

实例详解丛书

· 全面、生动、形象地介绍各类神经网络

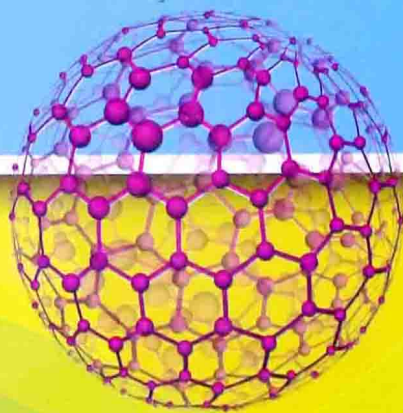
· 详细、严谨、直观地给出各种实例下神经网络的算法、源代码、Simulink方法与GUI方法

· 通俗易懂的实例编程和完整的实例代码

# MATLAB

## 神经网络30例

杨杰 占君 张继传 编著



实例详解丛书

# MATLAB 神经网络 30 例

杨 杰 占 君 张继传 编 著

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

神经网络经过了近 70 年的蓬勃发展,其拓扑结构、工作机制与应用领域已经发生了翻天覆地的变化,全面、直观、深入地认识各类神经网络已经是学习运用神经网络的必由之路。本书全面介绍了前馈型、反馈型与自组织型三大类神经网络,传统的 BP 网络到现代的量子网络 20 余小类神经网络,并结合实例分析了各种神经网络的使用方法和编程方法。

对于成熟的神经网络,本书给出了 MATLAB 函数及调用方法;对于前沿的神经网络,本书推导了高效简洁的编程算法;对于需要结合其他方法使用的神经网络,本书也分析了其他方法的原理、使用方法及 MATLAB 函数,甚至提供了相应的工具箱供读者调用。

本书充分考虑了 MATLAB 语言的特点,以及程序的可读性、可移植性、可扩展性的要求,力图保证研究者能深入浅出地理解如何使复杂的算法简洁高效,然后变成简洁、易读、高效的源代码;力求使初学者与使用者通过直观生动的实例来理解各类神经网络,无须重新编写程序,直接修改参数即可使用本书提供的神经网络。

本书可作为本科毕业设计、研究生论文写作、博士生参考书籍之用,同时对广大一线科研人员也有很高的参考价值。

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

MATLAB 神经网络 30 例 / 杨杰, 占君, 张继传编著. —北京: 电子工业出版社, 2014.7

(实例详解丛书)

ISBN 978-7-121-23815-4

I. ①M… II. ①杨… ②占… ③张… III. ①Matlab 软件—应用—神经网络 IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 156998 号



策划编辑: 王敬栋

责任编辑: 周宏敏 文字编辑: 张 迪

印 刷: 北京京科印刷有限公司

装 订: 北京京科印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 550.4 千字

版 次: 2014 年 7 月第 1 版

印 次: 2014 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 59.80 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 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

# 前 言

自 1943 年神经生物学家 Me Culloch 和青年数学家 Pitts 合作提出第一个人工神经元模型以来，神经网络经历了近 70 年的蓬勃发展，其类型之丰富、应用之广泛、影响之深远恐怕是初创者始料未及的。然而，从目前的文献资料来看，神经网络的效能远远未能实现最大化，人们对于各种神经网络的认识与应用也很不充分。因此，本书试图从两个方面来解决这一问题。

第一，尽可能全面、生动、形象地介绍各类神经网络。总体上来讲，神经网络分为三类，即前馈型、反馈型与自组织型。前馈型网络主要应用于拟合问题；反馈型网络主要应用于优化问题；自组织型网络主要应用于分类问题。但实际情况往往千差万别，如何根据实际情况使用神经网络需要进行深入研究，本书根据不同神经网络的特点，分析了各种具体实例下神经网络的使用方法，以达到抛砖引玉的效果。

第二，尽可能详细、严谨、直观地给出各种实例下神经网络的算法、源代码、Simulink 方法与 GUI 方法。高效简洁的程序必须依赖高效简洁的算法。因此，本书一方面详细介绍常用神经网络的 MATLAB 函数，减少不必要的编程与公式推导；另一方面，重点推导了一些新型网络的 MATLAB 编程算法，最大限度地保证了程序的高效性、可读性、可移植性与可扩展性，读者再遇到相似问题时，只需修改程序中的若干参数即可，而无须再更改程序本身，省去了编程之苦。

基于以上两个方面，本书在介绍各类神经网络的基本原理、使用方法与 MATLAB 函数的同时，结合严谨的算法推导与通俗易懂的实例编程应用来说明各类神经网络解决问题的实际表现与编程技巧。各实例的内容简介如下。

