



高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材



神经网络

侯媛彬 杜京义 汪 梅 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

神经网络

侯媛彬 杜京义 汪 梅 编著

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

神经网络是智能控制技术的主要分支之一。本书的主要内容有：神经网络的概念，神经网络的分类与学习方法，前向神经网络模型及其算法，改进的 BP 网络及其控制、辨识建模，基于遗传算法的神经网络，基于模糊理论的神经网络，RBF 网络及其在混沌背景下对微弱信号的测量与控制，反馈网络，Hopfield 网络及其在字符识别中的应用，支持向量机及其故障诊断，小波神经网络及其在控制与辨识中的应用。

本书内容全面，重点突出，以讲明基本概念和方法为主，尽量减少繁琐的数学推导，并给出一些结合工程应用的例题。本书附有光盘，其中包括结合各章节内容所开发的 30 多个源程序，可直接在 MATLAB 界面下运行；此外，还包括用 Authorware 和 Flash 软件制作的动画课件。

本书既可作为自动化和电气自动化专业及相关专业的研究生教材，也可供机电类工程技术人员选用，还可作为有兴趣的读者自学与应用的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

神经网络/侯媛彬，杜京义，汪梅编著. —西安：西安电子科技大学出版社，2007.8

高等学校电子与电气工程及自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-1902-6

I. 神… II. ①侯… ②杜… ③汪… III. 人工神经网络—高等学校—教材 IV. TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 120241 号

策 划 马乐惠

责任编辑 张晓燕 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.625

字 数 339千字

印 数 1~4000册

定 价 26.00元(含光盘)

ISBN 978-7-5606-1902-6/TP·0990

XDUP 2194001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦力	王建中	巨永锋	孙强	陈在平	李正明
吴斌	杨马英	张九根	周玉国	党宏社	高嵩
秦付军	席爱民	穆向阳			

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉	李荣正	余健明
段晨东	郝润科	谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋	刘晓婷	朱建公	朱若燕	何法江	李鹏飞
麦云飞	汪传生	张功学	张永康	胡小平	赵玉刚
柴国钟	原思聪	黄惟公	赫东锋	谭继文	

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

智能控制是控制科学发展的高级阶段,是一门新兴的交叉前沿学科,它具有极为广泛的应用领域,例如航空航天载人卫星的精确导航控制、智能机器人柔性控制、深海石油钻机的智能监测监控、智能过程控制、智能调度与规划、专家控制系统、智能故障诊断与定位、医疗内镜监控智能仪器及柔性自动制造系统的智能控制等。按照智能控制创始人 K. S. Fu(傅京孙)和 Saridis 的观点,智能控制是自动控制、人工智能和运筹学的交集。20 世纪末,研究智能控制的学者把智能控制的内容分为三大分支,即神经网络、模糊控制和专家系统。随着对不确定性系统处理的需求,适应于全局寻优的遗传算法、处理海量数据的粗糙集理论、处理小样本数据的支持向量机等理论为智能控制系统的发展增加了新的研究方法。

神经网络是智能控制技术的重要分支之一。神经网络主要用于非线性系统的辨识建模、非线性过程的预测、神经网络控制及故障诊断等。为了适应新时代科学技术、经济、社会发展的趋势,把体现当代科学发展特征的多学科间交叉与渗透的内容及最新成果反映到教学中来,结合工科高等院校人才培养的特点,我们特编写了本书。

