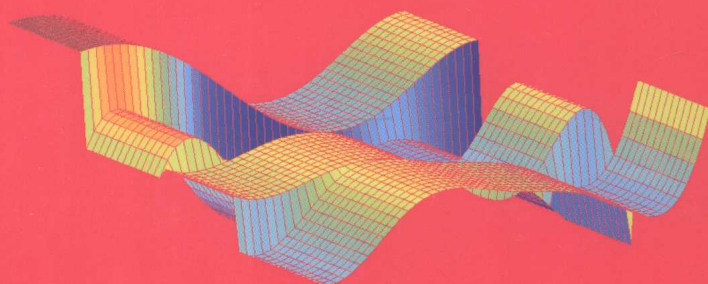


资深作者编写，基于MATLAB R2015b平台的神经网络技术方面的权威著作  
· 系统性、实用性与先进性相结合，理论与实践相交融  
书中提供了150多个MATLAB应用典型实例



MATLAB R2015b Neural Network Technology

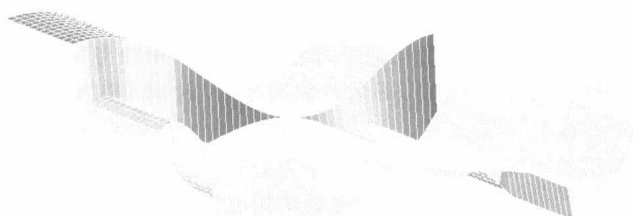
# MATLAB R2015b 神经网络技术



© 何正风 编著  
He Zhengfeng

清华大学出版社





MATLAB R2015b Neural Network Technology

# MATLAB R2015b 神经网络技术

◎ 何正风 编著

He Zhengfeng

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以 MATLAB R2015b 为平台而编写,全面、系统地介绍了 MATLAB 神经网络技术;重点给出了 MATLAB 在各种神经网络的应用,并在讲解各实现方法的过程中给出相应的实例,使得本书应用性更强,实用价值更高。全书共 10 章,主要介绍了 MATLAB R2015b 软件、神经网络的理论、神经网络的通用函数、感知器神经网络、线性神经网络、BP 神经网络、径向基神经网络、竞争型神经网络、反馈型神经网络、其他神经网络等内容。本书在编写过程中力求系统性、实用性与先进性相结合,理论与实践相交融,使读者在阅读本书中快速掌握 MATLAB 软件的同时,利用 MATLAB 实现解决各种神经网络问题,帮助读者学以致用。

本书可以作为神经网络的初学人员和提高者的学习资料,也可作为广大在校本科生和研究生的学习用书,还可以作为广大科研人员、工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

MATLAB R2015b 神经网络技术/何正风编著.--北京:清华大学出版社,2016

(精通 MATLAB)

ISBN 978-7-302-43822-9

I. ①M… II. ①何… III. ①人工神经网络—Matlab 软件 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 101701 号

责任编辑:刘 星 李 晔

封面设计:刘 键

责任校对:李建庄

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:26.25

字 数:640 千字

版 次:2016 年 9 月第 1 版

印 次:2016 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:69.00 元

---

产品编号:069620-01

随着科学技术的进步,人类在利用物质与能量两种资源的基础上正在向大规模利用信息资源进军。与此相适应,人类社会也正在从基于物质与能量两种资源的工业文明走向基于物质、能量和信息 3 种资源的信息时代。

众所周知,计算机是目前功能最强大的信息处理工具。它在数值运算和逻辑运算方面的精确与高速极大地拓展了人脑的能力,从而在信息处理和控制决策等各方面为人们提供了实现智能化和自动化的先进手段。但计算机在学习认知、记忆联想、综合决策等很多方面的信息处理能力远远不能达到人脑的智能水平。随着现代信息科学与技术的飞速发展,这方面的问题日趋尖锐,促使科学和技术专家们寻找解决问题的新出路。

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)是 20 世纪 80 年代以来人工智能领域兴起的研究热点。它从信息处理角度对人脑神经元网络进行抽象,建立某种简单模型,按不同的连接方式组成不同的网络。可以将其视为一种功能强大、应用广泛的机器学习算法,用于实现分类、聚类、拟合、预测、压缩等功能,在高校研究和工程实践中均有应用。它模仿生物神经元的工作过程,建立起了一套用于处理计算问题的数学模型。神经网络的发展经历了兴起——低潮——复兴的过程,特别是 20 世纪 80 年代后人工神经网络的发展十分迅速,其中应用最广的是 BP 神经网络,此外,还有径向基网络、自组织网络、反馈网络等其他神经网络形式,分别适用于不同的场合,解决各行各业的难题中显现出巨大的潜力,取得了丰硕的成果。