实例 1：主要介绍 BP 神经网络的基本原理、MATLAB 函数，然后比较了 BP 神经网络拟合、多项式拟合与非线性拟合的基本理论、编程方法与实际表现。

实例 2：由于高维输入容易造成“维数灾难”，该实例主要介绍通过主成分分析的方法实现神经网络的降维，减少计算规模，并利用该方法实现了对股票价格的预测。

实例 3 与实例 4：由于 BP 神经网络常常存在多个局部极小值点，而常规的梯度下降法容易陷于这些区域“不能自拔”。因此，实例 3 与实例 4 分别利用遗传算法与粒子群算法具有全局寻优与跳出局部极值的能力，实现了 BP 神经网络权值学习的最优化，并列举了相应的实例作为旁证。

实例 5：主要介绍了离散型 Hopfield 神经网络的工作原理、MATLAB 函数、设计方





法，利用该网络具有渐进稳定点的特点实现对交通标志的识别。

实例 6：介绍了连续型 Hopfield 神经网络的工作原理，重点推导了设计 CHNN 网络的方法、解决 TSP 问题的编程算法，并利用设计的 CHNN 网络与算法实现了旅游路线周线的规划。

实例 7：主要介绍了感知器网络与线性网络的基本原理与 MATLAB 函数，并列举了相应的实例。

实例 8：主要介绍了 RBF 神经网络的基本原理与 MATLAB 函数，根据太阳黑子预报的问题，比较了经典的 ARMA 预报方法、RBF 网络与 BP 网络三者的实际表现。

实例 9：介绍了 GRNN 网络的基本原理与统计学意义，特别介绍了 UKF 滤波方法，然后根据无源双地基雷达对飞机跟踪的问题比较了 GRNN 网络与 UKF 滤波方法的实际表现。

实例 10：介绍了模糊逻辑理论、TS 型模糊神经网络，重点推导了模糊神经网络的学习算法，并利用该网络实现了地基沉降量的预测。

实例 11：主要介绍了概率神经网络的基本原理与 MATLAB 函数，并利用该网络将遥感图像按颜色分为了 3 类，效果显著。

实例 12：介绍了小波理论与小波神经网络理论，重点推导了小波网络的学习算法，并利用该算法实现了电力负荷的预测。

实例 13：由于神经网络 PID 控制是神经网络的重要应用，该实例介绍了 PID 控制的基本理论，并利用 Hebb 规则 PID 的自适应控制。

实例 14：主要介绍了灰色理论与灰色神经网络的基本原理，重点推导了灰色网络的学习算法，并利用该网络实现了空调订单的预报。

实例 15：主要介绍了混沌理论与 Chebyshev 神经网络的基本原理，重点推导了 Chebyshev 网络的学习算法，并利用该算法实现了字符串的异步加密，实现效果良好。

实例 16：主要介绍了随机 Hopfield 神经网络检测器、CDMA 通信模型与多用户检测器问题，然后利用随机 Hopfield 神经网络实现了最优 CDMA 多用户检测。

实例 17：主要介绍了 ELMAN 神经网络的基本原理、MATLAB 函数与 RSSI 无线定位技术，并运用 ELMAN 神经网络与 RSSI 技术初步实现了无线传感器的定位。

实例 18：主要介绍了混沌通信的基本原理与混沌同步理论，利用混沌神经网络实现了 LÚ 混沌系统与 Lorenz 超混沌系统两种条件下的保密通信仿真。

实例 19 与实例 20：主要介绍了 Simulink 方法及基于 Simulink 方法分别实现水反应器的神经网络控制与引信的神经网络去噪，并列举了相应的源代码。

实例 21：主要介绍了 SOM 神经网络的基本原理与常用的聚类分析方法，给出了 SOM

网络与 K 均值聚类方法的 MATLAB 函数，并通过实例比较了两种方法的分类能力。

实例 22：主要介绍了 LVQ 网络的基本原理、MATLAB 函数及常用的图像边缘检测算法与 MATLAB 函数，并通过实例比较了 LVQ 网络与常用边缘检测方法对图像边缘的检测效果。

实例 23：主要介绍了 Kohonen 神经网络的基本原理与学习算法，以及彩色图像智能分层方法，通过编程实现了 Kohonen 网络对彩色图像的智能分层。

实例 24：主要介绍了 Boltzman 机的基本原理与模拟退火的基本理论，根据模拟退火初步解决了城市周游问题。

实例 25：主要介绍了余弦基神经网络的基本理论和调制解调的基本原理，利用余弦基神经网络模拟椭圆滤波器，初步实现了信号的调制解调。

实例 26 与实例 27：主要介绍了 SVM 分类器与回归方法的基本原理、工具箱函数及使用方法，并利用 SVM 分类器实现了 DNA 序列的分类，利用 SVM 回归方法实现了对上证指数开盘指数的回归分析。

