

MATLAB仿真应用精品丛书

MATLAB R2016a

神经网络设计应用27例

顾艳春 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

MATLAB 仿真应用精品丛书

MATLAB R2016a

神经网络设计应用 27 例

顾艳春 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以 MATLAB R2016a 为平台,通过专业技术与大量典型实例相结合,介绍了各种典型网络的训练过程和实际应用。全书共 27 个案例,从实用角度出发,详尽地讲述感知器网络、线性神经网络、RBF 神经网络、BP 神经网络、反馈神经网络及自组织神经网络等内容,扩展介绍神经网络在其他工程领域的实际应用。

本书可作为科研人员及工程技术人员的参考用书,也可作为本科生和研究生的学习用书。

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

MATLAB R2016a 神经网络设计应用 27 例/顾艳春编著. —北京:电子工业出版社,2018.1

(MATLAB 仿真应用精品丛书)

ISBN 978-7-121-33329-3

I. ①M… II. ①顾… III. ①Matlab 软件—应用—神经网络 IV. ①TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 316127 号

策划编辑:陈韦凯

责任编辑:万子芬 特约编辑:徐宏

印刷:涿州市京南印刷厂

装订:涿州市京南印刷厂

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:29.25 字数:749 千字

版次:2018 年 1 月第 1 版

印次:2018 年 1 月第 1 次印刷

印数:2 500 册 定价:69.00 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, 88258888。

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。

本书咨询联系方式: chenwk@phei.com.cn。

前 言

1943年，心理学家 W.S.McCulloch 和数理逻辑学家 W.Pitts 建立了神经网络和数学模型，称为 MP 模型。他们通过 MP 模型提出了神经元的形式化数学描述和网络结构方法，证明了单个神经元能执行逻辑功能，从而开创了人工神经网络研究的时代。近年来，人工神经网络正在模拟人类认知的道路上更加深入发展，与模糊系统、遗传算法、进化机制等结合，形成计算智能，成为人工智能的一个重要方向，将在实际应用中得到发展。将信息几何应用于人工神经网络的研究，为人工神经网络的理论研究开辟了新的途径。神经计算机的研究发展很快，已有产品进入市场。光电结合的神经计算机为人工神经网络的发展提供了良好条件。

神经网络是通过对人脑的基本单元——神经元的建模和连接，探索模拟人脑神经系统功能的模型，并研制一种具有学习、联想、记忆和模式识别等智能信息处理功能的人工系统。神经网络的一个重要特性是它能够从环境中学习，并把学习的结果分布存储于网络的突触连接中。神经网络的学习是一个过程，在其所处环境的激励下，相继给网络输入一些样本模式，并按照一定的规则（学习算法）调整网络各层的权值矩阵，待网络各层权值都收敛到一定值，学习过程结束，之后就可以用生成的神经网络来对真实数据分类。

神经网络在很多领域中已得到了很好的应用，但其需要研究的方面还很多。其中，具有分布存储、并行处理、自学习、自组织及非线性映射等优点的神经网络与其他技术的结合，以及由此而来的混合方法和混合系统，已经成为一大研究热点。由于其他方法也有它们各自的优点，所以将神经网络与其他方法相结合，取长补短，继而可以获得更好的应用效果。目前，这方面的工作有神经网络与模糊逻辑、专家系统、遗传算法、小波分析、混沌、粗集理论、分形理论、证据理论和灰色系统等融合。

MATLAB 自产生之日起就具有方便的数据可视化功能，以将向量和矩阵用图形表现出来，并且可以对图形进行标注和打印。高层次的作图包括二维和三维的可视化、图像处理、动画和表达式作图，可用于科学计算和工程绘图。新版本的 MATLAB 对整个图形处理功能进行了很大的改进和完善，使它不仅在一般数据可视化软件都具有的功能（例如二维曲线和三维曲面的绘制和处理等）方面更加完善，而且一些其他软件所没有的功能（例如图形的光照处理、色度处理以及四维数据的表现等），MATLAB 同样表现了出色的处理能力。同时，对一些特殊的可视化要求（例如图形对话等），MATLAB 也有相应的功能函数，保证了用户不同层次的要求。另外，新版本的 MATLAB 还着重在图形用户界面（GUI）的制作上做了很大的改进，可以满足对这方面有特殊要求的用户的需求。

