

前 言

MATLAB 是英文 MATrix LABoratory 的缩写,意为矩阵实验室,其产生的最初目的是为软件中的矩阵运算提供方便。MATLAB 是一种解释性语言,它采用技术计算语言,几乎与专业领域中所使用的数学表达式相同。不同工具箱中的专业函数相对独立。MATLAB 中的基本数据元素是矩阵,它提供了各种矩阵的运算和操作,并有较强的绘图能力,所以得以广为流传,并成为当今国际控制界应用最广、备受人们喜爱的一种软件环境。除了的控制界应用外, MATLAB 还在生物医学工程、信号分析、语言处理、图像信号处理、雷达工程、统计分析、计算机技术和数学等各行各业中都有极其广泛的应用。

虽然 MATLAB 最初并不是为控制理论与系统的设计者们编写的,但是 MATLAB 软件一出现就很快引起了控制界研究人员的瞩目,因为它把看起来相当繁琐复杂的矩阵操作变得简单得令人难以置信,加上 MATLAB 还能十分容易地绘制各种精美的图形,从而吸引了世界上控制界的许多名家,在自己擅长的领域编写了许多具有特殊意义的 MATLAB 工具箱,这又反过来使得 MATLAB 更加具有吸引力。因为利用 MATLAB 及其工具箱所得结果是相当令人信服的,所有数字及其数据处理以及专业公式的计算都是基于公认的算法,由国际上各有关的顶尖专家编写而成。至今为止, MATLAB 环境下的与控制界有关的工具箱有:

控制系统工具箱 (Control system)
频域系统工具箱 (Frequency Domain system)
鲁棒控制工具箱 (Robust control)
系统辨识工具箱 (System identification)
信号处理工具箱 (Signal processing)
最优化工具箱 (Optimization)
神经网络工具箱 (Neural network)
样条工具箱 (Splines)
模糊逻辑工具箱 (Fuzzy logic)
小波工具箱 (Wavelet)
 μ 分析与综合工具箱 (μ -analysis and synthesis)
非线性控制设计工具箱 (Nonlinear control design)

MATLAB 之所以有如此强大的功能是在于其还在不断扩大的工具箱的应用上,离开了工具箱的应用, MATLAB 环境下的操作也仅仅是简单的矩阵运算与作图而已。而要想利用工具箱为己服务,必须知道工具箱能做什么? 它的理论依据是什么? 它能解决什么问题? 达到什么目的? 可以这么说,每一个工具箱都有一门专业理论作为背景的。它是为这个理

论服务的。它将该理论中所涉及到的公式运算、方程求解包括复杂的矩阵操作，全都编写成了 MATLAB 环境下的子程序。设计者只要根据自己的需要，通过直接调用函数名，输入变量，运行函数，便可立即得到结果，从而大大节省了设计人员的编程和运算求解的时间。因而 MATLAB 工具箱具有很强的专门知识要求，它是为设计人员在运用某一专门理论解决问题时所提供的有效快捷的工具。只有在掌握了其理论的基础上才能够明白工具箱中的每一个函数的意义，所要达到的目的和所要解决的问题，才能够正确地使用它们，使工具箱很好地为自己服务。

神经网络工具箱正是 MATLAB 环境下所开发出来的许多工具箱之一。它是以人工神经网络理论为基础，用 MATLAB 语言构造出典型神经网络的激活函数，如：S 型、线性、竞争层、饱和线性等激活函数。使设计者对所选定网络输出的计算，变成对激活函数的调用。另外，根据各种典型的修正网络权值的规则，加上网络的训练过程，用 MATLAB 编写出各种网络权值训练的子程序。网络的设计者则可以根据自己的需要去调用工具箱中有关神经网络的设计与训练的程序，使自己能够从繁琐的编程中解脱出来，集中精力去思考问题和解决问题，从而提高效率和解题质量。