实例 28：主要介绍了量子神经网络的基本原理，重要推导了量子神经网络的学习算法，并利用该神经网络实现了对油气资源的评价与预测。

实例 29：结合实例介绍了神经网络的数据管理工具箱、拟合工具箱，以及模式识别工具箱的图像界面及相应的使用方法。

实例 30：设计了一种在理论上可以任意设置拓扑结构和无限扩展的 BP 神经网络，推导了该网络的算法，列举了该网络的源代码，通过实例验证了该算法的高效简洁性。

本书由杨杰、占君和张继传编著，在本书编写过程中，得到了贾东永博士的帮助，在此对他表示衷心的感谢。参与本书编写的还有高克臻、张云霞、许小荣、王冬、张银芳、周新国、陈作聪、苏静、张秀梅、张玉兰、李爽、王文婷，在此，对以上人员致以诚挚的谢意！

在本书的编写过程中参考了大量 MATLAB 相关书籍及 MATLABsky 论坛、研学论坛、MATLAB 中文论坛、仿真论坛上的资源，在此，对相应作者一并表示感谢，同时对各位 MATLAB 的网友给予的启发和帮助表示感谢。

由于时间仓促，加之作者水平和经验有限，书中疏漏甚至错误在所难免，希望广大读者批评指正。

编著者



# 目 录

实例 1	BP 神经网络在非线性函数拟合中的应用	1
1.1	理论基础	1
1.1.1	BP 网络概述	1
1.1.2	BP 神经网络的 MATLAB 函数	2
1.2	非线性函数拟合方法	6
实例 2	主元 BP 神经网络在股票价格预测中的应用	12
2.1	理论基础	12
2.1.1	主成分分析的原理	12
2.1.2	主元神经网络与股票预测	14
2.2	股票价格的预测方法	16
实例 3	遗传算法优化 BP 神经网络在坝基岩体渗透系数识别中的应用	22
3.1	理论基础	22
3.1.1	遗传算法概述	22
3.1.2	MATLAB 遗传算法工具箱介绍	24
3.1.3	遗传神经网络的基本原理	28
3.2	坝基岩体渗透系数识别	29
实例 4	基于 PSO-BP 神经网络刀具磨损状态监测技术	35
4.1	理论基础	35
4.1.1	粒子群算法的原理	36
4.1.2	粒子群算法的矩阵形式	37
4.1.3	MATLAB 粒子群算法工具箱	38
4.2	刀具磨损监测的 PSO 神经网络方法	40
实例 5	离散型 Hopfield 神经网络在交通标志识别中的应用	49
5.1	理论基础	49
5.1.1	离散型 Hopfield 神经网络的工作方式	49
5.1.2	Hopfield 神经网络的设计方法	51
5.2	Hopfield 神经网络的 MATLAB 函数	52
5.3	离散型 Hopfield 神经网络与交通标志识别	53
实例 6	连续型 Hopfield 神经网络在旅游路线周游规划中的应用	58
6.1	理论基础	58
6.1.1	CHNN 的工作原理	58

6.1.2	CHNN 的重要性质	59
6.1.3	TSP 问题的描述	61
6.2	TSP 问题的 CHNN 求解	62
6.2.1	求解方法一	62
6.2.2	求解方法二	64
6.2.3	旅游线路周游规划的 MATLAB 实现方法	65
<b>实例 7</b>	<b>感知器网络与线性神经网络在医疗诊断中的应用</b>	<b>71</b>
7.1	理论基础	71
7.1.1	感知器网络原理	71
7.1.2	线性神经网络原理	73
7.1.3	感知器网络的 MATLAB 函数	73
7.1.4	线性神经网络的 MATLAB 函数	77
7.2	两种神经网络在医疗诊断中的应用	78
<b>实例 8</b>	<b>RBF 神经网络在太阳黑子数预测中的应用</b>	<b>83</b>
8.1	理论基础	83
8.1.1	RBF 神经网络原理	83
8.1.2	RBF 神经网络的 MATLAB 函数	86
8.2	太阳黑子数观测的 RBFNN 方法	88
<b>实例 9</b>	<b>GRNN 在无源双地基雷达跟踪中的应用</b>	<b>94</b>
9.1	理论基础	94
9.1.1	GRNN 的基本原理	94
9.1.2	GRNN 的统计学意义	96
9.2	无源跟踪的 GRNN 与 UKF 方法比较	97
9.2.1	UKF 与 GRNN 非线性滤波的原理	98
9.2.2	UKF 与 GRNN 的无源跟踪程序	100
<b>实例 10</b>	<b>模糊神经网络在预测地基沉降量中的应用</b>	<b>106</b>
10.1	理论基础	106
10.1.1	模糊逻辑系统简介	107
10.1.2	TS 型模糊神经网络简介	108
10.1.3	TS 型模糊神经网络学习算法	109
10.2	模糊神经网络在预测地基沉降量中的应用	111
<b>实例 11</b>	<b>概率神经网络在遥感图像分类中的应用</b>	<b>117</b>
11.1	理论基础	117
11.1.1	概率神经网络简介	117
11.1.2	概率神经网络的 MATLAB 函数	118
11.2	概率神经网络在遥感图像分类中的应用	118
<b>实例 12</b>	<b>小波神经网络在电力负荷预测中的应用</b>	<b>124</b>
12.1	理论基础	124