全书共分 11 章。第 1、2 章内容是智能控制技术和神经网络的基本概念,也是神经网络控制、辨识、预测或组成各种神经网络系统的基础。第 1 章介绍智能控制技术的基本概念、智能控制系统的分类和发展,然后讨论用于神经网络控制或辨识建模的噪声信号产生方法、伪随机信号产生方法。第 2 章首先从生物神经元模型入手,介绍人工神经网络的发展、特点及其模型,阐述神经网络常用的激发函数,包括各种激发函数的模型及其作用特性,其次论述了神经网络的分类及神经网络常用的学习方法。第 3、4 章主要讨论前向网络和改进的 BP 网络。第 3 章介绍简单的感知器,分析和讨论其线性可分性,并用开发的三种仿真程序来验证感知器分类性能;论述 BP 网络的基本功能和特性,详细地推导出 BP 网络的学习算法及其学习非线性、控制非线性系统的程序开发方法。第 4 章分析研究 BP 网络算法的特点及其存在的问题,探讨基于 BP 网络的改进算法,包括降低神经网络灵敏度的改进算法、提高一类神经网络容错性的理论和方法、提高神经网络收敛速度的一种赋初值算法。第 5 章在介绍 CMAC 特点的基础上,探讨基于改进的 CMAC 算法,包括干式变压器卷线机跑偏信号谐波分析算法以及改进的 CMAC 网络学习多维函数算法。第 6 章在介绍遗传算法概念的基础上,对基于遗传算法寻优的软件编程方法、基于遗传算法神经

网络辨识软件的开发进行了探讨。第7章在介绍传统控制与模糊控制的区别的基础上,探讨模糊神经网络(FNN)对非线性多变量系统的解耦方法,同时探讨模糊控制(FC)和模糊神经网络(FNN)解耦控制算法的MATLAB仿真。第8章介绍基本RBF网络的结构与训练、RBF网络与BP网络的区别,讨论径向基网络的创建与学习过程软件开发、非线性函数逼近方法及模式识别软件开发方法。第9章讨论Hopfield网络实现的自相联存储、Hopfield网络的结构与训练以及Hopfield网络的MATLAB开发方法。第10章首先介绍统计学习理论的基本概念,其次讨论基于统计学习理论的一种新的通用学习方法——支持向量机(Support Vector Machine, SVM),最后讨论将SVM用于电液伺服阀的故障诊断的软件开发方法。第11章介绍多尺度分析,引入小波变换和小波包变换,阐述小波分析在信号处理中的两种应用:信号奇异点检测和信号消噪,给出了信号奇异点检测和信号消噪的仿真程序及执行结果,最后介绍小波神经网络及其在电缆故障识别中的应用。

以上各章均给出了相应的开发程序及其程序剖析。

本书内容全面,重点突出,以讲明基本概念和方法为主,尽量减少繁琐的数学推导,但对一些新提出的定理给出了较详细的证明,并给出一些结合工程应用的例题,特别是给出了本书所涉及到的各种神经网络应用的软件开发方法。本书附有光盘,其中包括结合各章节内容所开发的30多个工程应用源程序,可直接在MATLAB界面下运行;此外,还包括用Authorware和Flash软件制作的动画课件。

本书的第1章到第7章由侯媛彬教授执笔,第8章到第10章由杜京义副教授执笔,第11章由汪梅教授执笔。侯媛彬教授和李红岩老师制作了动画课件。各章程序由执笔者开发,宋春峰老师开发了遗传算法程序。全书由侯媛彬教授和杜京义副教授统稿。本书的三位作者均具有博士学位,在一线从事教学工作多年。

由于编者能力有限,不妥之处在所难免,欢迎读者提出宝贵意见。

编著者

2007年6月

欢迎选购西安电子科技大学出版社教材类图书

~~~~~国家级、部级重点教材~~~~~

计算机系统结构(第四版)(李学干)	25.00
离散数学(第三版)(乔维声)	16.00
雷达对抗原理(赵国庆)	15.00
雷达原理(第三版)(丁鹭飞)	23.00
通信网的安全——理论与技术(王育民)	42.00
模拟电子线路基础(傅丰林)	16.00
移动通信(第四版)(李建东)	30.00
智能控制理论和方法(李人厚)	18.00

~~~全国信息技术水平考试指定教材~~~

计算机网络信息安全理论与实践教程	32.00
网页设计与网站开发基础教程	54.00
中小校园网络管理基础教程	19.00
中小校园网络管理实验教程	25.00

~~~~~计算机提高普及类~~~~~

计算机应用基础(第三版)(丁爱萍)	22.00
计算机文化基础(第二版)(丁爱萍)	24.00
计算机组装与维护(高职)(杜飞明)	22.00
计算机组装与维护实用教程(第二版)(高职)	29.00
计算机应用基础(Windows 2000	

&Office 2002)(教育部高职)	23.00
计算机应用基础实践技能训练	
与案例分析(教育部高职)	11.00
计算机综合能力实训教程(高职)(孔祥春)	10.00
办公自动化技术及应用教程(赵元哲)	22.00
办公自动化设备的使用和维护	
(第二版)(高职)	18.00
网络办公自动化技术与应用(高职)(李平)	21.00