正是因为 MATLAB 环境下的工具箱的使用需要较强的专业理论知识，所以本书的重点放在对人工神经网络理论的介绍以及与神经网络工具箱应用的结合点上。已经学会使用 MATLAB 语言的读者，通过本书可以掌握人工神经网络的理论，并能够较快的学会用其工具箱设计出网络来解决实际问题。已掌握人工神经网络理论的读者，通过本书可以学会用 MATLAB 设计、训练网络，使理论上的神经网络开始为实际问题服务，从理论走向实际应用。这一步，如果没有 MATLAB 的帮助，实现起来将是较为困难的。即使对于已有过实际应用的读者，通过本书也可以从中了解到许多很难发现或证实的神经网络特性与功能，能够对神经网络有更进一步的理解与认识，为其应用开拓思路，同时再加上学会了运用 MATLAB 环境下的神经网络工具箱，将使得设计者如虎添翼，有能力设计出功能更强、更有效的神经网络。

为此，本书在每一章里都给出了大量的应用实例，并全部采用 MATLAB 以及神经网络工具箱中的函数来求解。从而使读者能够采用工具箱中的函数直接设计训练网络，快速、准确地看到神经网络解决问题的能力以及各种网络的特性。这使得读者通过本书的学习，在理解和掌握了人工神经网络理论的同时，又可以运用 MATLAB 程序来设计网络，将其用于实际问题。即使对于目前还没有 MATLAB 及其工具箱的读者，也能够通过本书的学习，掌握人工神经网络各类模型的设计与应用。由于书中有各种图形以及性能的对比，使读者对每种网络的优缺点有更加透彻地了解。在掌握了工作原理之后，读者完全可以自己动手采用其他语言编写出解决自己问题的软件来。不过这要比采用 MATLAB 工具箱的编程费时得多。

在顺序安排上，本书在每一章中首先介绍网络构造、基本原理、学习规则以及训练过程。然后通过实例、图解分析或比较网络的优点及其局限性，并提出解决问题的方法。通过和读者一起做练习和观察运行 MATLAB 程序后的解答，从中了解和掌握人工神经网络的特点与 MATLAB 环境下神经网络工具箱的妙用。

本书在人工神经网络理论方面重点放在以下典型网络模型的结构特性以及功能的介绍与应用上：感知器（Perceptron）、自适应线性元件（Adaptive Linear Element）、反向传播

网络 (Back Propagation Networks)、霍普菲尔德网络 (Hopfield Networks)、内星、外星和科荷伦学习规则 (Instar, Outstar, Kohonen Learning Rules)、自组织竞争网络 (Self-organization Competition Networks)、特性图 (Kohonen Feature Maps)、对传网络 (Counter Propagation Networks)、自适应共振理论 (Adaptive Resonance Theory)。

关于 MATLAB 环境下的基本操作、语句结构以及运算,读者可以参考有关 MATLAB 书籍及本书所列出的参考文献。另一个最简单的办法,是通过 MATLAB 环境下的 help 命令在线自学。在这里,我们只是对所用到的神经网络工具箱中的函数以及有关的 MATLAB 编程语言的用法在适当的时候作详细具体的解释。

本书是笔者在中国科学技术大学教授了三年高年级本科生《人工神经网络》选修课讲义的基础上,充实整理后完成的。本书可作为计算机、电子学、信息科学、通讯、控制等专业的高年级本科生、研究生以及其他专业科技人员学习神经网络或学习 MATLAB 及其神经网络工具箱时的教材或参考书。由于笔者水平有限,不当之处在所难免;敬请读者批评指教。

丛 爽

1998 年 8 月

于中国科学技术大学

目 次

前言.....	1
第一章 概述.....	1
1.1 人工神经网络概念的提出.....	1
1.2 神经细胞以及人工神经元的组成.....	2
1.3 人工神经网络应用领域.....	3
1.4 人工神经网络发展的回顾.....	4
1.5 人工神经网络的基本结构与模型.....	6
1.5.1 人工神经元的模型.....	6
1.5.2 激活转移函数.....	7
1.5.3 单层神经网络模型结构.....	9
1.5.4 多层神经网络.....	10
1.5.5 反馈网络.....	11
1.6 用 MATLAB 计算人工神经网络输出.....	12
1.7 本章小结.....	15
第二章 感知器.....	16
2.1 感知器的网络结构.....	16
2.2 感知器的图形解释.....	17
2.3 感知器的学习规则.....	18
2.4 网络的训练.....	19
2.5 感知器的局限性.....	25
2.6 “异或”问题.....	27
2.7 解决线性可分性限制的办法.....	29
2.8 本章小结.....	30
习题.....	30
第三章 自适应线性元件.....	31
3.1 自适应线性神经元模型和结构.....	31
3.2 W-H 学习规则.....	32
3.3 网络训练.....	33
3.4 例题与分析.....	34