12.1.1	小波理论简介	124
12.1.2	小波神经网络简介	127
12.2	小波神经网络在电力负荷预测中的应用	130
<b>实例 13</b>	<b>神经网络在 PID 控制系统设计中的应用</b>	136
13.1	理论基础	136
13.2	神经网络 PID 及 MATLAB 编程方法	138
<b>实例 14</b>	<b>灰色神经网络在空调订单预报中的应用</b>	146
14.1	理论基础	146
14.1.1	灰色理论简介	146
14.1.2	灰色神经网络模型	149
14.2	空调订单灰色神经网络预报的编程方法	151
<b>实例 15</b>	<b>基于 Chebyshev 混沌神经网络异步加密与解密算法</b>	156
15.1	理论基础	156
15.1.1	混沌理论简介	156
15.1.2	Chebyshev 神经网络建模	159
15.2	Chebyshev 混沌神经网络应用于异步加密的算法	162
<b>实例 16</b>	<b>基于随机 Hopfield 神经网络的最优 CDMA 多用户检测器</b>	171
16.1	理论基础	171
16.1.1	CDMA 通信系统模型	171
16.1.2	多用户检测问题的提出及建模	176
16.1.3	随机 Hopfield 神经网络检测器理论	177
16.2	CDMA 最优多用户检测编程方法	178
<b>实例 17</b>	<b>ELMAN 神经网络在无线传感器网络定位中的应用</b>	183
17.1	理论基础	183
17.1.1	ELMAN 神经网络理论简介	183
17.1.2	ELMAN 神经网络的工具箱函数简介	184
17.1.3	无线传感器网络 RSSI 定位技术简介	186
17.2	ELMAN 网络在无线传感器网络定位中的应用	186
<b>实例 18</b>	<b>混沌神经网络同步控制及在保密通信中的应用</b>	191
18.1	理论基础	191
18.1.1	混沌通信简介	191
18.1.2	混沌同步简介	193
18.2	混沌神经网络同步及保密通信仿真	194
<b>实例 19</b>	<b>水反应器神经网络控制方法及 Simulink 实现</b>	203
19.1	理论基础	203
19.1.1	MATLAB Simulink 简介	203
19.1.2	神经网络控制器 Simulink 模块简介	207
19.2	水反应器神经网络控制方法的 Simulink 仿真	211

实例 20	基于自适应神经网络滤波的引信去噪方法	215
20.1	自适应噪声对消原理	215
20.2	神经网络滤波引信去噪仿真	216
20.2.1	MATLAB 编程方法	217
20.2.2	MATLAB Simulink 方法	219
实例 21	SOM 神经网络在生物信息聚类分析中的应用	223
21.1	理论基础	223
21.1.1	聚类分析简介	223
21.1.2	SOM 神经网络简介	226
21.2	生物信息聚类分析的编程方法	228
实例 22	LVQ 神经网络在数字图像边缘检测中的应用	233
22.1	理论基础	233
22.1.1	LVQ 神经网络简介	233
22.1.2	数字图像边缘检测原理与方法	238
22.2	边缘检测 LVQ 神经网络原理及编程实现	239
实例 23	Kohonen 神经网络在彩色图像智能分层中的应用	245
23.1	理论基础	245
23.1.1	Kohonen 自组织神经网络简介	245
23.1.2	Kohonen 自组织神经网络工作原理	245
23.2	彩色图像智能分层的 MATLAB 编程方法	246
实例 24	基于模拟退火算法的城市周游 TSP 问题求解	252
24.1	理论基础	252
24.1.1	模拟退火算法简介	252
24.1.2	模拟退火算法实现	252
24.2	城市周游问题 Boltzman 机求解编程方法	253
实例 25	PSO-余弦基神经网络在信号调制解调中的应用	259
25.1	理论基础	259
25.2	神经网络滤波器调制解调方法设计	260
实例 26	SVM 在 DNA 序列分类中的应用	272
26.1	理论基础	272
26.1.1	SVM 算法分类	272
26.1.2	Libsvm 工具箱	273
26.2	SVM 在 DNA 序列分类应用的编程实现	274
实例 27	PSO-SVM 在上证指数开盘指数预测中的应用	279
27.1	理论基础	279
27.2	PSO-SVM 在上证指数开盘指数预测的编程方法	280
实例 28	量子神经网络在油气资源评价中的应用	288
28.1	理论基础	288