神经网络作为一种网络模型,其具体使用必须依赖某种实现方式。部分反馈神经网络可以使用电子电路来实现,但更通用的实现方法是利用计算机编程语言。MATLAB 就是一个非常好的选择,利用它可以方便地实现网络结构模型。MATLAB 是由美国 MathWorks 公司发布的,主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。它将数值分析、矩阵计算、科学数据可视化以及非线性动态系统的建模和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中,为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学领域提供了一种全面的解决方案,并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言的编辑模式,代表了当今国际科学计算软件的先进水平,在科学和工程实践中获得了广泛的应用。

MATLAB 中所配置的 Neural Network Toolbox,完整地覆盖神经网络各领域研究的成果,它以神经网络理论为基础,使用 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 编写出了各种网络设计与训练的程序,网络设计者可以根据自己的设计去调用相关网络的设计训练程序,这样能够把自己从烦琐的编程工作中解脱出来,集中精力去思考问题和解决问题。

本书是一本神经网络原理与实践相结合的书,涵盖了大部分主流的神经网络。它尽

# 前言

量以浅显易懂的语言讲解,让读者能理解神经网络的原理,并学会在 MATLAB 中实现神经网络。MATLAB 版本逐年更新,神经网络工具箱中函数的结构安排已经改变,本书使用最新的 MATLAB R2015b 版本,同时从各领域精选了丰富的典型应用实例介绍解析函数的使用方法,在实际中强调了怎样使用 MATLAB 神经网络工具箱解决实际中的问题、难题,使读者掌握应用工具箱解决实际问题的能力。

本书是以 MATLAB R2015b 为平台,实现 MATLAB 神经网络。本书具有如下特点:

(1) 版本新,函数新。

MATLAB 每年更新两次,神经网络工具箱也随之更新换代,许多旧的函数已经废弃不用,同时又有新的函数补充进来,本书基于 MATLAB R2015b,介绍了新版本下的神经网络工具箱的使用方法。

(2) 内容全面,重点突出。

神经网络根据结构的不同可以分为不同种类,本书内容涵盖从最简单的感知器到复杂的自组织竞争网络等类型的神经网络,对其原理进行了全面的介绍。在实际应用中,大部分场合使用的网络都是 BP 神经网络(多层感知器),而部分生僻的网络则在 MATLAB 中没有对应的工具箱函数。本书结合实用性,对常用的网络进行了重点讲解。

(3) 通俗易懂,实例清晰。

本书由浅入深通俗地介绍了 MATLAB 软件的使用,并利用 MATLAB 实现神经网络,对每个概念及网络都给出相应的实例,通过应用使读者深入掌握 MATLAB,大大提高了读者学习的兴趣。

(4) 精心编排,激发应用灵感。

本书在讲解利用 MATLAB 神经网络问题时,精心选择了有代表性的实例,使读者做到学以致用;并且通过介绍神经网络的应用来激发读者的应用灵感,进而起到抛砖引玉的作用。

全书共分为 10 章,主要包括:

第 1 章 MATLAB R2015b 介绍,主要介绍 MATLAB 软件的概述、MATLAB R2015b 的安装、数据类型和运算以及矩阵的基本操作等内容。

第 2 章 神经网络的理论,主要介绍生物神经元、神经网络的类型、神经网络学习及神经网络的应用等内容。

第 3 章 神经网络的通用函数,主要介绍神经网络仿真函数、神经网络训练函数、神经网络学习函数等内容。

第 4 章 感知器神经网络,主要介绍单层感知器、多层感知器、感知器神经网络函数、感知器的应用等内容。

第 5 章 线性神经网络,主要介绍线性神经元模型及结构、线性神经网络的构建、线性神经网络函数、线性神经网络的应用等内容。

第6章 BP神经网络,主要介绍BP神经网络模型、BP网络设计、BP网络的函数、BP神经网络的应用等内容。

第7章 径向基神经网络,主要介绍RBF神经网络模型、径向基常用学习算法、概率神经网络、径向基神经网络的函数、径向基函数神经网络的应用等内容。

第8章 竞争型神经网络,主要介绍竞争神经网络的概念、竞争神经网络的学习规则、自组织特征映射网络、学习向量量化网络、竞争神经网络的函数、自组织竞争神经网络的应用等内容。