~~~~~计算机网络类~~~~~

计算机网络安全(高职)(杨晨光)	15.00
计算机网络管理(雷震甲)	20.00
网络安全技术(高职)(李卓玲)	17.00
网络安全与保密(胡建伟)	28.00
网络信息安全技术(周明全)	17.00
网络信息安全(徐明)	11.00

动态网页设计实用教程(蒋理)	30.00
网站建设与维护(崔良海)	18.00
Windows网络程序设计(夏靖波)	26.00
嵌入式系统原理与开发(夏靖波)	21.00
通信网理论与技术(夏靖波)	25.00
局域网的组建、管理与维护(高职)(雷育春)	20.00
综合布线技术(高职)(于鹏)	18.00
计算机网络技术导论(王宣政)	16.00
计算机网络(第二版)(袁家政)	26.00
计算机网络技术(刘敏涵)	21.00
计算机网络(第二版)(蔡皖东)	26.00
计算机网络工程(石美红)	20.00
计算机网络实验教程(雷震甲)	14.00
计算机组网实验教程(王宣政)	23.00
计算机网络学习辅导及习题详解(权义宁)	23.00
网络工程设计与实践(夏靖波)	31.00
网络应用程序设计(方敏)	21.00
现代网络技术(第二版)(陆楠)	32.00
网络计算(黄健斌)	19.00

~~~~~计算机技术类~~~~~

计算机系统结构(陈智勇)	26.00
计算机系统设计——概念与技术(洪龙)	18.00
计算机组成原理	
与系统结构实验教程(杨小龙)	12.00
计算机系统安全(马建峰)	22.00
实用计算机类毕业设计指导(聂琨坤)	18.00
计算机原理课程设计(陈智勇)	10.00
电子商务概论(宋沛军)(高职)	20.00
电子商务基础与应用(第五版)(含盘)	39.00
电子商务基础与实务(第二版)(高职)	16.00
《数据结构》算法实现及解析	
(含光盘)(第二版)(高一凡)	35.00
数据结构——使用C++语言(第二版)(朱战立)	23.00
数据结构(高职)(周岳山)	15.00
计算方法与实习(高职)(田祥宏)	11.00
算法设计与分析(霍红卫)	15.00

编译原理教程(第二版)(胡元义)	18.00	计算机图形学(丁爱玲)	14.00
《编译原理教程(第二版)》		计算机图形学(研究生系列)(璩柏青)	26.00
习题解析与上机指导(胡元义)	18.00	计算机图形学——图形的计算与显示原理	22.00
离散数学(蔡英)	21.00	数字图像处理(何东建)	23.00
《离散数学》学习指导书(蔡英)	16.00	3DS MAX 6.0实用教程(高职)(范永富)	23.00
离散数学(马光思)	22.00	~~~~~微机与控制类~~~~~	
离散数学——精讲·精解·精练(黄健斌)	24.00	微型计算机原理与应用(第二版)(本科)	33.00
软件工程(第二版)(邓良松)	22.00	《微型原理及应用》(第二版)学习指导	8.00
软件工程与数据库概论(陈春玲)	16.00	微型计算机原理(第四版)	29.00
信息系统分析与设计(高职)(卫红春)	20.00	《微型计算机原理》(第四版)学习指导书	14.00
信息系统分析与设计(第二版)(陈圣国)	15.00	《微型计算机原理》学习与实验指导	18.00
人工智能技术导论(第二版)(廉师友)	21.00	微型计算机原理及接口技术(裘雪红)	25.00
~~~~~计算机辅助技术类~~~~~		80X86 微机原理与接口技术(喻宗泉)	26.00
电子工程制图(含习题集)(高职)(童幸生)	25.00	单片机原理及接口技术(余锡存)	15.00
机械制图与计算机绘图(含习题集)(高职)	40.00	单片机原理与应用技术(喻宗泉)	19.00
计算机绘图(第二版)(许社教)	25.00	新编单片机原理与应用(潘永雄)	22.00
DSP应用技术(高职)(赵明忠)	25.00	可编程序控制器原理及应用(第二版)	24.00
现代DSP技术(潘松)	22.00	计算机控制技术(高职)(温希东)	12.00
电子电路CAD程序及其应用(高职)(王源)	16.00	微机外围设备的使用与维护(高职)(王伟)	19.00
电子线路CAD实用教程(潘永雄)(第二版)	26.00	微机结构组成与外部设备(第二版)(高职)	17.00
AUTOCAD 基础教程(高职)(石高峰)	15.00	~~~~~数据库及计算机语言类~~~~~	
电子工艺与电子CAD(高职)(朱旭平)	14.00	数据库原理(第二版)(郭盈发)	16.00
EDA 技术及应用(第二版)(谭会生)	27.00	C程序设计(第二版)(荣政)	20.00
EDA 技术综合应用实例与分析(谭会生)	22.00	Visual FoxPro 6.0数据库原理与应用(高职)	21.00
数字电路EDA设计(高职)(顾斌)	19.00	基于VFP和SQL的数据库技术及应用	18.00
~~~~~操作系统类~~~~~		SQL Server 2000应用基础与实训教程(高职)	22.00
计算机操作系统(第二版)(颜彬)(高职)	19.00	Oracle数据库SQL和PL/SQL实例教程(高职)	17.00
计算机操作系统(修订版)(汤)	24.00	数据库技术及应用(高职)(丁爱萍)	16.00
《计算机操作系统》学习指导与题解	16.00	网络数据库技术及应用(高职)(范剑波)	24.00
计算机操作系统(方敏)	28.00	C++程序设计语言(揣锦华)	20.00
Linux 操作系统实用教程(高职)(梁广民)	20.00	《C++程序设计语言》经典题解与实验指导	13.00
Linux实训指导教程(高职)(陆虹)	13.00	Visual C++基础教程(郭文平)	29.00
~~~~~图形处理类~~~~~		汇编语言程序设计(第二版)(韩海)	18.00
多媒体技术及应用(高职)(王坤)	21.00	汇编语言程序设计(李强)	23.00
多媒体软件设计技术(第二版)(陈启安)	20.00	微型计算机汇编语言程序设计(龚尚福)	23.00
多媒体技术与应用(第二版)(傅献祯)	18.00	面向对象程序设计与VC++实践(揣锦华)	22.00
多媒体技术基础与应用(曾广雄)	20.00	面向对象程序设计与C++语言(第二版)	18.00
多媒体技术教程(杨安琪)	20.00	面向对象程序设计——JAVA(第二版)	32.00

