



MATLAB应用技术

神经网络理论与

MATLAB R2007

MATLAB APPLICATION

实现

葛哲学 孙志强 编著
飞思科技产品研发中心 监制



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

MATLAB应用技术

神经网络理论与



实现

葛哲学 孙志强 编著
飞思科技产品研发中心 监制

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

午
作
已

权
举

内 容 简 介

本书是“MATLAB 应用技术”丛书之一，以最新推出的 MATLAB R2007 中的神经网络工具箱 5.0.2 版本为基础。本书前两章介绍了 MATLAB R2007 和神经网络的基础知识，对神经网络工具箱的重要函数按照功能和对应网络模型的不同进行了详细介绍，并给出了完整的示例。从第 3 章到第 5 章，分别介绍了几类比较重要的神经网络类型，包括前向网络、自组织映射网络、反馈网络等，并且介绍了这些网络的结构及学习算法，以及利用 MATLAB 函数的实现方法。第 6 章介绍了神经网络的图形用户界面和新增加的数据拟合的图形用户界面。后 5 章结合实例，分别讲述了如何利用神经网络工具箱来解决控制、故障诊断、预测和有源消声等应用领域中的实际问题。

本书可作为理工科各专业的高年级本科生、研究生学习神经网络的辅助教材，也可作为研究和应用这一领域的科技工作者的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

神经网络理论与 MATLAB R2007 实现 / 葛哲学，孙志强编著. —北京：电子工业出版社，2007.9

(MATLAB 应用技术)

ISBN 978-7-121-04089-4

I. 神… II. ①葛…②孙… III. 算法语言—应用—人工神经—神经网络 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 123771 号

责任编辑：孙伟娟

印 刷：北京天宇星印刷厂

装 订：三河市皇庄路通装订厂

出版发行：电子工业出版社

北京海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：22 字数：563.2 千字

印 次：2007 年 9 月第 1 次印刷

印 数：5 000 册 定价：29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

FOREWORD

前言

关注计算机科学，不断创新解决理论与应用之需的 MATLAB 精品图书

MATLAB 是当今最优秀的科技应用软件之一，它以强大的科学计算与可视化功能、简单易用、开放式可扩展环境，特别是所附带的 30 多种面向不同领域的工具箱支持，使得它在许多科学领域中成为计算机辅助设计和分析、算法研究和应用开发的基本工具和首选平台。

MATLAB 具有其他高级语言难以比拟的一些优点，编写简单，编程效率高，易学易懂，因此 MATLAB 语言也被通俗地称为演算纸式的科学算法语言。在控制、通信、信号处理及科学计算等领域中，MATLAB 都被广泛地应用，已经被认可为能够有效提高工作效率、改善设计手段的工具软件，掌握了 MATLAB 就好比掌握了开启这些专业领域大门的钥匙。

电子工业出版社长期致力于出版推荐计算机科学的优秀图书，一直重视 MATLAB 各个版本、各个应用领域的专业图书的出版，我们作为电子工业出版社旗下的计算机研发部，联合国内优秀的科研资深人士，编写出版了多种图书，受到了广大读者的喜爱，在图书市场的表现一直位居国内同类书前茅。

2002—2003 年，我们曾推出如下图书：	2005—2006 年，我们再度推出：
1. MATLAB 6.5 辅助神经网络分析与设计	1. MATLAB 7 基础与提高
2. MATLAB 6.5 辅助优化计算与设计	2. 神经网络理论与 MATLAB 7 实现
3. MATLAB 6.5 辅助图像处理	3. 小波分析理论与 MATLAB 7 实现
4. MATLAB 6.5 应用接口编程	4. MATLAB 7 辅助控制系统设计与仿真
5. MATLAB 6.5 辅助小波分析与应用	5. MATLAB 7 辅助信号处理技术与应用
	6. MATLAB 7.x 界面设计与编译技巧

2007 年 3 月，MathWorks 公司推出了 MATLAB R2007 版本的最新产品，升级了 MATLAB、Simulink 和其他模块，增加了多达 350 个新特性，支持基于 Intel 的 Mac、Windows Vista 及 64 位 Sun Solaris SPARC 平台，并支持多核处理器的多线程并行计算。MATLAB R2007 版本不仅提高了产品质量，同时也提供了数据分析、大规模建模、固定点开发、编码等新特性。

在 R2007 版推出之后，我们针对读者急需，在继承和发扬前期作品的优势上，陆续推出如下图书：

1. MATLAB R2007 基础与提高	4. 精通 MATLAB R2007
2. 神经网络理论与 MATLAB R2007 实现	5. MATLAB R2007 图像处理技术与应用
3. 小波分析理论与 MATLAB R2007 实现	

这些图书的推出，相信将在 MATLAB 新版本软件和使用之间架起一座桥梁，让国内的工程技术人员无须花费太多的时间和精力，就能尽快掌握该软件及其新特性、新功能，并通过大量的实例告诉使用者如何解决面临的实际问题。