第9章 反馈型神经网络,主要介绍反馈神经网络的概述、离散Hopfield神经网络、连续Hopfield神经网络、反馈神经网络的函数、反馈神经网络的应用等内容。

第10章 其他神经网络,主要介绍模糊神经网络、小波神经网络、Simulink神经网络等内容。

本书可以作为神经网络的初学人员和提高者的学习资料,也可作为广大在校本科生和研究生的学习用书,还可作为广大科研人员、学者、工程技术人员的参考用书。

本书主要由何正风编写,此外参加编写的还有陈添威、邓耀隆、高泳崇、李嘉乐、李锦涛、梁恩庆、梁志成、梁仲轩、卢佳华、卢伟彬、罗嘉甫、彭伟星、施洁、许兴杰、杨平、叶利辉、詹锦超、张金林、赵书兰和周品。

由于时间仓促,加之作者水平有限,所以错误和疏漏之处在所难免。在此,诚恳地期望得到各领域的专家和广大读者的批评指正。

作 者

2016年6月

|              |                         |           |
|--------------|-------------------------|-----------|
| <b>第 1 章</b> | <b>MATLAB R2015b 介绍</b> | <b>1</b>  |
| 1.1          | MATLAB 概述               | 1         |
| 1.1.1        | MATLAB 的优势              | 1         |
| 1.1.2        | MATLAB R2015b 的新增功能     | 2         |
| 1.1.3        | MATLAB 常用工具箱            | 4         |
| 1.2          | MATLAB R2015b 的安装       | 5         |
| 1.3          | MATLAB 工作环境             | 11        |
| 1.4          | MATLAB 联机帮助             | 14        |
| 1.5          | 用户路径设置                  | 17        |
| 1.6          | 数据类型和运算                 | 18        |
| 1.6.1        | 常量、变量                   | 18        |
| 1.6.2        | 数据类型                    | 20        |
| 1.6.3        | 数值类型                    | 21        |
| 1.6.4        | 逻辑类型                    | 26        |
| 1.6.5        | 结构体类型                   | 27        |
| 1.6.6        | 数组类型                    | 29        |
| 1.6.7        | 单元数组类型                  | 31        |
| 1.7          | 矩阵的基本操作                 | 33        |
| 1.7.1        | 矩阵和数组的概念                | 33        |
| 1.7.2        | 数值矩阵的生成                 | 34        |
| 1.7.3        | 符号矩阵                    | 36        |
| 1.7.4        | 特殊矩阵                    | 37        |
| 1.8          | 矩阵运算                    | 39        |
| 1.9          | 基本绘图                    | 40        |
| 1.10         | 建立函数文件                  | 43        |
| 1.11         | 控制流程                    | 44        |
| 1.11.1       | 顺序结构                    | 44        |
| 1.11.2       | 分支结构                    | 45        |
| 1.11.3       | 循环结构                    | 49        |
| <b>第 2 章</b> | <b>神经网络的理论</b>          | <b>52</b> |
| 2.1          | 生物神经元                   | 52        |
| 2.2          | 人工神经网络                  | 54        |
| 2.3          | 神经元的数学模型                | 58        |