MATLAB 对许多专门的领域都开发了功能强大的模块集和工具箱。一般来说，它们都是由特定领域的专家开发的，用户可以直接使用工具箱学习、应用和评估不同的方法而不需要自己编写代码。MATLAB 在很多领域，如数据采集、数据库接口、概率统计、样条拟合、优化算法、偏微分方程求解、神经网络、小波分析、信号处理、图像处理、系统辨识、控制系统设计、LMI 控制、鲁棒控制、模型预测、模糊逻辑、金融分析、地图工具、非线性控制设计、实时快速原型及半物理仿真、嵌入式系统开发、定点仿真、DSP 与通信、电力系统仿真等，都在工具箱（Toolbox）家族中有了自己的一席之地。

一种语言之所以能够如此迅速地普及和应用，显示出如此旺盛的生命力，是因为它有着

不同其他语言的特点。正如 C 语言等高级语言使人们摆脱了需要直接对计算机硬件资源进行操作的要求，被称为第四代计算机语言的 MATLAB（简称 M 语言），利用其丰富的函数资源和工具箱资源，使编程人员可以根据不同的需要选择相应的优化函数，而不需要编写烦琐的程序代码。该软件最突出的特点就是简洁、开放式、便捷等，它提供了更为直观、符合人们思维习惯的代码。同时给用户带来最直观、最简洁的程序开发环境。目前的 MATLAB 可以说是科技工作者必不可少的工具之一，掌握这一重要工具将使得日常的学习和工作事半功倍。

MATLAB 之所以有如此强大的功能在于其还在不断扩大的工具箱的应用，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。神经网络工具箱正是在 MATLAB 环境下所开发出来的众多工具箱之一，它是以前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，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，网络的设计者可以根据所需去调用工具箱中有关神经网络的设计与训练程序，使自己能够从烦琐的编程中解脱出来，致力于思考问题和解决问题，从而提高效率和解题质量。

本书基于 MATLAB R2016a 全面讲解 MATLAB 相关知识，帮助读者尽快掌握 MATLAB 的应用。本书具有如下特点：

(1) 全面细致，循序渐进。本书以 MATLAB R2016a 为平台，简要、全面、由浅入深地介绍 MATLAB 软件的特色、使用，再辅以 MATLAB 在工程中的应用案例，帮助读者尽快掌握用 MATLAB 进行工程应用分析的技能。

(2) 内容新颖，应用典型。本书结合 MATLAB 解决工程应用中的各种实际问题，详细地讲解 MATLAB 软件的使用方法与技巧，并通过大量典型的应用例子来实操，在讲解过程中辅以相应的图片，使读者在阅读时一目了然，从而快速掌握书中的内容。

(3) 轻松易学，上手快速。本书理论与实例相结合，并通过 MATLAB 的在线帮助、自带实例等内容，使读者轻松掌握所学内容，快速上手，还可以提高快速分析和解决实际问题的能力，从而能够在最短的时间内，以最高的效率解决实际通信系统中遇到的问题。

本书主要由顾艳春编写，参加编写的还有赵书兰、刘志为、栾颖、王宇华、吴茂、方清城、邓奋发、何正风、丁伟雄、李娅、辛焕平、杨文茵、李晓东和张德丰。

本书可以作为广大科研人员、学者、工程技术人员的参考用书，也可以作为广大在校本科生和研究生的学习用书。本书提供案例源代码下载，读者可以登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）查找本书，免费下载。

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。

编 著 者

目 录

第 1 章 RBF 神经网络的实际应用	1
1.1 用于曲线拟合的 RBF 神经网络	1
1.2 径向基网络实现非线性函数回归	10
1.3 CRNN 网络应用	13
1.4 PNN 网络应用	15
1.5 RBF 神经网络的优缺点	19
第 2 章 SOM 网络算法分析与应用	22
2.1 SOM 网络的生物学基础	22
2.2 SOM 网络的拓扑结构	22
2.3 SOM 网络的权值调整	23
2.4 SOM 网络的 MATLAB 实现	26
2.5 SOM 网络的应用	33
第 3 章 线性网络的实际应用	45
3.1 线性化建模	45
3.2 模式分类	50
3.3 消噪处理	51
3.4 系统辨识	54
3.5 系统预测	55
第 4 章 BP 网络算法分析与应用	61
4.1 BP 网络模型	61
4.2 BP 网络学习算法	62
4.2.1 BP 网络学习算法介绍	62
4.2.2 BP 网络学习算法的比较	67
4.3 BP 神经网络特点	68
4.4 BP 网络功能	68
4.5 BP 网络实例分析	68
第 5 章 神经网络在选址与地震预测中的应用	78
5.1 配送中心选址	78
5.2 地震预报	81
5.2.1 问题概述	82
5.2.2 网络设计	83
5.2.3 网络训练与测试	83
5.2.4 网络实现	88
第 6 章 模糊神经网络的算法分析与实现	91
6.1 模糊神经网络的形式	91