28.2	量子神经网络在油气资源评价应用的编程实现	293
实例 29	神经网络 GUI 设计及 Simulink 设计方法	305
29.1	神经网络数据管理工具箱图形界面	305
29.2	神经网络拟合工具箱图形界面	309
29.3	神经网络模式识别工具箱图形界面	313
实例 30	矩阵方法在大规模神经网络的 MATLAB 编程中的应用	317
30.1	理论基础	317
30.1.1	多层 BP 神经网络正向传播算法的矩阵形式	317
30.1.2	多层 BP 神经网络误差反向传播算法的矩阵形式	320
30.2	大规模 BP 神经网络的 MATLAB 编程方法	323

# 实例



## BP 神经网络在非线性函数拟合中的应用

自 1985 年 Rumelhart 等几位学者提出误差反向传播的学习机制以来，经过不断改进与完善，已发展成为现在的 BP 神经网络。BP 神经网络具有完善的理论体系、清晰的算法流程、强大的数据识别和模拟功能。在解决非线性系统问题时，优势明显，突显出巨大的实际应用价值。

对所测量得到的实验数据进行拟合是从实践到理论的一个重要环节，而常规的拟合方法由于基函数的限制，对于函数的拟合只能是线性的，或者是一维的，或者只针对某一类型的问题，而 BP 神经网络由于其基函数可选，结构灵活，因而对于多维空间的非线性拟合具有强大的优势。

作为第 1 个实例，本章先介绍 BP 神经网络的基本概念和相应的 MATLAB 函数，然后通过编写代码实例比较 BP 神经网络拟合、多项式拟合与 MATLAB 自带的非线性拟合方法的拟合效果，使读者在学习神经网络编程的同时，也认识到 BP 神经网络在非线性拟合中的巨大优势。

### 1.1 理论基础

#### 1.1.1 BP 网络概述

BP 神经网络的全称为 Back-Propagation Network，即反向传播网络。BP 神经网络作为人工神经网络中应用最广的算法模型，具有完备的理论体系和学习机制。它模仿人脑神经元对外部激励信号的反应过程，建立多层感知器模型，利用信号正向传播和误差反向调节的学习机制，通过多次迭代学习，成功地搭建出处理非线性信息的智能化网络模型。

单层 BP 神经网络如图 1-1 所示。其中， $x_j(j=1,2,\dots,N)$ 为神经元  $j$  的输入信号， $w_{ij}$  为连接权重； $u_i$  为输入信号线性组合后的输出，也是神经元  $i$  的净输入； $\theta_i$  为神经元的阈值； $v_i$  为经阈值调整后的值； $f(\bullet)$  为神经元的激励函数。输入信号在单层感知器中传递的数学模型为：

