规则的方法，使它能直接应用于延迟反馈神经网络的训练，并详细研究了用这种方法训练出的网络的动力学性能，如伪吸引子和存储率等。第二个问题是推广蒙特卡罗优化变异规则的方法，使它能直接应用于以极限环作为信息存储载体的网络，并研究极限环吸引子网络（包括多层反馈网络和延迟反馈网络）的动力学行为、网络性能，以及与对应的不动点吸引子网络的区别。

在本论文的第一部分，我们把蒙特卡罗优化变异规则推广到存储记忆模式为不动点吸引子和极限环吸引子的延迟反馈网络上，然后对这种延迟反馈网络

的存储率和动力学性质进行研究。我们的研究表明，采用蒙特卡罗优化变异规则训练的延迟反馈网络，和采用关联学习规则训练的延迟反馈网络一样，最大存储率和延迟的长度成线性增长关系，但前者的数值远远高于后者；另外，蒙特卡罗优化变异规则训练的延迟反馈网络的推广能力也比关联学习规则训练的延迟反馈网络要好；还有一个有趣的发现就是，在蒙特卡罗优化变异规则训练的延迟反馈网络中，如果记忆极限环的长度足够大，伪吸引子会完全消失，网络不存在混合区。作为应用例子，我们演示了用延迟反馈网络存储具有交叉点的多个极限环，从一小串数字中联想起整个数字序列。

在本论文的第二部分，我们采用多层的蒙特卡罗优化变异规则构造了一个两层的反馈神经网络，并对它的动力学性质进行了研究。该网络可以把记忆模式存储成不动点吸引子或者极限环吸引子，我们对极限环吸引子网络和不动点吸引子网络的动力学性质进行了比较，并发现前者的存储质量要比后者好，特别是，当记忆模式存储成长的极限环时，伪吸引子完全消失。本部分我们还将演示极限环吸引子网络的一个可行的应用，给定一个图形片段，联想出整个图形。

**关键词：** 反馈神经网络；联想记忆；极限环；吸引子；动力系统



## Abstract

Feedback neural network is one of the most important neural network, the most remarkable feature of this kind of network is the associative memory function. The most important paradigm of feedback neural network is the Hopfield network which has been studied widely, but the Hopfield network and its modifications have some serious limitations, such as the spurious attractor problem and low storage capacity problem. These limitations restrict their applications greatly. Moreover, Hopfield network is a typical nonlinear dynamical system. The progress of nonlinear dynamical systems in the past ten years has shown that there exist huge limit-cycle solutions as well as fixed-point solutions. At present, most of feedback neural networks make use of fixed-point attractors to store information. This method does not make full use of the limit-cycle solutions which exist hugely in nonlinear dynamical systems, so it is a waste in a certain sense.

Recently, a global learning rule (Monte Carlo adaptation rule) for feedback neural network with associative memory is proposed by Prof. Hong Zhao [Phys.Rev.E.70, 066137(2004)]. The basic idea of this learning rule is to obtain a certain optimization by continuously changing the elements of coupling matrix selected randomly. The feedback network designed by the learning rule has some very interesting dynamical behaviour. Particularly, there exist three different dynamical phases: chaos phase, pure memory phase and mixture phase. In the pure memory phase, the spurious attractors are suppressed completely, therefore it is very favourable for associative memory.

In this thesis, we investigate two problems by using the Monte Carlo adaptation rule. The first one is to extend the method of Monte Carlo adaptation rule to

delayed feedback network, so that the method can be used for designing delayed feedback networks directly. We study the dynamics performance of the network designed by the method in detail, such as spurious attractors and storage capacity. The second one is to extend the method of Monte Carlo adaptation rule, so that it can be directly used for designing the networks which store information as limit cycles. We study the dynamical behaviour and performance of the limit-cycle networks (including multilayer feedback networks and delayed feedback networks), and compare the differences between it and the corresponding fixed-point networks.

In the first part of this thesis, we extend the Monte Carlo adaptation rule to the delayed feedback neural network for storing memory patterns as fixed-point attractors or limit-cycle attractors, and then investigate the storage capacity and dynamics of it. It is found that the storage capacity of the networks is in proportion to delay length as in the networks trained by the correlation learning based on Hebb's rule, but is much higher than the latter. The generalization capacity of the networks is also higher than the latter. Another interesting finding is that the spurious attractors totally disappear in the networks trained by the Monte Carlo adaptation rule if the memory limit cycles are sufficiently long. As an example, we demonstrate the application of delayed feedback network for storing limit cycles which have common intersection points, the network recalls the whole number series by a part of it.