6.2	神经网络和模糊控制结合的优点	92
6.3	神经模糊控制器	92
6.4	神经模糊控制器的学习算法	95
6.5	模糊神经网络 MATLAB 函数	97
6.5.1	模糊神经系统的建模函数	97
6.5.2	采用网格分割方式生成模糊推理系统函数	102
6.6	MATLAB 模糊神经推理系统的图形用户界面	103
第 7 章	BP 网络的典型应用	107
7.1	数据归一化方法	107
7.2	提前终止法	109
7.3	BP 网络的局限性	111
7.4	BP 网络典型应用	112
7.4.1	用 BP 网络估计胆固醇含量	112
7.4.2	线性神经网络在信号预测中的应用	115
第 8 章	线性神经网络算法分析与实现	120
8.1	线性神经网络工具箱函数	120
8.1.1	创建函数	120
8.1.2	学习函数	122
8.1.3	性能函数	124
8.2	线性神经网络模型及结构	125
8.3	线性神经网络的学习算法与训练	126
8.3.1	线性神经网络的学习算法	126
8.3.2	线性神经网络的训练	128
8.4	线性神经网络的滤波器	130
第 9 章	感知器网络算法分析与实现	133
9.1	单层感知器	133
9.1.1	单层感知器模型	133
9.1.2	单层感知器功能	134
9.1.3	单层感知器结构	136
9.1.4	单层感知器学习算法	137
9.1.5	单层感知器训练	138
9.1.6	单层感知器局限性	139
9.1.7	单层感知器的 MATLAB 实现	140
9.2	多层感知器	147
9.2.1	多层感知器模型	147
9.2.2	多层感知器设计方法	147
9.2.3	多层感知器的 MATLAB 实现	148

第 10 章 神经网络工具箱函数分析与应用	153
10.1 神经网络仿真函数	153
10.2 神经网络训练函数	155
10.2.1 train	156
10.2.2 trainb 函数	156
10.3 神经网络学习函数	158
10.4 神经网络初始函数	161
10.5 神经网络输入函数	163
10.6 神经网络的传递函数	165
10.7 神经网络求点积函数	168
第 11 章 BM 网络与 BSB 网络算法分析与实现	169
11.1 Boltzmann 神经网络	169
11.1.1 BM 网络的基本结构	169
11.1.2 BM 模型的学习	169
11.1.3 BM 网络的实现	172
11.2 BSB 神经网络	174
第 12 章 感知器网络工具箱函数及其应用	177
12.1 创建函数	177
12.2 显示函数	180
12.3 性能函数	181
第 13 章 RBF 神经网络算法分析与应用	186
13.1 RBF 神经网络模型	186
13.2 RBF 神经网络的数学基础	188
13.2.1 内插问题	188
13.2.2 正则化网络	189
13.3 RBF 神经网络的学习算法	190
13.3.1 自组织选取中心法	190
13.3.2 梯度训练方法	191
13.3.3 正交最小二乘 (OLS) 学习算法	192
13.4 其他 RBF 神经网络	193
13.4.1 广义回归神经网络	193
13.4.2 泛化回归神经网络	194
13.4.3 概率神经网络	195
13.5 RBF 神经网络 MATLAB 函数	196
13.5.1 创建函数	196
13.5.2 权函数	199
13.5.3 输入函数	200
13.5.4 传递函数	201