# 目录

|        |                     |    |
|--------|---------------------|----|
| 2.4    | 神经网络的类型 .....       | 59 |
| 2.4.1  | 单层前向网络 .....        | 59 |
| 2.4.2  | 多层前向网络 .....        | 59 |
| 2.4.3  | 反馈网络 .....          | 60 |
| 2.4.4  | 随机神经网络 .....        | 60 |
| 2.4.5  | 竞争神经网络 .....        | 61 |
| 2.5    | 神经网络学习 .....        | 61 |
| 2.5.1  | Hebb 学习规则 .....     | 63 |
| 2.5.2  | 离散感知器学习规则 .....     | 64 |
| 2.5.3  | 记忆学习规则 .....        | 64 |
| 2.5.4  | 连续感知器学习规则 .....     | 65 |
| 2.5.5  | 相关学习规则 .....        | 65 |
| 2.5.6  | 竞争学习规则 .....        | 66 |
| 2.6    | 人工神经网络信息处理能力 .....  | 66 |
| 2.7    | 神经网络的特点与优点 .....    | 68 |
| 2.7.1  | 神经网络的特点 .....       | 68 |
| 2.7.2  | 神经网络的优点 .....       | 69 |
| 2.8    | 神经网络控制系统 .....      | 70 |
| 2.8.1  | 神经网络控制系统组成 .....    | 71 |
| 2.8.2  | 实时控制 .....          | 71 |
| 2.8.3  | 智能控制分支 .....        | 72 |
| 2.9    | 神经网络的应用 .....       | 73 |
| 2.10   | 人工神经网络与智能神经网络 ..... | 73 |
| 2.10.1 | 人工智能的概述 .....       | 73 |
| 2.10.2 | 人工神经元与人工智能相比较 ..... | 75 |
| 第3章    | 神经网络的通用函数 .....     | 76 |
| 3.1    | 神经网络仿真函数 .....      | 79 |
| 3.2    | 神经网络训练函数 .....      | 79 |
| 3.3    | 神经网络学习函数 .....      | 83 |
| 3.4    | 神经网络初始化函数 .....     | 85 |
| 3.5    | 神经网络输入函数 .....      | 88 |
| 3.6    | 神经网络传递函数 .....      | 89 |
| 3.7    | 其他函数 .....          | 91 |



|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 第 4 章 | 感知器神经网络       | 93  |
| 4.1   | 单层感知器         | 93  |
| 4.1.1 | 单层感知器模型       | 93  |
| 4.1.2 | 单层感知器功能       | 94  |
| 4.1.3 | 感知器的学习        | 96  |
| 4.1.4 | 单感知器的训练       | 97  |
| 4.1.5 | 感知器的局部性       | 99  |
| 4.2   | 标准化感知器学习规则    | 99  |
| 4.3   | 多层感知器         | 100 |
| 4.3.1 | 多层感知器的理论      | 100 |
| 4.3.2 | 多层感知器的实现      | 101 |
| 4.4   | 感知器神经网络函数     | 103 |
| 4.5   | 感知器的应用        | 107 |
| 4.6   | 感知器应用于线性分类问题  | 113 |
| 4.6.1 | 决策函数与决策边界     | 113 |
| 4.6.2 | 感知器的决策函数与决策边界 | 114 |
| 第 5 章 | 线性神经网络        | 116 |
| 5.1   | 线性神经元模型及结构    | 116 |
| 5.1.1 | 神经元模型         | 116 |
| 5.1.2 | 线性神经网络结构      | 117 |
| 5.2   | LMS 学习算法      | 117 |
| 5.3   | LMS 学习率的选择    | 118 |
| 5.3.1 | 稳定收敛的学习率      | 118 |
| 5.3.2 | 学习率逐渐下降       | 119 |
| 5.4   | 线性神经网络的构建     | 119 |
| 5.4.1 | 生成线性神经元       | 119 |
| 5.4.2 | 线性滤波器         | 120 |
| 5.4.3 | 自适应线性滤波       | 121 |
| 5.5   | 线性神经网络的训练     | 122 |
| 5.6   | 线性神经网络与感知器的对比 | 122 |
| 5.7   | 线性神经网络函数      | 123 |
| 5.7.1 | 创建函数          | 123 |
| 5.7.2 | 传输函数          | 127 |
| 5.7.3 | 学习函数          | 128 |
| 5.7.4 | 均方误差性能函数      | 131 |