工程材料与热加工技术 (高职) (程晓宇)	20.00	电火花加工实训教程 (高职) (贾立新)	10.00
先进制造技术 (高职) (赵云龙)	14.00	机电一体化技术 (高职) (邱士安)	17.00
先进制造技术 (高职) (孙燕华)	16.00	机床电器与 PLC (高职) (李伟)	14.00
检测与控制技术 (高职) (李贵山)	21.00	机床电气与 PLC (高职) (陶维利)	16.00
机械工程基础 (李茹) (高职)	26.00	电机及拖动基础 (高职) (孟宪芳)	17.00
机械设计基础 (张京辉) (高职)	24.00	电机拖动与控制 (高职) (刘保录)	25.00
机械设计基础 (郭红星) (高职)	20.00	电机与电气控制 (高职) (冉文)	23.00
机械基础 (周家泽)	17.00	电切削加工技术 (高职) (詹华西)	13.00
机械 CAD/CAM 技术 (方新)	20.00	金属切削与机床 (高职) (聂建武)	22.00
SolidWorks2005 机械设计		金属切削原理与刀具实训教程 (黄雨田)	15.00
基础教程 (高职) (蓝汝铭)	18.00	模具制造技术 (高职) (刘航)	22.00
机械制图 (刘家平) (高职)	35.00	模具设计 (高职) (赵伟阁)	30.00
机械制图与计算机绘图 (刘家平) (高职)	40.00	模具设计 (高职) (曾霞文)	18.00
机械制造工艺装备 (高职) (吴新佳)	19.00	液压与气动技术 (朱梅)	19.00
机械制造工艺装备 (高职) (朱派龙)	22.00	液压传动技术 (高职) (简引霞)	23.00
机械制造技术 (高职) (邵堃)	24.00	特种加工技术 (高职) (周旭光)	10.00
机械制造技术 (高职) (吴慧媛)	25.00	汽车电工电子技术 (高职) (黄建华)	20.00
机械制造基础 (高职) (郑广花)	21.00	汽车电气设备与维修 (高职) (吴涛)	32.00
机械加工技术 (高职) (魏康民)	24.00	汽车电气设备与维修 (高职) (李春明)	25.00
计算机辅助机械设计 (秦汝明)	19.00	汽车车身结构与维修 (高职) (吴兴敏)	26.00
数控机床原理与编程 (高职) (陈富安)	20.00	汽车空调 (高职) (李祥峰)	16.00
数控编程与操作--SINUMERIK 数控系统	15.00	汽车概论 (高职) (邓书涛)	20.00
数控加工与编程 (高职) (詹华西)	22.00	现代汽车典型电控系统结构原理	
数控加工工艺与编程 (高职) (荣瑞芳)	20.00	与故障诊断 (高职) (徐生明)	25.00
数控加工工艺 (高职) (赵长旭)	24.00	工业机器人技术 (高职) (郭洪红)	16.00
数控加工实训教程 (高职) (朱岱力)	14.00	互换性与技术测量 (高职) (杨好學)	18.00
数控加工技术实训教程 (高职) (詹华西)	23.00	车工基本技能训练 (高职) (武建荣)	6.00
数控编程与操作 (高职) (秦启书)	16.00	钳工基本技能训练 (高职) (彭彦)	5.00
数控技术及应用 (高职) (马一民)	17.00	钣金基本技能训练 (高职) (刘富觉)	10.00
数控机床故障分析与维修 (高职) (潘海丽)	19.00	焊接基本技能训练 (高职) (王红英)	6.00
数控机床电气控制 (高职) (姚勇刚)	21.00	建筑管道工基本技能训练 (高职) (陈斐明)	8.00
现代数控机床 (高职) (刘瑞己)	25.00	铣工基本技能训练 (高职) (韩振武)	4.00
数控应用专业英语 (高职) (黄海)	17.00	Pro/ENGINEER应用教程 (高职) (朱玉红)	23.00
数控原理与系统 (高职) (苏宏志)	14.00	营销管理——创造和传递需求的艺术	30.00