它们涵盖了 MATLAB 使用基础、高级编程和重要领域的应用，相信这套丛书的推出，将为 MATLAB 工程技术人员提供最权威、最系统的知识参考，帮助他们快速解决学习、科研和工程实际中面临的问题。

本书的主要内容

神经网络由基本神经元相互连接，能模拟人脑的神经处理信息方式，进行信息并行处理和非线性转换，在实际中得到了大量的应用，解决了很多利用传统方法无法解决的难题。MATLAB 是一款强大的工程计算和仿真软件，刚刚发布的 R2007 产品族增加了更多强大的功能，其中对应的神经网络工具箱的版本号为 Version 5.0.2，它以神经网络理论为基础，提供了大量可直接调用的函数和命令，基本上囊括了目前应用比较成熟的神经网络设计方法，大大拓宽了神经网络的应用空间。利用 MATLAB 能够编写出各种网络设计和训练的子程序，可以使用户从烦琐的编程中解脱出来，大大提高工作效率。

因此，如何应用神经网络工具箱函数来解决工程实践中的问题已成为燃眉之急。我们根据自身多年来从事神经网络系统设计和 MATLAB 使用的经验，并且遵循“易于学习，方便使用，学习与实践相结合”的原则，编写了本书。通过大量的 MATLAB 实例为读者讲述了神经网络的 MATLAB 实现方法，图文并茂，形象生动，深入浅出，脉络清晰，可读性强，循序渐进地将作者在长期应用过程中积累的经验 and 心得穿插于书中的每章每节。读者通过该书可以学会应用此工具箱，从而解决工程实际中的问题。相信广大读者通过认真学习本书，可以快速学会神经网络技术和 MATLAB 实现方法，并打好牢固的知识基础，真正做到“事半功倍”，起到课堂上无法达到的学习效果。

第 1 章介绍了神经网络和 MATLAB 的基本知识，包括神经网络的基础知识、MATLAB 的基本使用方法、神经网络工具箱的特性。神经网络的基础知识包括神经网络的发展历史和神经网络模型的建立。MATLAB 的基础知识包括命令窗口、历史指令窗口、当前目录浏览器、工作空间浏览器、数组编辑器和 M 文件编辑器/调试器的操作方法。

第 2 章介绍了神经网络工具箱的使用方法和主要功能。根据工具箱函数功能的不同，首先介绍了通用函数的使用方法。然后根据网络模型的不同，全面介绍了各种神经网络函数的使用方法。使得读者可以对整个神经网络工具箱有个全面的了解。

第 3 章讲述了利用神经网络工具箱实现前向型的神经网络模型的方法。内容包括感知器网络、线性神经网络、BP 神经网络、径向基函数网络、GMDH 网络等。前向神经网络也是应用最为广泛的一类网络模型。

第 4 章阐述了利用神经网络工具箱实现反馈神经网络模型的方法。内容包括 Elman 神经网络、Hopfield 神经网络、CG 神经网络、盒中脑（BSB）模型、双向联想记忆（BAM）模型、回归 BP 神经网络和 Boltzmann 机网络。反馈网络是新版本神经网络工具箱更新的重点。

第 5 章叙述了利用神经网络工具箱实现自组织神经网络的方法。内容包括自组织竞争网络、自组织特征映射神经网络、自适应共振理论模型、LVQ 神经网络、CPN 模型等。其中自组织竞争网络是其他自组织神经网络的基础。

第 6 章讲解了利用图形用户界面 (GUI) 实现神经网络的方法。内容包括利用图形用户界面设计和产生神经网络, 导入和导出数据。重点增加了利用 GUI 和神经网络对拟合数据的介绍。

第 7 章论述了利用神经网络进行系统控制和基于 Simulink 的神经网络控制。主要内容包括神经网络系统控制的种类, 一个利用 MATLAB 的反馈控制实例及智能控制的 Simulink 实现。

第 8 章介绍了基于神经网络的故障诊断。首先介绍了神经网络在故障模式识别中的应用情况。然后结合不同的工业中的实例, 具体描述了利用 MATLAB 神经网络工具箱和不同神经网络模型解决实际问题。通过这一章的学习可以很好地把理论和实践结合起来。

第 9 章展示了神经网络的系统预测能力。先是通过对神经网络原理的回顾, 解释了神经网络预测能力的来源, 接着利用神经网络工具箱实现了不同领域的预测实例。

第 10 章叙述了神经网络的模糊控制原理。通过 MATLAB, 把神经网络和模糊理论结合起来, 实现对系统的模糊控制。

第 11 章讲解了神经网络在噪声抵消中的应用。首先介绍了噪声抵消的原理, 然后结合实例, 讲述利用 MATLAB 的工具箱函数和 Simulink 对有噪声信号进行去噪处理。

附: 本书与前版《神经网络理论与 MATLAB 7 实现》的主要差别

1. 本书全部算例的程序和计算结果已在 MATLAB R2007 上修正和更新。

MATLAB R2007 相关模块的升级及其 Bug 的修复, 将导致部分函数发生变化, 从而影响其计算结果。本书更新后的程序可完全保证读者在 MATLAB R2007 环境下重现算例结果。