# 目录

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 5.8   | 线性神经网络的局限性   | 132 |
| 5.8.1 | 线性相关向量       | 132 |
| 5.8.2 | 学习速率过大       | 134 |
| 5.8.3 | 不定系统         | 138 |
| 5.9   | 线性神经网络的应用    | 142 |
| 5.9.1 | 逻辑与          | 142 |
| 5.9.2 | 逻辑异或         | 145 |
| 5.9.3 | 在噪声对消中的应用    | 149 |
| 5.9.4 | 在信号预测中的应用    | 153 |
| 第 6 章 | BP 神经网络      | 156 |
| 6.1   | BP 神经网络模型    | 156 |
| 6.2   | BP 网络学习算法    | 158 |
| 6.3   | BP 网络设计      | 159 |
| 6.3.1 | 输入和输出层的设计    | 159 |
| 6.3.2 | 隐层的设计        | 160 |
| 6.3.3 | 初始值选取        | 160 |
| 6.4   | BP 网络的局限性    | 160 |
| 6.5   | BP 网络学习的改进   | 161 |
| 6.5.1 | 增加动量项        | 161 |
| 6.5.2 | 自适应调节学习率     | 162 |
| 6.5.3 | 弹性梯度下降法      | 162 |
| 6.6   | BP 算法设计多层感知器 | 163 |
| 6.6.1 | 信息容量与训练样本数   | 163 |
| 6.6.2 | 准备训练数据       | 163 |
| 6.6.3 | 设计初值         | 167 |
| 6.6.4 | 多层感知器结构设计    | 167 |
| 6.6.5 | 网络训练与测试      | 168 |
| 6.7   | BP 网络的函数     | 169 |
| 6.7.1 | 创建函数         | 169 |
| 6.7.2 | 传递函数         | 174 |
| 6.7.3 | 学习函数         | 178 |
| 6.7.4 | 训练函数         | 179 |
| 6.7.5 | 性能函数         | 183 |
| 6.7.6 | 显示函数         | 184 |
| 6.8   | BP 神经网络的应用   | 188 |

|       |                       |            |
|-------|-----------------------|------------|
| 6.8.1 | BP 神经网络在分类中的应用 .....  | 188        |
| 6.8.2 | BP 网络去除噪声 .....       | 190        |
| 6.8.3 | BP 网络识别性别 .....       | 195        |
| 6.9   | BP 网络泛化能力的提高 .....    | 202        |
| 6.9.1 | 归一化法 .....            | 203        |
| 6.9.2 | 提前终止法 .....           | 205        |
| 第 7 章 | 径向基神经网络 .....         | <b>208</b> |
| 7.1   | RBF 神经网络模型 .....      | 208        |
| 7.1.1 | RBF 神经元模型 .....       | 208        |
| 7.1.2 | RBF 网络模型 .....        | 209        |
| 7.2   | 径向基常用学习算法 .....       | 210        |
| 7.2.1 | 数据中心聚类法 .....         | 211        |
| 7.2.2 | 数据中主监督法 .....         | 212        |
| 7.2.3 | 正交最小二乘法 .....         | 213        |
| 7.3   | RBF 内插值 .....         | 214        |
| 7.4   | 广义神经网络 .....          | 215        |
| 7.5   | 概率神经网络 .....          | 216        |
| 7.5.1 | 贝叶斯决策理论 .....         | 216        |
| 7.5.2 | 概率神经网络结构 .....        | 217        |
| 7.5.3 | 概率神经网络的优缺点 .....      | 218        |
| 7.6   | 径向基神经网络与多层感知器比较 ..... | 218        |
| 7.7   | 径向基神经网络的优缺点 .....     | 219        |
| 7.7.1 | 径向基神经网络的优点 .....      | 219        |
| 7.7.2 | 径向基神经网络的缺点 .....      | 220        |
| 7.8   | 径向基神经网络的函数 .....      | 220        |
| 7.8.1 | 创建函数 .....            | 220        |
| 7.8.2 | 传递函数 .....            | 225        |
| 7.8.3 | 转换函数 .....            | 226        |
| 7.8.4 | 权函数 .....             | 227        |
| 7.8.5 | 竞争性传输函数 .....         | 229        |
| 7.9   | 径向基函数神经网络的应用 .....    | 230        |
| 第 8 章 | 竞争型神经网络 .....         | <b>239</b> |
| 8.1   | 竞争神经网络的概述 .....       | 239        |
| 8.2   | 竞争神经网络的概念 .....       | 240        |
| 8.3   | 竞争神经网络的学习规则 .....     | 242        |