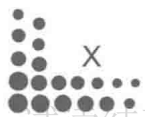


13.5.5	mse 函数	201
13.5.6	变换函数	202
第 14 章	Simulink 神经网络应用	204
14.1	Simulink 神经网络仿真模型库	204
14.2	Simulink 神经网络应用	208
第 15 章	ART 网络与 CP 网络算法分析与应用	213
15.1	ART-1 型网络	213
15.1.1	ART-1 型网络结构	213
15.1.2	ART-1 网络学习过程	215
15.1.3	ART-1 网络的应用	216
15.2	ART-2 型网络	218
15.2.1	网络结构与运行原理	219
15.2.2	网络的数学模型与学习算法	220
15.2.3	ART-2 型网络在系统辨识中的应用	222
15.3	CP 神经网络概述	223
15.3.1	CP 网络学习	224
15.3.2	CP 网络应用	225
第 16 章	Hopfield 网络算法分析与实现	231
16.1	Hopfield 神经网络	231
16.1.1	离散型 Hopfield 网络	231
16.1.2	DHNN 的动力学稳定性	234
16.1.3	网络权值的学习	236
16.1.4	联想记忆功能	239
16.2	连续型 Hopfield 网络	240
16.3	Hopfield 神经网络的应用	242
16.3.1	Hopfield 神经网络函数	242
16.3.2	Hopfield 神经网络的应用	245
第 17 章	LVQ 网络算法分析与应用	259
17.1	LVQ 神经网络的结构	259
17.2	LVQ 神经网络的学习算法	260
17.2.1	LVQ1 算法	260
17.2.2	LVQ2 算法	260
17.3	LVQ 神经网络的特点	261
17.4	LVQ 神经网络的 MATLAB 函数	262
17.5	LVQ 神经网络的应用	264
第 18 章	自组织网络算法分析与实现	269
18.1	竞争学习的概念	270
18.2	竞争学习规则	271



18.3	竞争学习原理	272
18.4	竞争神经网络 MATLAB 实现	275
18.5	竞争型神经网络存在的问题	279
第 19 章	Elman 网络算法分析与应用	280
19.1	Elman 神经网络结构	280
19.2	Elman 神经网络权值修正的学习算法	281
19.3	Elman 网络稳定性推导	282
19.4	对角递归网络稳定时学习速率的确定	283
19.5	Elman 神经网络在数据预测中的应用	284
第 20 章	BP 网络工具箱函数及其应用	288
20.1	创建函数	289
20.2	传递函数	291
20.3	学习函数	293
20.4	训练函数	294
20.5	性能函数	297
20.6	显示函数	298
第 21 章	神经网络在实际案例中的应用	300
21.1	农作物虫情预测	300
21.1.1	虫情预测原理	300
21.1.2	网络实现	301
21.2	人脸识别	304
21.2.1	模型建立	305
21.2.2	网络实现	306
第 22 章	神经网络工具箱函数分析与应用	310
22.1	神经网络构建函数的分析与应用	310
22.2	神经网络应用函数的分析与应用	324
第 23 章	线性神经网络算法分析与设计	330
23.1	线性神经网络结构	330
23.2	线性神经网络设计	331
23.3	自适应滤波线性神经网络	333
23.4	线性神经网络的局限性	335
23.5	线性神经网络的 MATLAB 应用举例	336
第 24 章	神经网络工具箱函数及实例分析	342
24.1	传递函数及其导函数	342
24.1.1	传递函数	342
24.1.2	传递函数的导函数	349
24.2	距离函数	354
24.3	权值函数及其导函数	356

24.3.1	权值函数	357
24.3.2	权值函数的导函数	358
24.4	结构函数	359
24.5	分析函数	361
24.6	转换函数	362
24.7	绘图函数	368
24.8	数据预处理和后处理函数	375
第 25 章	神经网络的工程应用	383
25.1	线性神经网络在线性预测中的应用	383
25.2	神经模糊控制在洗衣机中的应用	385
25.2.1	洗衣机的模糊控制	385
25.2.2	洗衣机的神经网络模糊控制器的设计	387
25.3	模糊神经网络在配送中心选址中的应用	391
25.4	Elman 神经网络在信号检测中的应用	394
25.5	神经网络在噪声抵消系统中的应用	397
25.5.1	自适应噪声抵消原理	397
25.5.2	噪声抵消系统的 MATLAB 仿真	399
第 26 章	神经网络算法分析与工具箱应用	402
26.1	网络对象属性	404
26.1.1	结构属性	404
26.1.2	子对象结构属性	408
26.1.3	函数属性	411
26.1.4	权值和阈值	413
26.1.5	参数属性	415
26.1.6	其他属性	415
26.2	子对象属性	416
26.2.1	输入向量	416
26.2.2	网络层	417
26.2.3	输出向量	422
26.2.4	阈值向量	422
26.2.5	输入权值向量	424
26.2.6	目标向量	427
26.2.7	网络层权值向量	428
第 27 章	自定义函数及其应用	432
27.1	初始化函数	432
27.2	学习函数	435
27.3	仿真函数	440
27.3.1	传递函数	440