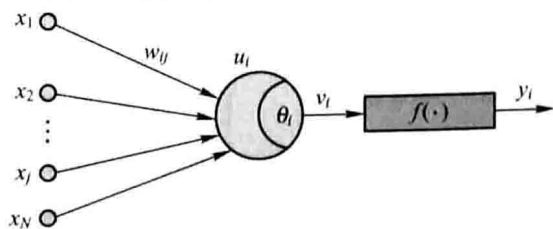


图 1-1 单层 BP 神经网络示意图



$$u_i = \sum_{j=1}^N w_{ij} x_j$$

$$v_i = u_i + \theta_i$$

$$y_i = f(v_i)$$

$f(\bullet)$ 为 BP 神经元的激励函数，比较常见的激励函数包括 logsig 函数、tansig 函数等。以 logsig 函数为例，其表达式为：

$$\text{logsig}(v) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha u)}$$

其中， $\alpha$ 为常数。

对于 tansig 函数，其表达式为：

$$\text{tansig}(v) = \frac{1 - \exp(-\alpha u)}{1 + \exp(-\alpha u)}$$

其中， $\alpha$ 为常数

多层神经网络的结构如图 1-2 所示，原理与单层神经网络一样，本书将在后面的章节中进行详细介绍。

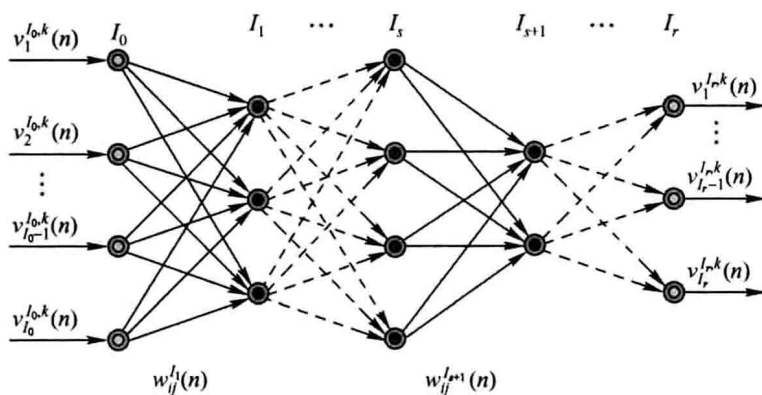


图 1-2 多层 BP 神经网络结构示意图

## 1.1.2 BP 神经网络的 MATLAB 函数

MATLAB 神经网络工具箱中包含了许多用于 BP 神经网络分析与设计的函数，其中 BP 神经网络常用的函数如表 1-1 所示。

表 1-1 BP 神经网络的常用函数表

函数类型	函数名称	函数用途
前向网络创建函数	newcf	创建级联前向 BP 网络
	newff	创建前向 BP 网络
	newffid	创建存在输入延迟的前向网络
传递函数	logsig	S 型的对数函数
	dlogsig	logsig 的导函数



续表

函数类型	函数名称	函数用途
传递函数	tansig	S型的正切函数
	dtansig	tansig的导函数
	purelin	纯线性函数
	dpurelin	purelin的导函数
显示函数	learngd	基于梯度下降法的学习函数
	learnqdm	梯度下降动量学习函数
	mse	均方差函数
	msereg	均方差规范化函数
	plotperf	绘制网络的性能
	plotes	绘制一个单独神经元的误差曲面
	plotep	绘制权值和阈值在误差曲面上的位置
	errsurf	计算单个神经元的误差曲面

本节将简要介绍其中比较常用的函数。

### 1. 神经网络的创建函数

#### 1) newcf

该函数用于创建级联前向 BP 神经网络，调用格式为：

- ① net=newcf
- ② net=newcf(PR,[S1,S2,...,S(N-1)],{TF1,TF2,...,TF(N-1)},BTF,BLF,PF)
- ③ net = newcf(P,T,[S1,S2,...,S(N-1)],{TF1,TF2,...,TFN}, BTF,BLF,PF,IPF,OPF,DDF)

其中，

net=newcf: 用于在对话框中创建一个 BP 神经网络；

PR: 每组输入（共有 R 组输入）元素的最大值和最小值组成的  $R \times 2$  维矩阵；

Si: 第 i 层的长度，共计 N-1 层；

TFi: 第 i 层的传递函数，默认为“tansig”；

BTF: BP 网络的训练函数，默认为“trainlm”；

BLF: 权值和阈值的 BP 学习算法，默认为“learnqdm”；

PF: 网络的性能函数，默认为“mse”；

值得注意的是，参数 TFi 可以采用任意的可微函数，如 tansig、logsig 和 purelin 等；训练函数可以是任意的 BP 训练函数，如 trainlm、trainbfg、trainrp 和 traingd 等。

实际测试表明，traingd 比 trainlm 要慢得多，但由于它占用内存比较少，所以不存在死机的问题，对于配置比较低的计算机可以考虑用该训练函数。

#### 2) newff

该函数用于创建一个前向 BP 网络，调用格式为：

- ① net=newff
- ② net=newff(PR,[S1,S2,...,S(N-1)],{TF1,TF2,...,TFN}, BTF,BLF,PF,IPF,OPF,DDF)
- ③ net=newff(P,T,[S1,S2,...,S(N-1)],{TF1,TF2,...,TFN}, BTF,BLF,PF,IPF,OPF,DDF)

其中，

`net=newff`: 用于在对话框中创建一个前向 BP 网络。

其他参数含义见 `newcf`。

### 3) `newfftd`

该函数用于创建一个存在输入延迟的前向网络。调用格式为:

① `net=newfftd`

② `net=newfftd(PR,[S1,S2,...,S(N-1)],{TF1,TF2,...,TFN},BTF,BLF,PF)`

③ `net=newfftd(P,T,ID,[S1,S2,...,S(N-1)],{TF1,TF2,...,TFN1},BTF,BLF,PF,IPF,OPF,DDF)`

其中,

`net=newfftd`: 用于在对话框中创建一个 BP 网络;

`ID`: 输入延迟向量;

其他参数参见 `newcf`。

## 2. 神经网络学习函数

### 1) `learngd`

该函数为梯度下降权值/阈值学习函数,它通过神经元的输入和误差,以及权值和阈值的学习速率来计算权值/阈值的变化率。调用格式为:

① `[dW,ls]=learngd(W,P,X,N,A,T,E,gW,gA,D,LP,LS)`

② `[db,ls]=learngd(b,ones(1,Q),Z,N,A,T,E,gW,gA,D,LP,LS)`

③ `info=learngd(code)`

其中,

`W`:  $S \times R$  维的权值矩阵;

`b`:  $S$  维的阈值向量;

`P`:  $Q$  组  $R$  维的输入向量;

`ones(1,Q)`: 产生一个  $Q$  维的输入向量;

`Z`:  $Q$  组  $S$  维的加权输入向量;

`N`:  $Q$  组  $S$  维的输入向量;

`A`:  $Q$  组  $S$  维的输出向量;

`T`:  $Q$  组  $S$  维的层目标向量;

`E`:  $Q$  组  $S$  维的层误差向量;

`gW`: 与性能相关的  $S \times R$  维梯度;

`gA`: 与性能相关的  $S \times R$  维输出梯度;

`D`:  $S \times S$  维的神经元距离矩阵;

`LP`: 学习参数,可通过该参数设置学习速率,设置格式如 `LP.lr=0.01`;

`LS`: 学习状态,初始状态下为空;

`dW`:  $S \times R$  维的权值或阈值变化率矩阵;

`db`:  $S$  维的阈值变化率向量;

`ls`: 新的学习状态;

`learngd(code)`: 根据不同的 `code` 值返回有关函数的不同信息,包括以下内容。

`pnames`—返回设置的学习参数;

`pdefaults`—返回默认的学习参数;

needg—如果函数使用了 gW 或 gA, 则返回 1。

## 2) learnqdm

该函数为梯度下降动量学习函数, 它利用神经元的输入和误差、权值/阈值的学习速率和动量常数来计算权值/阈值的变化率。调用格式为:

- ① [dW,LS]=learnqdm(W,P,Z,N,A,T,E,gW,gA,D,LP,LS)
- ② [db,LS]=learnqdm(b,ones(1,Q),Z,N,A,T,E,gW,gA,D,LP,LS)
- ③ info=learnqdm(code)

各参数的含义请参见 learnqd。

## 3. BP 网络训练函数

### 1) train

该函数用于对神经网络进行训练。调用格式为:

- ① [net,tr,Y,E,Pf,Af]=train(NET,P,T,Pi,Ai)
- ② [net,tr,Y,E,Pf,Af]=train(NET,P,T,Pi,Ai,VV,TV)

其中,

NET: 待训练的神经网络;

P: 网络的输入信号;

T: 网络的目标, 默认为 0;

Pi: 初始的输入延迟, 默认为 0;

Ai: 初始的层次延迟, 默认为 0;

VV: 网络结构确认向量, 默认为空;

net: 函数返回值, 训练后的神经网络;

tr: 函数返回值, 训练记录 (包括步数和性能);

Y: 函数返回值, 神经网络输出信号;

E: 函数返回值, 神经网络误差;

Pf: 函数返回值, 最终输入延迟;

Af: 函数返回值, 最终层延迟。

### 2) 神经网络初始化函数

NET=init(net)

其中,

NET: 返回参数, 表示已经初始化后的神经网络;

net: 待初始化的神经网络。

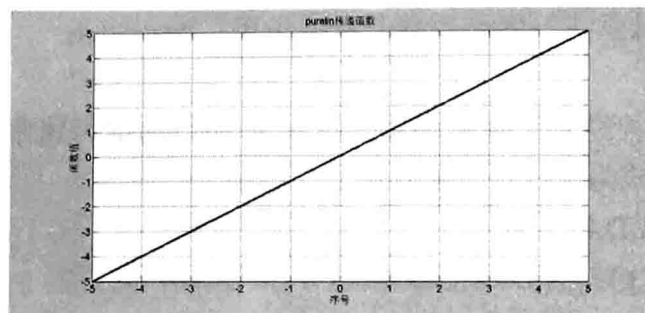
NET 为 net 经过一定的初始化修正而成。修正后, 前者的权值和阈值都发生了改变。