欢迎来函索取本社最新书目和教材介绍, 欢迎投稿!

通信地址: 西安市太白南路2号 西安电子科技大学出版社发行部

邮 编: 710071

邮购业务电话: (029) 88276697 88201467

传 真: (029) 88213675

# 目 录

<b>第 1 章 智能控制技术基础</b> .....	1
1.1 智能控制的基本概念 .....	1
1.2 智能控制系统的分类和发展 .....	3
1.3 用于神经网络控制或辨识建模的噪声信号产生方法 .....	4
1.4 伪随机信号产生及 MATLAB 仿真举例 .....	8
1.5 语义网络知识表示法及 Petri 网举例 .....	12
1.6 小结 .....	14
习题 .....	14
<b>第 2 章 神经网络控制的基本概念</b> .....	15
2.1 生物神经元模型 .....	15
2.2 人工神经元 .....	16
2.2.1 人工神经网络的发展 .....	16
2.2.2 神经网络的特性 .....	17
2.2.3 人工神经元模型 .....	17
2.3 神经网络常用的激发函数 .....	18
2.4 神经网络的分类 .....	19
2.5 神经网络学习方法 .....	21
2.6 小结 .....	25
习题 .....	25
<b>第 3 章 前向神经网络模型及其仿真算法</b> .....	26
3.1 感知器算法及其应用 .....	26
3.1.1 感知器的概念 .....	26
3.1.2 感知器的局限性 .....	26
3.1.3 感知器的线性可分性 .....	27
3.1.4 感知器分类的 MATLAB 仿真 .....	29
3.2 BP 神经网络及其算例 .....	35
3.3 其它前向网络 .....	40
3.4 神经网络模型辨识 .....	42
3.4.1 神经网络模型辨识系统结构 .....	42
3.4.2 神经网络模型辨识 MATLAB 仿真 .....	44
3.5 神经网络自适应控制系统结构 .....	48
3.6 神经元自适应控制系统 MATLAB 仿真 .....	50
3.6.1 $K_p$ 变化时系统的阶跃响应仿真 .....	50
3.6.2 系统的闭环零点 $z$ 、极点 $p$ 和增益 $k$ 求取仿真 .....	51
3.6.3 单神经网络控制系统仿真 .....	52