# 目录

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 8.3.1 Kohonen 学习规则 ..... | 242 |
| 8.3.2 阈值学习规则 .....       | 243 |
| 8.4 竞争型神经网络存在的问题 .....   | 244 |
| 8.5 自组织特征映射网络 .....      | 245 |
| 8.5.1 SOM 网络拓扑结构 .....   | 245 |
| 8.5.2 SOM 网络学习算法 .....   | 246 |
| 8.5.3 SOFM 网络的训练 .....   | 248 |
| 8.6 学习向量量化网络 .....       | 249 |
| 8.6.1 LVQ 网络结构 .....     | 250 |
| 8.6.2 LVQ 网络学习算法 .....   | 251 |
| 8.6.3 LVQ 网络特点 .....     | 253 |
| 8.7 ART 神经网络 .....       | 253 |
| 8.7.1 ART-1 型网络 .....    | 253 |
| 8.7.2 ART-1 网络学习 .....   | 255 |
| 8.8 对向传播网络 .....         | 256 |
| 8.8.1 对向传播网络的概述 .....    | 256 |
| 8.8.2 CPN 网络学习规则 .....   | 257 |
| 8.9 竞争神经网络的函数 .....      | 258 |
| 8.9.1 创建函数 .....         | 258 |
| 8.9.2 学习函数 .....         | 265 |
| 8.9.3 传递函数 .....         | 272 |
| 8.9.4 初始化函数 .....        | 273 |
| 8.9.5 结构函数 .....         | 273 |
| 8.9.6 距离函数 .....         | 276 |
| 8.9.7 距离函数 .....         | 279 |
| 8.9.8 归一化函数 .....        | 282 |
| 8.10 自组织竞争神经网络的应用 .....  | 284 |
| 8.10.1 对应传播网络的应用 .....   | 284 |
| 8.10.2 ART 网络的应用 .....   | 287 |
| 8.10.3 学习向量量化网络的应用 ..... | 289 |
| 8.10.4 自组织映射网络的应用 .....  | 293 |
| 第 9 章 反馈型神经网络 .....      | 298 |
| 9.1 反馈型神经网络的概述 .....     | 298 |

|        |                                |     |
|--------|--------------------------------|-----|
| 9.1.1  | 前馈型与反馈型的比较 .....               | 298 |
| 9.1.2  | 反馈型神经网络与静态网络 .....             | 299 |
| 9.1.3  | 反馈型神经网络的模型 .....               | 300 |
| 9.1.4  | 反馈型神经网络的状态 .....               | 301 |
| 9.2    | 离散 Hopfield 神经网络 .....         | 301 |
| 9.2.1  | 离散 Hopfield 神经网络结构 .....       | 301 |
| 9.2.2  | Hopfield 网络的稳定性 .....          | 304 |
| 9.2.3  | 离散 Hopfield 神经网络权值学习 .....     | 307 |
| 9.2.4  | 离散 Hopfield 神经网络的联想记忆 .....    | 308 |
| 9.3    | 连续 Hopfield 神经网络 .....         | 311 |
| 9.3.1  | 连续 Hopfield 神经网络结构 .....       | 312 |
| 9.3.2  | 连续 Hopfield 神经网络的稳定性 .....     | 313 |
| 9.3.3  | 连续型 Hopfield 神经网络的特点 .....     | 313 |
| 9.4    | Elman 神经网络 .....               | 313 |
| 9.4.1  | Elman 神经网络结构 .....             | 314 |
| 9.4.2  | Elman 神经网络的训练 .....            | 314 |
| 9.5    | 双向联想记忆神经网络 .....               | 315 |
| 9.5.1  | BAM 网络结构与原理 .....              | 315 |
| 9.5.2  | 能量函数与稳定性分析 .....               | 316 |
| 9.5.3  | BAM 网的权值设计 .....               | 317 |
| 9.6    | Boltzmann 神经网络 .....           | 317 |
| 9.6.1  | BM 网络的基本结构 .....               | 317 |
| 9.6.2  | BM 模型的学习 .....                 | 317 |
| 9.7    | 反馈神经网络的函数 .....                | 320 |
| 9.7.1  | 创建函数 .....                     | 320 |
| 9.7.2  | 传递函数 .....                     | 326 |
| 9.8    | 反馈神经网络的应用 .....                | 328 |
| 9.8.1  | 离散 Hopfield 神经网络识别数字 .....     | 328 |
| 9.8.2  | 连续 Hopfield 神经网络联想记忆功能应用 ..... | 330 |
| 9.8.3  | Elman 神经网络预测股价 .....           | 332 |
| 9.8.4  | 双联想记忆网络应用 .....                | 337 |
| 9.8.5  | Boltzmann 神经网络的应用 .....        | 338 |
| 第 10 章 | 其他神经网络 .....                   | 340 |
| 10.1   | 模糊神经网络 .....                   | 340 |
| 10.1.1 | 模糊神经网络的动向 .....                | 340 |