27.3.2 传递函数导数函数 443

27.3.3 网络输入函数 444

27.3.4 网络输入导函数 446

27.3.5 权值函数 448

27.3.6 权值导数函数 450

27.4 自组织函数 452

 27.4.1 拓扑函数 452

 27.4.2 距离函数 454

参考文献 456

第 1 章 RBF 神经网络的实际应用

下面通过几个实例来演示 RBF 神经网络的应用。

1.1 用于曲线拟合的 RBF 神经网络

【例 1-1】使用 NEWRB 的函数对接近的一组数据点创建径向基网络，完成 $y=f(x)$ 的曲线拟合。

```
>> clear all;
%定义 21 个输入 P 和相关目标向量 T
X = -1:1:1;
T = [-.9602  -.5770  -.0729  .3771  .6405  .6600  .4609 ...
     .1336  -.2013  -.4344  -.5000  -.3930  -.1647  .0988 ...
     .3072  .3960  .3449  .1816  -.0312  -.2189  -.3201];
plot(X,T,'+'); %效果如图 1-1 所示
title('训练向量');
xlabel('输入向量 P');
ylabel('目标向量 T');
```

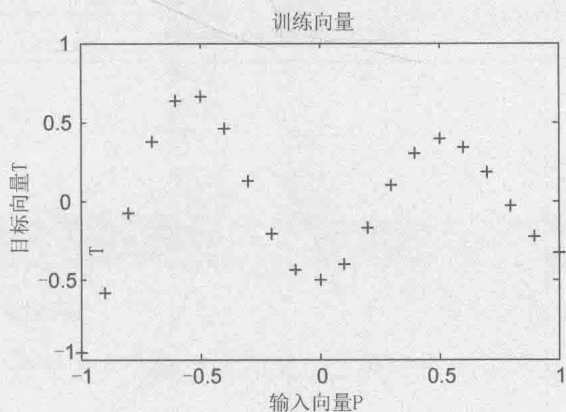


图 1-1 训练数据散点图

使用径向传递函数 radbas 计算隐藏层的输出，代码为：

```
>> x = -3:1:3;
a = radbas(x);
plot(x,a) %效果如图 1-2 所示
```

```
title('径向基传递函数');
xlabel('输入向量 p');
ylabel('输出向量 a');
```

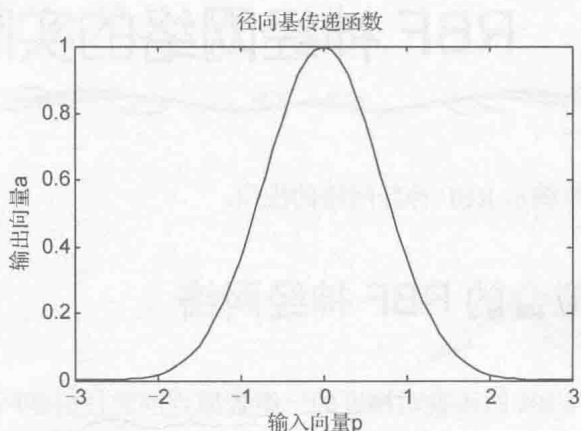


图 1-2 径向基传递函数

定义径向基网络权值与阈值不同的宽度，比较各隐藏层输出传递函数曲线，三个径向基函数用“蓝色”表示，其加权和用“洋红色”表示。代码为：

```
>> a2 = radbas(x-1.5);
a3 = radbas(x+2);
a4 = a + a2*1 + a3*0.5;           %加权和
plot(x,a,'b-',x,a2,'b--',x,a3,'b--',x,a4,'m-') %效果如图 1-3 所示
title('径向基传递函数的加权总和');
xlabel('输入向量 p');
ylabel('输出向量 a');
```