2. 为了突出内容的连贯性和结构的合理性, 新版书的内容进行了如下调整。

(1) 删除了第 1 章的“MATLAB 语言介绍”一节的内容, 并重新撰写了“MATLAB R2007 的神经网络工具箱”一节, 使读者对 MATLAB 和神经网络工具箱的认识更为全面和准确。

(2) 调整了第 2 章的 2.4 节、2.5 节、2.6 节及 2.7 节内容的顺序, 使得章节介绍的顺序和 MATLAB 神经网络工具箱的结构一致。

(3) 调整了前一版第 3 章的“线性神经网络及 MATLAB 实现”和“BP 网络及 MATLAB 实现”两节内容的顺序, 使得章节的结构和 MATLAB 神经网络工具箱的结构一致。

3. 紧随 MATLAB 升级, 并提高读者对 MATLAB 神经网络工具箱的理解和应用水平, 新版书的内容进行了如下更新。

(1) 重新撰写绝大部分章节的引言等内容, 突出了章节的重要性、上下文的连贯性及 MATLAB R2007 版本的新特点。

(2) 重新撰写了第 1 章的内容, 重点突出了 MATLAB R2007 的神经网络工具箱的功能及 MATLAB 语言基础。

(3) 重新组织了第 2 章的内容, 根据网络模型类别的不同, 分别介绍神经网络工具箱

的函数，重点增加了反馈神经网络一节内容。

(4) 第3章增加了如何提高泛化能力的内容，重点突出了利用神经网络工具箱函数实现前向型神经网络。

(5) 第4章是新版本神经网络工具箱更新的重点，在内容上突出了利用神经网络工具箱函数实现反馈神经网络。

(6) 第5章增加了对自组织竞争神经网络的原理的解释。

(7) 第6章增加了利用图形用户界面(GUI)和神经网络进行数据拟合的新功能介绍，使得用户在图形用户界面使用中又多了一个应用领域。

(8) 第7章重新撰写了不同类型神经网络控制模式的理论介绍。

(9) 第8章增加了神经网络在故障诊断中的应用实例，重新撰写了部分实例的理论介绍。

(10) 第9章增加了神经网络在系统预测中的应用实例。

(11) 第10章增加了一个神经网络模糊控制的实例，突出了数据模糊化的作用。

(12) 第11章对于例子中的神经网络模型进行了修改，也针对新版的MATLAB神经网络工具箱修改了程序代码。

4. 参考文献进行了内容的增补和更新。

本书内容新颖，讲解过程循序渐进，深入浅出。通过本书的系统学习，读者可以很快学会使用神经网络模型，只需要较短时间就能利用MATLAB神经网络工具箱解决实际问题，真正做到“事半功倍”。

本书由葛哲学、孙志强、刘小征负责全书的统稿与审校工作。孙志强、刘小征、常巍、葛诚同志负责本书第1章到第5章的编写；葛哲学、孙志强、谢光军等负责本书第6、7、9、10章的编写；孙志强、黄朝峰负责本书的第8章和第11章的编写。此外，黄朝峰、王新峰、淳静等也参与了书稿的材料整理和测试工作，并提供了大量的帮助与意见。另外，还有很多同志在本书的编校过程中付出了大量的劳动，在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为各领域工程技术人员的参考用书，也可作为高等学校理工类各专业高年级本科生和研究生的神经网络课程的教材，还可作为其他科技工作者应用神经网络的参考资料。