3.7 小结 .....	54
习题 .....	54
<b>第4章 改进的BP网络训练算法 .....</b>	<b>55</b>
4.1 BP网络分析及其改进思路 .....	55
4.1.1 网络存在问题分析 .....	55
4.1.2 其它网络训练技巧 .....	56
4.2 基于降低网络灵敏度的网络改进算法 .....	57
4.3 提高神经网络容错性的理论和方法 .....	59
4.4 提高神经网络收敛速度的一种赋初值算法 .....	61
4.5 复杂系统神经网络辨识 MATLAB 仿真举例 .....	67
4.5.1 具有噪声二阶系统辨识的 MATLAB 程序剖析 .....	67
4.5.2 多维非线性辨识与 MATLAB 程序剖析 .....	70
4.6 小结 .....	77
习题 .....	77
<b>第5章 小脑模型神经网络及其应用 .....</b>	<b>78</b>
5.1 CMAC网络的特点 .....	78
5.2 改进的CMAC干式变压器卷线机跑偏信号谐波分析 .....	80
5.2.1 CMAC网络对非线性函数学习过程 .....	81
5.2.2 干式变压器卷线机跑偏信号谐波分析方法 .....	82
5.2.3 跑偏信号谐波仿真与分析 .....	83
5.3 改进的CMAC学习多维函数 .....	90
5.4 小结 .....	92
习题 .....	92
<b>第6章 遗传算法及其神经网络 .....</b>	<b>93</b>
6.1 遗传算法的概念 .....	93
6.1.1 遗传算法的定义及特点 .....	93
6.1.2 遗传操作 .....	94
6.2 一种适应度函数的改进算法 .....	98
6.2.1 适应度函数的选择与计算 .....	98
6.2.2 一种改进的遗传神经解耦方法 .....	100
6.2.3 遗传神经解耦仿真、实验及结论 .....	101
6.3 遗传算法及其遗传神经网络应用仿真 .....	102
6.3.1 遗传算法寻优 MATLAB 仿真 .....	102
6.3.2 遗传神经元辨识 MATLAB 仿真 .....	107
6.4 小结 .....	109
习题 .....	109
<b>第7章 模糊神经网络 .....</b>	<b>110</b>
7.1 传统控制与模糊控制 .....	110
7.2 模糊神经网络及其应用 .....	111
7.2.1 模糊神经网络的概念 .....	111
7.2.2 隶属函数神经网络 .....	111
7.2.3 模糊神经网络控制模型 .....	112