In the second part of this thesis, we construct a two-layer feedback neural network using the Monte Carlo adaptation rule to store memory patterns as fixed-point attractors or as limit-cycle attractors, and then investigate the dynamics of it. We compare the dynamics of the network with limit-cycle attractors and with fixed-point attractors. It is found that the former has better retrieval property than the latter. Particularly, spurious attractors can be suppressed completely

when the memory patterns are stored as a long limit cycle. In this part, we also demonstrate a feasible application of limit-cycle-attractor networks, the network recall whole picture by a segment of it.

**Keywords:** feedback neural network; associative memory; limit cycle; attractor; dynamical system

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

# 目 录

摘要	i
Abstract	iii
目录	vii
<b>第一章 绪论</b>	<b>1</b>
1.1 人脑和神经元	1
1.2 人工神经网络及其发展历史	2
1.2.1 什么是人工神经网络	2
1.2.2 神经网络的历史	3
1.3 本论文的研究工作和内容提要	5
参考文献	7
<b>第二章 神经网络的基础</b>	<b>9</b>
2.1 人工神经元	9
2.1.1 人工神经元的结构	9
2.1.2 传输函数的类型	10
2.1.3 随机神经元	12
2.2 神经网络的结构	12
2.2.1 单层前馈网络	12
2.2.2 多层前馈网络	13
2.2.3 反馈网络	14

2.3	神经网络的学习规则	15
2.3.1	学习规则的类型	15
2.3.2	误差校正学习	16
2.3.3	Hebb学习规则	17
2.4	动力系统基础	17
2.4.1	连续动力系统	18
2.4.2	离散动力系统	18
2.4.3	动力系统的稳定性	19
2.4.4	吸引子	22
2.5	Hopfield网络	24
2.5.1	连续Hopfield网络	25
2.5.2	离散Hopfield网络	26
2.5.3	最大存储率	29
2.5.4	伪吸引子问题	31
2.5.5	Hopfield网络的缺陷	33
2.5.6	仿逆规则	33
2.6	小结	36
	参考文献	37
<b>第三章</b>	<b>反馈神经网络的蒙特卡罗优化变异规则</b>	<b>41</b>
3.1	蒙特卡罗优化变异规则	41
3.1.1	基本思想	41
3.1.2	算法实现	43
3.2	动力学性质	44
3.2.1	动力学三相区	44
3.2.2	网络的对称性	47

3.2.3	对吸引域的控制 . . . . .	49
3.3	小结 . . . . .	50
	参考文献 . . . . .	51
<b>第四章</b>	<b>延迟反馈神经网络</b>	<b>53</b>
4.1	网络结构和关联学习规则 . . . . .	53
4.1.1	网络结构和关联学习规则 . . . . .	53
4.1.2	动力学性质 . . . . .	56
4.1.3	关联学习规则的缺陷 . . . . .	59
4.2	MCA学习规则训练的延迟反馈网络 . . . . .	59
4.2.1	延迟反馈网络的MCA学习规则 . . . . .	59
4.2.2	最大存储率 . . . . .	64
4.2.3	动力学性质 . . . . .	67
4.2.4	对吸引域的控制 . . . . .	71
4.2.5	伪吸引子的讨论 . . . . .	72
4.3	演示例子 . . . . .	75
4.4	小结 . . . . .	78
	参考文献 . . . . .	79
<b>第五章</b>	<b>两层反馈神经网络</b>	<b>81</b>
5.1	网络结构和MCA学习规则 . . . . .	81
5.1.1	网络结构 . . . . .	81
5.1.2	两层反馈网络的MCA学习规则 . . . . .	82
5.1.3	局域场分布 . . . . .	86
5.2	动力学性质 . . . . .	87
5.3	应用例子 . . . . .	91

5.4 小结 .....	93
参考文献 .....	94
<b>第六章 总结与展望</b>	<b>97</b>
6.1 总结 .....	97
6.2 展望 .....	98
<b>博士期间发表文章目录</b>	<b>101</b>
<b>致谢</b>	<b>103</b>



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库