由于时间仓促，加之作者本身水平有限，书中错误之处在所难免。在此，敬请各领域专家和广大读者批评指正。

编 著 者

联系方式

咨询电话：(010) 68134545 88254160

电子邮件：support@fecit.com.cn

服务网址：<http://www.fecit.com.cn> <http://www.fecit.net>

通用网址：计算机图书、飞思、飞思教育、飞思科技、FECIT

第 1 章 概述.....1	2.3 线性网络的神经网络 工具箱函数.....42
1.1 神经网络基础知识.....1	2.3.1 线性网络创建和 设计函数.....42
1.1.1 神经网络发展史.....2	2.3.2 学习函数.....43
1.1.2 神经网络模型.....3	2.4 BP 网络的神经网络 工具箱函数.....46
1.1.3 神经网络的应用.....8	2.4.1 BP 网络创建函数.....47
1.2 MATLAB 语言及入门.....8	2.4.2 神经元上的传递函数.....48
1.2.1 MATLAB 概述.....8	2.4.3 BP 网络学习函数.....51
1.2.2 MATLAB 语言特点.....10	2.4.4 BP 网络训练函数.....52
1.2.3 MATLAB 快速入门.....12	2.4.5 性能函数.....54
1.3 MATLAB 神经网络工具箱.....22	2.4.6 显示函数.....55
1.4 小结.....24	2.5 反馈网络的神经网络 工具箱函数.....61
第 2 章 神经网络工具箱函数及实例.....25	2.5.1 动态网络的创建函数.....62
2.1 神经网络工具箱中的 通用函数.....25	2.5.2 Hopfield 网络的 工具箱函数.....64
2.1.1 神经网络仿真 函数 sim.....26	2.5.3 Elman 网络的 工具箱函数.....66
2.1.2 神经网络训练及 学习函数.....27	2.6 径向基网络的神经网络 工具箱函数.....67
2.1.3 神经网络初始化函数.....30	2.6.1 神经网络创建函数.....68
2.1.4 神经网络输入函数.....32	2.6.2 转换函数.....69
2.1.5 神经网络传递函数.....33	2.6.3 传递函数.....69
2.1.6 其他重要函数.....35	2.7 自组织竞争网络的神经 网络工具箱函数.....72
2.2 感知器的神经网络 工具箱函数.....35	2.7.1 神经网络创建函数.....73
2.2.1 感知器创建函数.....36	
2.2.2 显示函数.....36	
2.2.3 性能函数.....37	

2.7.2	传递函数	74
2.7.3	距离函数	76
2.7.4	学习函数	78
2.7.5	初始化函数	79
2.7.6	权值函数	80
2.7.7	显示函数	80
2.7.8	结构函数	81
2.8	小结	87
第3章	前向型神经网络理论及 MATLAB 实现	89
3.1	感知器网络及 MATLAB 实现	89
3.1.1	单层感知器网络	90
3.1.2	多层感知器	96
3.2	线性神经网络及 MATLAB 实现	100
3.2.1	线性神经网络的结构	100
3.2.2	线性神经网络的学习	101
3.2.3	线性网络的 MATLAB 仿真	101
3.3	BP 网络及 MATLAB 实现	108
3.3.1	BP 网络理论	108
3.3.2	BP 网络的 MATLAB 设计	113
3.4	径向基函数网络及 MATLAB 实现	117
3.4.1	径向基网络结构	117
3.4.2	径向基函数的 学习过程	118
3.4.3	RBF 网络应用实例	120
3.4.4	基于 RBF 网络的 非线性滤波	122
3.4.5	基于 GRNN 的 函数逼近	124
3.4.6	基于概率神经 网络的分类	126

3.5	GMDH 网络 及 MATLAB 实现	128
3.5.1	GMDH 网络理论	128
3.5.2	GMDH 网络的训练	129
3.5.3	基于 GMDH 网络的预测	130
3.6	小结	131

第4章	反馈型神经网络理论及 MATLAB 实现	133
4.1	反馈网络的概念	133
4.2	Elman 神经网络及应用	136
4.2.1	Elman 神经网络结构	136
4.2.2	Elman 神经网络的学习过程	136
4.2.3	Elman 神经网络的 工程应用	137
4.2.4	基于 Elman 网络的 空调负荷预测	141
4.3	Hopfield 神经网络及 MATLAB 实现	145
4.3.1	Hopfield 网络描述	145
4.3.2	Hopfield 网络的 学习过程	146
4.3.3	几个重要结论	147
4.3.4	Hopfield 网络的 MATLAB 开发	147
4.3.5	基于 Hopfield 网络的 数字识别	150
4.4	CG 网络模型及应用	152
4.4.1	CG 神经网络理论	152
4.4.2	基于 CG 网络的 有限元分析	153
4.5	盒中脑 (BSB) 模型及 MATLAB 实现	153
4.5.1	BSB 神经网络 模型描述	153
4.5.2	BSB 的 MATLAB 实现	154

4.6	双向联想记忆 (BAM) 及 MATLAB 实现.....	156
4.6.1	Kosko 型 BAM 网络模型	156
4.6.2	BAM 网络的 实例分析	157
4.7	回归 BP 网络及应用	159
4.7.1	回归 BP 网络概述	159
4.7.2	基于回归 BP 网络的 房价预测	160
4.8	Boltzmann 机网络及仿真.....	161
4.8.1	BM 网络的基本结构	161
4.8.2	BM 模型的工作 规则和学习规则	161
4.8.3	BM 网络的 MATLAB 仿真.....	165
4.9	小结	167
第 5 章	自组织与 LVQ 神经网络理论 及 MATLAB 实现.....	169
5.1	自组织竞争网络及 MATLAB 实现.....	169
5.1.1	基本竞争型神经 网络概述	169
5.1.2	自组织竞争 网络的应用	173
5.2	自组织特征映射 (SOM) 神经 网络及 MATLAB 实现.....	175
5.2.1	SOM 网络的结构	176
5.2.2	SOM 网络学习算法	177
5.2.3	基于 SOM 网络的 土壤分类	178
5.2.4	基于 SOM 网络的 人口分类	180
5.3	自适应共振理论模型 (ART) 及 MATLAB 实现.....	185
5.3.1	ART-1 型网络 模型描述	185