## 4. BP 网络传递函数

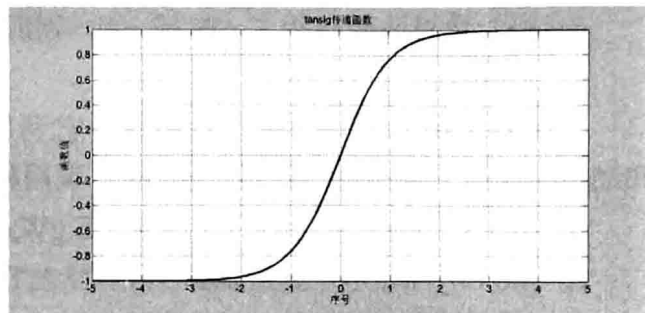
传递函数的作用是将神经网络的输入转换为输出。

- ① a = purelin(n);
- ② a = tansig(n);
- ③ a = logsig(n);
- ④ a = hardlim(n);

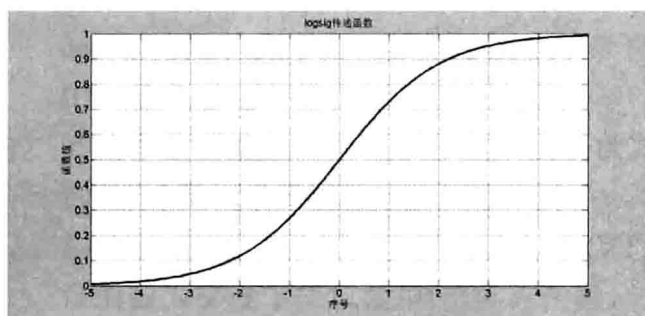
各类传递函数的变化情况如图 1-3 所示。



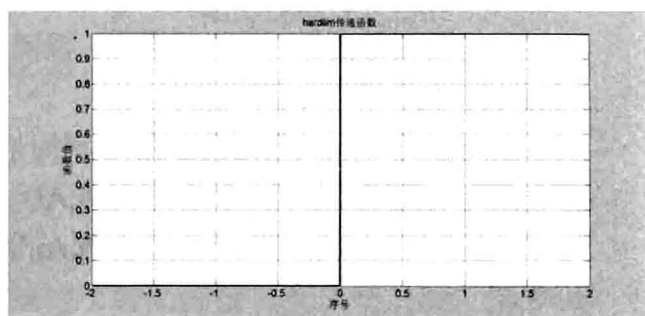
(a) purelin 传递函数



(b) tansig 传递函数



(c) logsig 传递函数



(d) hardlim 传递函数

图 1-3 神经网络传递函数的变化情况

值得注意的是，对 logsig 函数求导，有：

$$\frac{d}{dv} \text{logsig}(v) = \alpha \text{logsig}(v) \times [1 - \text{logsig}(v)]$$

对于 tansig 函数，其导数为：

$$\frac{d}{dv} \text{tansig}(v) = \frac{\alpha}{2} [1 + \text{tansig}(v)] \times [1 - \text{tansig}(v)]$$

其中， $\alpha$  为常数。

logsig 函数和 tansig 函数的这些性质十分重要，因为 BP 神经网络的学习采用的是基于最小二乘的误差反向传递算法，学习时采用的步长与误差的梯度成正比，而误差的梯度通常是大量传递函数导数的线性叠加。因此，将导数运算转换为乘法运算可以节省大量的计算时间，同时也提高了运算的精度，这对于编程设计与使用神经网络是有极大好处的。

## 1.2 非线性函数拟合方法

在科学实验及应用领域中，时常需要在分析一组测试数据的基础上去求自变量与应变量之间近似函数关系表达式，以便计算机或其他设计人员利用它来方便地进行其他设计计算。这类问题在图形上就是由测得的点求曲线拟合的问题。所谓拟合，是指设法找出某函数，它能最佳地拟合数据。

在曲线拟合时，并不要求拟合曲线一定要经过每一个数据点，其思想是使它能够反映这些离散数据的变化趋势，使数据点的误差平方和最小。也就是已知一组测定的数据（例如， $N$  个点  $(x_i, y_i)$ ， $i=1, \dots, N$ ， $x_i$ ， $y_i$  可为标量或者向量）去求得自变量  $x$  和因变量  $y$  的一个