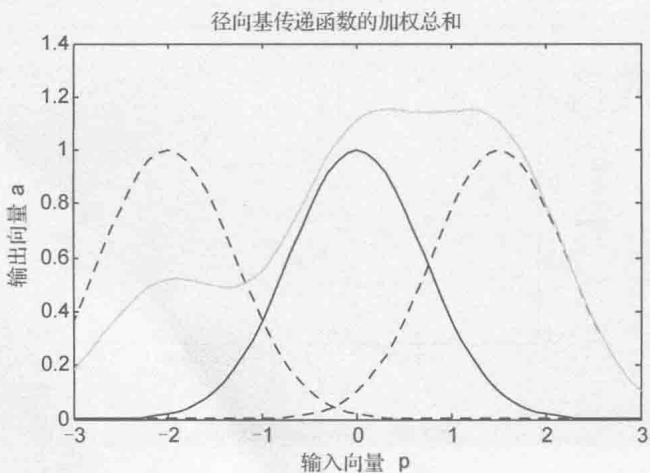


图 1-3 径向函数与加权和效果图

利用 NEWRB 快速创建一个接近 P 和 T 的定义除了训练集和目标函数的径向基网络，代码为：

```
>> eg = 0.02;           %总和平方误差目标
sc = 1;                %扩展速度，默认值为 1
```

仿真过程如下，误差如图 1-4 所示。

```
net = newrb(X,T,eg,sc);
NEWRB, neurons = 0, MSE = 0.176192
NEWRB, neurons = 2, MSE = 0.160368
NEWRB, neurons = 3, MSE = 0.128338
NEWRB, neurons = 4, MSE = 0.0275185
NEWRB, neurons = 5, MSE = 0.0264878
NEWRB, neurons = 6, MSE = 0.00046188
```

绘制函数拟合曲线，代码如下：

```
>> plot(X,T,'+');
xlabel('输入');
X = -1:.01:1;
Y = net(X);
hold on;
plot(X,Y);
hold off;
legend({'目标','输出'})
```