5.3.2	ART-1 网络的 学习及工作过程	186
5.3.3	ART-1 网络的 应用实例	187
5.4	学习矢量量化 (LVQ) 神经 网络及 MATLAB 实现.....	190
5.4.1	LVQ 网络的结构	190
5.4.2	LVQ 网络的 学习规则	191
5.4.3	基于 LVQ 网络的 模式识别	192
5.5	对向传播网络 (CPN) 及 MATLAB 实现.....	196
5.5.1	CPN 概述	196
5.5.2	CPN 应用实例	199
5.6	小结	204
第 6 章	图形用户接口 GUI	205
6.1	概述	205
6.2	网络设计	206
6.3	网络训练与仿真	207
6.4	数据操作	210
6.4.1	工作空间到 GUI 的 数据导入	210
6.4.2	GUI 到工作空间的 数据导出	211
6.4.3	数据的存储和读取	212
6.4.4	数据删除	214
6.5	神经网络拟合工具箱的 图形界面	214
6.6	小结	217
第 7 章	神经网络控制理论及 应用设计	219
7.1	神经网络控制结构	219
7.1.1	神经网络监督控制	219
7.1.2	神经网络直接 逆控制	221
7.1.3	NN 自适应控制	221

7.1.4	神经网络内模控制	222	8.5.1	BP 网络设计	254
7.1.5	神经网络预测控制	223	8.5.2	网络训练	256
7.1.6	神经网络自适应 评判控制	223	8.5.3	网络测试与应用	257
7.2	反馈线性化控制及 MATLAB 实现	225	8.6	基于 RBF 网络的船用 柴油机故障诊断	258
7.2.1	基于神经网络的 反馈线性化控制原理	225	8.6.1	问题描述	258
7.2.2	反馈线性化控制实例	226	8.6.2	涡轮增压系统的 故障诊断	259
7.3	基于 Simulink 的神经 网络控制	230	8.6.3	网络设计	261
7.3.1	基于神经网络的 MPC 原理	230	8.7	RBF 神经网络在旋转机械 故障诊断中的应用	263
7.3.2	模型预测控制实例	231	8.7.1	问题概述	263
7.4	小结	237	8.7.2	RBF 神经网络设计	264
第 8 章	基于神经网络的故障诊断	239	8.8	小结	267
8.1	神经网络与故障模式识别	240	第 9 章	基于神经网络的预测	269
8.1.1	常用的模式识别方法	240	9.1	引言	269
8.1.2	神经网络在故障 模式识别中应用	240	9.2	基于神经网络的预测原理	270
8.2	基于 BP 网络和 Elman 网络的齿轮箱故障诊断	242	9.2.1	正向建模	270
8.2.1	工程描述	242	9.2.2	逆向建模	270
8.2.2	输入和目标向量设计	242	9.3	电力系统负荷预报的 MATLAB 实现	271
8.2.3	BP 网络设计	243	9.3.1	问题描述	272
8.2.4	Elman 网络设计	246	9.3.2	输入/输出向量设计	272
8.3	基于 SOM 网络的回热 系统故障诊断	248	9.3.3	BP 网络设计	273
8.3.1	背景	248	9.3.4	网络训练	274
8.3.2	SOM 网络设计	249	9.4	河道浅滩演变预测的 MATLAB 实现	276
8.4	基于概率神经网络的 故障诊断	251	9.4.1	基于 BP 网络的 演变预测	276
8.4.1	概述	251	9.4.2	基于 RBF 网络的 演变预测	282
8.4.2	基于 PNN 的 故障诊断	251	9.4.3	结论	283
8.4.3	结论	254	9.5	地震预报的 MATLAB 实现	283
8.5	基于 BP 网络的设备状态 分类器设计	254	9.5.1	概述	284
			9.5.2	BP 网络设计	284
			9.5.3	BP 网络训练与测试	285
			9.5.4	地震预测的竞争 网络模型	289

9.6 交通运输能力预测的	
MATLAB 实现.....	291
9.6.1 背景概述	292
9.6.2 网络创建与训练	292
9.6.3 结论与分析	296
9.7 股市预测的 MATLAB	
实现	298
9.7.1 股市概述	299
9.7.2 网络训练与测试	300
9.8 财务失败预测的	
MATLAB 实现.....	301
9.8.1 问题描述	302
9.8.2 样本的收集和处理	302
9.9 农作物虫情预测的	
MATLAB 实现.....	304
9.9.1 基于神经网络的	
虫情预测原理	305
9.9.2 BP 网络设计	305
9.10 用水量预测的	
MATLAB 实现	308
9.10.1 问题概述	309
9.10.2 RBF 网络设计.....	309
9.11 小结	311
第 10 章 基于神经网络的模糊控制	313
10.1 引言	313
10.2 神经网络模糊控制的	
结构和特征.....	313
10.2.1 神经网络模糊	
控制器的结构	314
10.2.2 神经网络模糊	
控制器的特征	314
10.2.3 神经网络模糊	
控制器的应用实例	316
10.3 基于 MATLAB 的神经模糊	
控制洗衣机仿真	319
10.3.1 洗衣机的模糊控制	319
10.3.2 洗衣机的神经网络	
模糊控制器的设计	321
10.4 模糊神经网络在配送	
中心选址中的应用	324
10.4.1 问题描述	325
10.4.2 网络设计	325
10.5 小结	328
第 11 章 基于神经网络的	
自适应噪声抵消技术	329
11.1 引言	329
11.2 自适应噪声抵消实现原理	330
11.2.1 自适应滤波器	330
11.2.2 自适应噪声抵消	
系统基本原理	330
11.3 噪声抵消系统的	
MATLAB 仿真	332
11.3.1 BP 网络模型建立.....	332
11.3.2 基于神经网络	
工具箱的 BP 网络	
学习和训练	332
11.3.3 基于 Simulink 的噪声	
抵消系统设计及	
动态仿真	334
11.4 小结	336
参考文献	337