# 目录

|        |                               |     |
|--------|-------------------------------|-----|
| 10.1.2 | 模糊神经网络的基本形式 .....             | 341 |
| 10.1.3 | 模糊神经网络的用途 .....               | 342 |
| 10.2   | 几种常用模型的模糊神经网络 .....           | 342 |
| 10.2.1 | Mamdani 模型模糊神经网络 .....        | 342 |
| 10.2.2 | Takagi-Sugeno 模型的模糊神经网络 ..... | 343 |
| 10.2.3 | 模糊神经网络的函数 .....               | 345 |
| 10.2.4 | 模糊神经网络的应用 .....               | 348 |
| 10.2.5 | 神经模糊系统的图形界面 .....             | 360 |
| 10.3   | 小波神经网络 .....                  | 370 |
| 10.3.1 | 小波变换概述 .....                  | 370 |
| 10.3.2 | 小波神经网络的定义 .....               | 371 |
| 10.3.3 | 小波神经网络的理论 .....               | 372 |
| 10.3.4 | 小波神经网络的结构 .....               | 373 |
| 10.3.5 | 小波神经网络应用交通流量预测 .....          | 374 |
| 10.4   | Simulink 神经网络 .....           | 378 |
| 10.4.1 | Simulink 神经网络仿真模型库 .....      | 378 |
| 10.4.2 | Simulink 神经网络的应用 .....        | 383 |
| 10.5   | 自定义神经网络 .....                 | 387 |
| 10.5.1 | 自定义一个复杂的网络 .....              | 389 |
| 10.5.2 | 自定义网络的训练 .....                | 400 |
| 参考文献   | .....                         | 405 |

MATLAB 是 MathWorks 公司开发的集算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算于一体的一种高级计算语言和交互式环境。它为满足工程计算的要求而出现,经过不断发展,目前已成为国际公认的优秀数学应用软件之一。MATLAB 不仅可以处理代数问题和数值分析问题,而且还具有强大的图形处理及仿真模拟等功能,它能很好地帮助工程师及科学家解决实际的技术问题,而且 MATLAB 自身也提供了相关的专业领域工具箱。

## 1.1 MATLAB 概述

MATLAB 是一种功能强大、运算效率极高的数值计算软件。起初它是一种专门用于矩阵运算的软件,经过多年发展,MATLAB 已经成为一种功能强大的软件,几乎可以解决科学计算中的任何问题。

### 1.1.1 MATLAB 的优势

MATLAB 不仅是一种直观、高效的高级语言,同时也是一个科学计算的平台。它功能强大、简单易学、编程效率高,深受广大科技工作者的喜爱,这是由于应用 MATLAB 系统进行科学计算有非常大的优势。

首先,MATLAB 提供了多种高级语言和多种开发工具,可以迅速开发和分析算法及应用。由于 MATLAB 语言支持向量和矩阵操作,以矩阵作为其语言系统的最基本要素,从而极大地简化了线性运算,矩阵和向量操作是科学计算的基础,从而大大提高了科学计算的效率。因为 MATLAB 语言不需要执行低级管理任务,如声明变量、指定数据类型、分配内存,而且在许多情况下,MATLAB 不需要使用 for 循环,而是通常只用一行 MATLAB 代码替换多行 C 或 C++ 代码,因此可以比传统语言更快地编程和开发算法。同时,MATLAB 提供了传统编程语言的所有功能,包括数学运算符、流程控制、数据结构、面

向对象的编程和调试功能。

为快速执行繁重的矩阵和向量计算, MATLAB 采用处理器优化程序库, 对通用标量计算, MATLAB 使用 JIT(Just In Time)汇编技术生成机器代码。这种技术可以用于大多数平台, 提供了相当于传统编程语言的执行速度。

MATLAB 带有多种开发工具, 帮助有效实现算法, 包括 MATLAB Editor(提供了标准编辑和调试功能, 如设置断点和单步执行)、M-Lintcode Checker(分析代码, 推荐改动方案, 改善性能和维护能力)、MATLAB Profiler(记录执行每行代码所用的时间)、Directory Reports(扫描一个目录下的所有文件, 报告代码效率、文件差异、文件相关性和代码覆盖范围)。

其次, MATLAB 具有丰富的应用功能, 大量实用的辅助工具箱适合不同专业研究方向及工程需求的用户使用。MATLAB 系统由两部分组成, 即 MATLAB 主程序以及 Simulink 动态系统仿真和辅助工具箱, 它们构成了 MATLAB 的强大功能。