得到拟合曲线如图 1-5 所示。其中实线为得到的拟合曲线，“+”为训练样本。

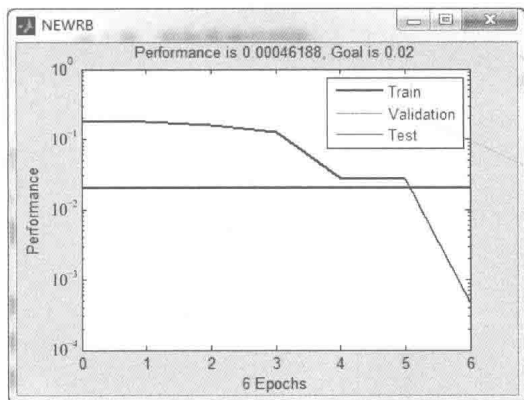


图 1-4 误差过程图

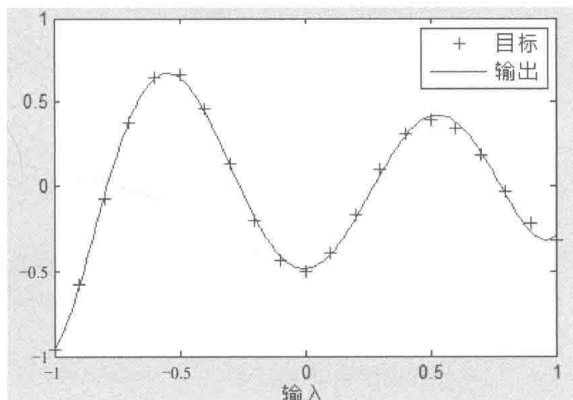


图 1-5 曲线拟合效果

【例 1-2】 下面给出基于聚类、梯度法和最小二乘法的 RBF 神经网络的设计算法，实现函数拟合。

(1) 首先是基于聚类的 RBF 神经网络的设计算法，代码为：

```
>> clear all;
SamNum = 100;           %总样本数
TestSamNum = 101;      %测试样本数
InDim = 1;              %样本输入维数
```



```
ClusterNum = 10; %隐节点数，即聚类样本数
Overlap = 1.0; %隐节点重叠系数
%根据目标函数获得样本输入输出
rand('state',sum(100*clock))
NoiseVar = 0.1;
Noise = NoiseVar*randn(1,SamNum);
SamIn = 8*rand(1,SamNum)-4;
SamOutNoNoise = 1.1*(1-SamIn+2*SamIn.^2).*exp(-SamIn.^2/2);
SamOut = SamOutNoNoise + Noise;
TestSamIn = -4:0.08:4;
TestSamOut = 1.1*(1-TestSamIn+2*TestSamIn.^2).*exp(-TestSamIn.^2/2);
figure
hold on
grid
plot(SamIn,SamOut,'k+')
plot(TestSamIn,TestSamOut,'k--')
xlabel('输入 x');
ylabel('输出 y');
Centers = SamIn(:,1:ClusterNum);
NumberInClusters = zeros(ClusterNum,1); %各类中的样本数，初始化为零
IndexInClusters = zeros(ClusterNum,SamNum); %各类所含样本的索引号
while 1,
NumberInClusters = zeros(ClusterNum,1); %各类中的样本数，初始化为零
IndexInClusters = zeros(ClusterNum,SamNum); %各类所含样本的索引号
%按最小距离原则对所有样本进行分类
for i = 1:SamNum
AllDistance = dist(Centers',SamIn(:,i));
[MinDist,Pos] = min(AllDistance);
NumberInClusters(Pos) = NumberInClusters(Pos) + 1;
IndexInClusters(Pos,NumberInClusters(Pos)) = i;
end
%保存旧的聚类中心
OldCenters = Centers;
for i = 1:ClusterNum
Index = IndexInClusters(i,1:NumberInClusters(i));
Centers(:,i) = mean(SamIn(:,Index))';
end
%判断新旧聚类中心是否一致，是则结束聚类
EqualNum = sum(sum(Centers==OldCenters));
if EqualNum == InDim*ClusterNum,
break,
end
```



```

end
%计算各隐节点的扩展常数(宽度)
AllDistances = dist(Centers',Centers);
Maximum = max(max(AllDistances));
for i = 1:ClusterNum
AllDistances(i,i) = Maximum+1;
end
Spreads = Overlap*min(AllDistances);
%计算各隐节点的输出权值
Distance = dist(Centers',SamIn);
SpreadsMat = repmat(Spreads,1,SamNum);
HiddenUnitOut = radbas(Distance./SpreadsMat);
HiddenUnitOutEx = [HiddenUnitOut' ones(SamNum,1)];
W2Ex = SamOut*pinv(HiddenUnitOutEx);
W2 = W2Ex(:,1:ClusterNum);
B2 = W2Ex(:,ClusterNum+1);
%测试
TestDistance = dist(Centers',TestSamIn);
TestSpreadsMat = repmat(Spreads,1,TestSamNum);
TestHiddenUnitOut = radbas(TestDistance./TestSpreadsMat);
TestNNOOut = W2*TestHiddenUnitOut+B2;
plot(TestSamIn,TestNNOOut,'k-')
W2
B2

```

运行程序，输出如下，效果如图 1-6 所示。

```

W2 =
-1.5956 -1.2670 0.4374 -0.2994 -0.0931 0.3085 -0.8392 -0.7220 -0.3804 -2.0981
B2 =
2.0542

```

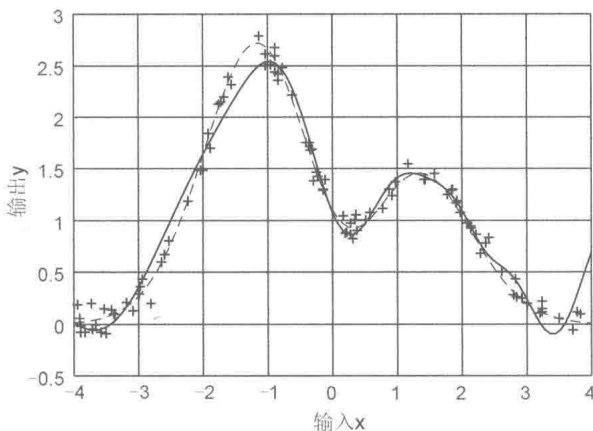


图 1-6 基于聚类的拟合效果图