第 1 章 概 述

本章主要介绍了神经网络和 MATLAB 的一些基础知识。首先从神经网络的产生、发展,神经网络模型的建立,以及人工神经网络等方面介绍了神经网络的基础知识,使读者对神经网络有个初步的了解和认识;然后概述了 MATLAB R2007 版本软件的基本面貌和使用方法;最后简单介绍了 MATLAB 最新神经网络工具箱的主要内容。本章内容是基于 MATLAB R2007 进行神经网络分析、设计与实现工作的知识基础。

本章主要内容:

- 神经网络基础知识
- MATLAB 语言及入门
- MATLAB 神经网络工具箱

1.1 神经网络基础知识

人工神经网络(Artificial Neural Networks, ANN)是由大量简单的基本元件——神经元相互连接,通过模拟人的大脑神经处理信息的方式,进行信息并行处理和非线性转换的复杂网络系统。由于神经网络具有强大的学习功能,可以比较轻松地实现非线性映射过程,并且具有大规模计算的能力。因此,它在自动化、计算机和人工智能领域都有着广泛的适用性,实际上也确实得到了大量的应用,解决了很多利用传统方法难以解决的问题。

自第一台计算机于 1946 年问世以来,电子计算机经过多次更新换代,信息处理能力不断完善和提高,在信息化社会中占有十分重要的地位。但是计算机在识别能力上却与人相去甚远。例如,一个人可以很容易地识别他人的脸孔,但计算机很难做到这一点。这是因为脸孔的识别不能用一个精确的数学模型加以描述,而计算机工作则必须有对模型进行各种运算的指令才行,得不到精确的模型,程序也就无法编制。而大脑是由生物神经元构成的巨型网络,它在本质上不同于计算机,是一种大规模的并行处理系统,它具有学习、联想记忆、综合等能力,并有巧妙的信息处理方法。人工神经网络(简称神经网络)也是由大量的、功能比较简单的形式神经元互相连接而构成的复杂网络系统,用它可以模拟大脑的许多基本功能和简单的思维方式。尽管它还不是大脑的完美元缺的模型,但它可以通过学习来获取外部的知识并将其存储在网络内,可以解决计算机不易处理的难题,特别是语音和图像的识别、理解,知识的处理,组合优化计算和智能控制等一系列本质上为非计算的问题。

因此,神经网络技术在很多领域中得到了广泛的应用,同时已成为当前人工智能领域中最令人感兴趣和最富有魅力的研究课题之一。

1.1.1 神经网络发展史

神经网络系统理论的发展历史是不平衡的,自 1943 年心理学家 McCulloch 和数学家 Pitts 提出神经元生物学模型(简称 M-P 模型)以来,至今已经有 50 多年的历史了。在这 50 多年的发展历史中,大体可以分为以下几个发展阶段。

1. 初期阶段

自 1943 年 M-P 模型开始,至 20 世纪 60 年代为止,这一段时间可以称为神经网络系统理论发展的初期阶段。这个时期的主要特点是多种网络的模型的产生与学习算法的确定。如:1944 年 Hebb 提出了 Hebb 学习规则,该规则至今仍是神经网络学习算法的一个基本规则;1957 年 Rosenblatt 提出了感知器(Perceptron)模型;1962 年 Widrow 提出了自适应(Adaline)线性元件模型等。这些模型和算法在很大程度上丰富了神经网络系统理论。

2. 停滞期

20 世纪 60 年代到 70 年代,神经网络系统理论的发展还处于一个低潮时期,造成这种情况的原因是发展过程中遇到了本质的困难,即电子线路交叉极限的困难(对于 n 个神经元就存在 n^2 条连线)。在当时的条件下,神经元数量 n 的大小受到极大的限制,因此神经网络系统不可能完成高度集成化、智能化的计算任务。同时,神经网络系统理论本身也有很多不完善的地方。所以,神经网络系统理论与应用研究工作进展缓慢。另一方面,这一时期正是数字计算机发展的全盛时期,无论在硬件、软件还是技术商品市场方面都取得了突飞猛进的发展,使得大批有才华的科学家的注意力都转移到数值计算机方面了。