3.5 对比与分析.....	43
3.6 本章小结.....	44
习题.....	44
第四章 反向传播网络.....	45
4.1 BP 网络模型与结构.....	45
4.2 BP 学习规则.....	46
4.2.1 信息的正向传递.....	47
4.2.2 利用梯度下降法求权值变化及误差的反向传播.....	47
4.2.3 误差反向传播的流程图与图形解释.....	48
4.3 BP 网络的训练过程.....	49
4.4 BP 网络的设计.....	53
4.4.1 网络的层数.....	53
4.4.2 隐含层的神经元数.....	57
4.4.3 初始权值的选取.....	59
4.4.4 学习速率.....	60
4.4.5 期望误差的选取.....	62
4.5 限制与不足.....	62
4.6 反向传播法的改进方法.....	64
4.6.1 附加动量法.....	64
4.6.2 误差函数的改进.....	69
4.6.3 自适应学习速率.....	70
4.6.4 双极性 S 型压缩函数法.....	72
4.7 本章小结.....	72
习题.....	73
第五章 反馈网络.....	74
5.1 霍普菲尔德网络模型.....	75
5.2 状态轨迹.....	75
5.2.1 状态轨迹为稳定点.....	76
5.2.2 状态轨迹为极限环.....	77
5.2.3 混沌现象.....	77
5.2.4 状态轨迹发散.....	77
5.3 离散型霍普菲尔德网络.....	78
5.3.1 DHNN 模型结构.....	78
5.3.2 联想记忆.....	79
5.3.3 DHNN 的海布学习规则.....	80
5.3.4 影响记忆容量的因素.....	82
5.3.5 网络的记忆容量确定.....	84

5.3.6	DHNN 权值设计的其他方法	86
5.4	连续型霍普菲尔德网络.....	94
5.4.1	对应于电子电路的网络结构.....	95
5.4.2	CHNN 方程的解及稳定性分析.....	97
5.4.3	霍普菲尔德能量函数及其稳定性分析.....	101
5.4.4	能量函数与优化计算.....	103
5.5	本章小结.....	110
	习题.....	111
第六章	自组织竞争人工神经网络	112
6.1	几种联想学习规则.....	112
6.1.1	内星学习规则.....	113
6.1.2	外星学习规则.....	115
6.1.3	科荷伦学习规则.....	117
6.2	自组织竞争网络.....	118
6.2.1	网络结构.....	118
6.2.2	竞争学习规则.....	121
6.2.3	竞争网络的训练过程.....	121
6.3	科荷伦自组织映射网络.....	124
6.3.1	科荷伦网络拓扑结构.....	125
6.3.2	网络的训练过程.....	127
6.4	对传网络.....	132
6.4.1	网络结构.....	132
6.4.2	学习法则.....	133
6.4.3	训练过程.....	133
6.5	自适应共振理论.....	134
6.5.1	ART1 网络结构.....	135
6.5.2	ART1 的运行过程.....	136
第七章	面向工具箱的神经网络实际应用	142
7.1	综述.....	142
7.1.1	神经网络技术的选取.....	142
7.1.2	神经网络各种模型的应用范围.....	143
7.1.3	网络设计的基本原则.....	144
7.2	神经网络在控制系统中的应用.....	145
7.2.1	反馈线性化.....	145
7.2.2	问题的提出.....	146
7.2.3	神经网络设计.....	147
7.3	利用神经网络进行字母的模式识别.....	150
7.3.1	问题的阐述.....	151

7.3.2 神经网络的设计	152
7.4 用自组织竞争网络优化模糊神经网络的结构与参数	156
7.4.1 FNN 控制器的设计	157
7.4.2 被控对象模型的辨识	160
7.4.3 FNN 控制器的训练	164
7.4.4 采用 SCNN 优化模糊标记数与性能对比	169
附录 MATLAB 神经网络工具箱函数一览表	175
参考文献	178