MATLAB 内核是 MATLAB 系统的核心内容, 包括 MATLAB 语言系统、MATLAB 开发环境、MATLAB 图形系统、MATLAB 数学函数库以及 MATLAB 应用程序接口等。MATLAB 语言系统从本质上讲是以矩阵的存储和运算为基础的, 几乎所有的操作都可以归结为矩阵的运算, 同时 MATLAB 语言系统也具有结构化程序设计语言的一切特点。MATLAB 开发环境有基本开发环境与辅助开发环境。其中, 基本开发环境包括启动和退出 MATLAB、MATLAB 桌面系统、MATLAB 函数调用系统, 以及帮助系统; 辅助开发环境包括工作空间、路径和文件管理系统、数据交换系统、M 文件编辑调试系统、M 文件优化系统、源控制处理系统以及记事本系统。MATLAB 系统提供了强大的图形操作功能, 可以方便地将分析数据可视化, GUI 的推出充分展现了 MATLAB 在图形用户界面处理中的应用。MATLAB 数学函数库涵盖了几乎所有的常用数学函数, 这些函数以两种不同的形式存在: 一种是内部函数; 另一种是 M 函数。MATLAB 的应用程序接口可以让 MATLAB 语言同其他高级语言(如 C 语言、FORTRAN 语言等)进行数据交换, 从而大大提高运行速度。

MATLAB 的强大功能很大程度上源于它包含的众多辅助工具箱。工具箱分为辅助功能性工具箱和专业性功能箱。辅助功能性工具箱主要用于扩充其符号计算功能、可视建模仿真功能及文字处理功能等。而专业性工具箱是由不同领域的专家学者编写的针对性很强的专业性函数库, 如数学优化工具箱、金融建模和分析工具箱、控制系统设计和分析工具箱、神经网络工具箱等。正是由于具有这些强大的专业性工具箱, 使得 MATLAB 在各个领域有着非常广泛的应用。

### 1.1.2 MATLAB R2015b 的新增功能

MATLAB R2015b 是目前 MATLAB 最新的版本, 其相应增加了新的功能。

#### 1. MATLAB 方面

MATLAB 方面主要增加了以下的功能:



### (1) MATLAB 产品系列。

- 新增更快运行 MATLAB 代码的执行引擎；
- 用于创建、分析图形和网络并实现可视化的图形函数和有向图函数；
- 附加浏览器——用于增加社区创作的工具箱和 MathWorks 工具箱、应用、功能、模型及硬件支持的单一界面；
- 对 iOS 传感器、Raspberry Pi 2 和 BeagleBone Black 的硬件支持。

### (2) MATLAB Compiler SDK。

部署的 MATLAB 组件，可与采用 Python 编写的应用程序集成。

### (3) Statistics and Machine Learning Toolbox。

用于拟合模型的 SVR(支持向量回归)和高斯过程(Kriging)，用于分类学习应用的 PCA 特征变换和 65 个函数的 GPU 加速。

### (4) Parallel Computing Toolbox。

Statistics and Machine Learning Toolbox 中函数的 GPU 加速，包括概率分布、描述性统计和假设检验以及其他 MATLAB 函数。

### (5) Image Processing Toolbox。

Gabor 及盒滤波，使用 MATLAB Coder 为 20 个函数生成 C 代码，并且改进了灰度形态和滤波性能。

### (6) Computer Vision System Toolbox。

3-D 点云处理，包括几何形状拟合、法向量估算和可视化。

### (7) Database Toolbox。

更快的数据库读取和写入速度。

### (8) Control System Toolbox。

2-DOF PID 控制器调节。

### (9) Robust Control Toolbox。

使用 systune 和 Control System Tuner 应用为带有不确定参数的对象调节鲁棒控制器。

## 2. Simulink 产品系列

Simulink 产品系列增加了以下功能：

### (1) Simulink。

- 新增在示波器中通过光标和测量值来查看和调试信号的 UI；
- 用于创建可重用组件和简化大型建模项目的引用项目；
- 在仿真过程中，始终开启模块参数和工作空间变量的调整；
- 可用于 Simulink、Stateflow 和 Simulink Coder 的多语言模块名称、信号名称和 MATLAB 函数注释。

### (2) Stateflow。

消息——新增可承载数据并且可以排队的对象。

### (3) Simscape。

两相流体模块库和为线性切换系统改进了仿真速度。