虽然形势如此严峻,但仍有很多科学家在困难条件下坚持开展研究,并提出了很多种不同的网络模型,展开了增加网络功能和改善学习算法等方面的研究,为神经网络系统发展的高潮奠定了坚实的基础。

Stephen Grossberg 是这些人中最有影响力的,他深入研究了心理学和生物学的处理,以及人类信息处理的现象,把思维和脑紧密地结合在一起,形成了统一的理论。

芬兰的 Kohonen 在 1971 年开始了随机连接变化表方面的研究工作,从次年开始,他将研究目标集中到联想记忆方面。Kohonen 将 LVQ 网络应用到语音识别、模式识别和图像识别方面,取得了很大的成功。

3. 黄金时期

从 20 世纪 80 年代开始,是神经网络系统理论发展的黄金时期。这个时期最具标志性的人物是美国加州工学院的物理学家 John Hopfield。他于 1982 年和 1984 年在美国科学院院刊上发表了两篇文章,提出了模仿人脑的神经网络模型,即著名的 Hopfield 模型。Hopfield 网络是一个互连的非线性动力学网络,它解决问题的方法是一种反复运算的动态过程,这是符号逻辑处理方法所不具备的性质。

20 世纪 80 年代,关于智能计算机发展道路的问题日趋迫切地提到日程上来。由于计算机的集成度日趋极限状态,但数值计算的智能水平与人脑相比,仍有较大的差距,因此,就需要从新的角度来思考智能计算机的发展道路问题。这样一来,神经网络系统理论重新受到重视。所以,20 世纪 80 年代后期到 90 年代初,神经网络系统理论形成了发展的热点,

多种模型、算法和应用问题被提出,研究经费重新变得充足,使得研究者们完成了很多有意义的工作。

目前,神经网络系统理论与技术的发展大体分以下3个方面进行。

首先在硬件技术方面,一些发达国家,如美国和日本均实现了规模超过1 000个神经元的网络系统,这样的系统具有极高的运算速度,而且已经在股票数据分析中得到了应用。另外,为了克服电子线路交叉极限问题,很多国家都在研究电子元件之外的神经网络系统,如光电子元件和生物元件等。

在神经网络系统理论的研究方面,主要的进展有 Boltzmann 机理论的研究、细胞网络的提出和性能指标的分析等。

神经网络系统的应用研究主要集中在模式识别(语音和图像识别)、经济管理和优化控制等方面,它和数学、统计中的多个学习有着密切的联系,如线性 and 非线性规划问题、数值逼近、统计计算等。另外,在其他信息处理问题中也有很多应用,如数据压缩、编码、密码和股市分析等领域,应用内容十分丰富。

1.1.2 神经网络模型

神经网络是由大量的处理单元(神经元)互相连接而成的网络。为了模拟大脑的基本特性,在神经科学研究的基础上,提出了神经网络的模型。但是,实际上神经网络并没有完全反映大脑的功能,只是对生物神经网络进行了某种抽象、简化和模拟。神经网络的信息处理通过神经元的相互作用来实现,知识与信息的存储表现为网络元件互连分布式的物理联系。神经网络的学习和识别取决于各神经元连接权系数的动态演化过程。

1. 生物神经元

神经元模型是基于生物神经元的特点提出的。人脑由大量的生物神经元组成,数量级为 10^{12} ,神经元之间互相有连接,从而构成一个庞大而复杂的神经网络。

神经元是大脑处理信息的基本单元,结构如图 1-1 所示。神经元主要由3部分组成:细胞体、树突和突触(也叫神经键)。

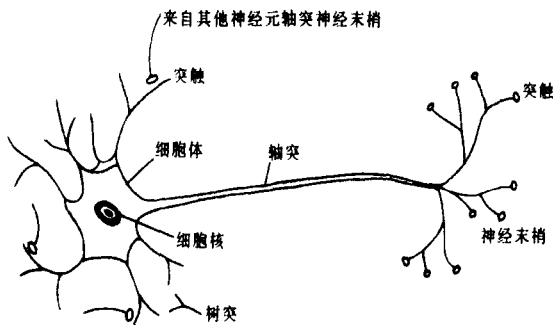


图 1-1 生物神经元

细胞核、细胞质和细胞膜组成细胞体。细胞体的作用是接受和处理信息。树突是细胞体向外延伸的纤维体,它是神经元接受其他神经元信息的通道。神经元的信息输出通道是轴突,在图 1-1 中是细胞体向外延伸最长、最粗的树枝纤维体,也叫神经纤维,它的长度

从几个微米到 1 米左右都有。轴突末端也有许多向外延伸的树枝状纤维体，称为神经末梢，它是神经元信息的输出端，用于输出神经元的动作脉冲。髓鞘纤维和无髓鞘纤维是轴突的两种结构形式，两者传递信息的速度不同，前者约为后者的 10 倍。神经元之间传递信息的输入/输出接口是一个神经元的神经末梢与另一神经元树突或细胞体的接触处，称为突触。每个神经元约有 $10^3 \sim 10^4$ 个突触。

其实对于神经元来说，它们传递处理和传递信息的地方就在突触附近。如果神经元的突触收到的来自轴突的脉冲幅度超过神经元的域值电压，突触间隙就会有突触释放的神经传递的化学物质。随着这些化学物质的扩散，位于突触后膜的离子通道开始开放，并且产生离子流，离子流会在突触后膜产生正或负的点位，称为突触后电位。突触有两种：兴奋性突触和抑制性突触。相应地前者产生正突触后电位，后者产生负突触后电位。突触和大量的其他神经元起着连接一个神经元的各树突和细胞体的作用。这些突触后电位的变化将对该神经元产生综合作用，即当这些突触后电位的总和超过某一阈值时，该神经元便被激活，并产生脉冲，而且产生的脉冲数与该电位总和值的大小有关。脉冲沿轴突向其他神经元传送，从而实现了神经元之间信息的传递。突触传递信息有一定的延迟时间，对于温血动物一般为 $0.3 \sim 1\text{ms}$ 。

当一个神经元突触前传来一串脉冲时，突触后电位的变化是其中所有单脉冲冲动效应的累加，即时间上的累加。而该神经元与其他很多神经元相连接的突触前同时传来的脉冲也能引起该突触后电位的变化，即空间上的累加。时间累加和空间累加都会对突触后电位产生影响。

2. 神经元结构模型

归纳一下生物神经元传递信息的过程，可以看出神经元一般表现为一个多输入（即它的多个树突和细胞体与其他多个神经元轴突末梢突触连接）、单输出（每个神经元只有一个轴突作为输出通道）的非线性器件，通用的结构模型如图 1-2 所示。

其中， u_i 为神经元 i 的内部状态， θ_i 为阈值， x_j 为输入信号， w_{ij} 表示与神经元 x_j 连接的权值， s_i 表示某一外部输入的控制信号。

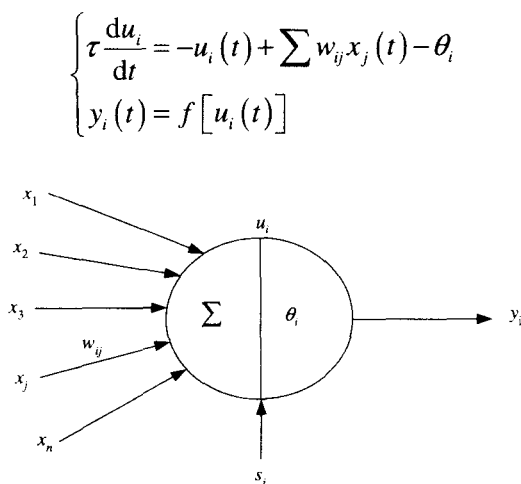


图 1-2 神经元结构模型

神经元模型常用一阶微分方程来描述，它可以模拟生物神经网络突触膜电位随时间变化的规律。

神经元的输出由函数 f 表示，一般利用以下函数表达式来表现网络的非线性特征。

(1) 阈值型，为阶跃函数

$$f(u_i) = \begin{cases} 1 & u_i \geq 0 \\ 0 & u_i < 0 \end{cases}$$

(2) 线性型

$$f(u_i) = \begin{cases} 1 & u_i \geq u_2 \\ au_i + b & u_i \leq 0 < u_2 \\ 0 & u_i < u_1 \end{cases}$$

(3) S 型

$$f(u_i) = \frac{1}{1 + \exp(-u_i/c)^2}$$

其中， c 为常数。

S 型函数反映了神经元的饱和特性，由于其函数连续可导，调节曲线的参数可以得到类似阈值函数的功能，因此，该函数被广泛应用于许多神经元的输出特性中。

3. 神经网络的互连模式

根据连接方式的不同，神经网络的神元之间的连接有如下几种形式。

1) 前向网络

前向网络结构如图 1-3 所示，神经元分层排列，分别组成输入层、中间层（也称为隐含层，可以由若干层组成）和输出层。每一层的神元只接受来自前一层神经元的输入，后面的层对前面的层没有信号反馈。输入模式经过各层次的顺序传播，最后在输出层上得到输出。感知器网络和 BP 网络均属于前向网络。

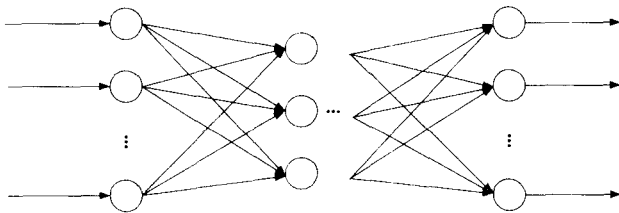


图 1-3 前向网络结构

2) 有反馈的前向网络

其结构如图 1-4 所示，输出层对输入层有信息反馈，这种网络可用于存储某种模式序列，如神经认知机和回归 BP 网络都属于这种类型。