7.3 FNN 对非线性多变量系统的解耦方法 .....	115
7.3.1 FNN 解耦的基本模型 .....	115
7.3.2 FNN 解耦的算法 .....	116
7.4 FC 及 FNN 解耦算法的 MATLAB 仿真 .....	117
7.5 小结 .....	123
习题 .....	124
<b>第 8 章 径向基函数网络</b> .....	125
8.1 径向基函数网络模型 .....	125
8.2 网络的训练与设计 .....	128
8.2.1 聚类分析 .....	128
8.2.2 动态聚类法 .....	128
8.2.3 RBF 网络的学习算法 .....	130
8.3 径向基神经网络的工具箱 .....	132
8.3.1 面向 MATLAB 工具箱的径向基神经元模型 .....	132
8.3.2 面向 MATLAB 工具箱的径向基神经网络 .....	133
8.3.3 径向基网络的创建与学习过程 .....	133
8.3.4 径向基网络的应用 .....	135
8.4 混沌时间序列建模及预测 .....	137
8.4.1 相空间重构 .....	138
8.4.2 非线性函数逼近方法 .....	139
8.4.3 数值实验 .....	139
8.5 小结 .....	140
习题 .....	140
<b>第 9 章 反馈型神经网络</b> .....	141
9.1 Hopfield 神经网络 .....	141
9.1.1 Hopfield 网络的结构 .....	141
9.1.2 Hopfield 网络的稳定性 .....	143
9.1.3 基本学习规则 .....	146
9.1.4 Hopfield 网络的联想特性 .....	148
9.2 反馈网络与优化计算 .....	151
9.2.1 Hopfield 网络的电路模型与动态方程 .....	152
9.2.2 Hopfield 网络的能量函数与稳定性 .....	154
9.2.3 Hopfield 网络的优化计算 .....	155
9.3 Hopfield 网络的 MATLAB 开发 .....	159
9.3.1 Hopfield 神经网络的工具函数 .....	159
9.3.2 基于 Hopfield 网络的数字识别 .....	161
9.4 小结 .....	163
习题 .....	163
<b>第 10 章 支持向量机</b> .....	164
10.1 统计学习理论的一般概念 .....	164
10.1.1 机器学习问题的表示 .....	165
10.1.2 经验风险最小化 .....	165

10.1.3 学习机的 VC 维与风险界 .....	167
10.1.4 结构风险最小化 .....	170
10.2 最优化理论基础 .....	171
10.2.1 二次规划 .....	171
10.2.2 拉格朗日理论 .....	173
10.2.3 二次规划的对偶 .....	175
10.3 支持向量机 .....	176
10.3.1 分类超平面的几何性质 .....	176
10.3.2 线性可分支持向量机 .....	178
10.3.3 近似线性可分支持向量机 .....	180
10.3.4 非线性可分支持向量机 .....	181
10.3.5 支持向量回归机 .....	184
10.4 支持向量机的实现 .....	186
10.4.1 LIBSVM 软件包简介 .....	186
10.4.2 LIBSVM 使用方法 .....	186
10.4.3 SVM 在 MATLAB 中的实现 .....	189
10.5 SVM 在故障诊断中的应用 .....	190
10.6 小结 .....	193
习题 .....	193
<b>第 11 章 小波神经网络及应用 .....</b>	<b>194</b>
11.1 多尺度分析 .....	194
11.2 小波变换 .....	195
11.3 小波包变换 .....	202
11.4 小波分析在信号处理中的应用 .....	204
11.4.1 信号奇异点检测仿真 .....	204
11.4.2 信号消噪仿真 .....	206
11.5 小波神经网络 .....	207
11.6 小波神经网络在电缆故障识别中的应用 .....	210
11.6.1 小波变换提取特征 .....	210
11.6.2 小波神经网络结构设计 .....	212
11.6.3 电缆故障识别仿真 .....	212
11.7 小结 .....	219
习题 .....	220
<b>参考文献 .....</b>	<b>221</b>

# 第 1 章 智能控制技术基础

神经网络是智能控制技术的主要分支之一。本章首先介绍智能控制技术的基本概念、智能控制系统的分类和发展。在非线性系统中,存在着各种干扰或噪声信号,无论是基于非线性系统的辨识建模,还是建立系统的预测模型或控制,均需考虑系统的各种噪声。换言之,噪声及其产生方法是神经网络控制或辨识建模的先导知识。因此,本章接着讨论了用于神经网络控制或辨识建模的噪声信号产生方法、伪随机信号产生方法,并给出三种 MATLAB 产生噪声信号仿真的开发程序及其程序剖析。最后,介绍了语义网络知识表示法并给出了 Petri 网举例。

## 1.1 智能控制的基本概念

智能控制是控制科学发展的高级阶段,是一门新兴的交叉前沿学科。它具有极为广泛的应用领域,例如航空航天载人卫星的精确导航控制、智能机器人柔性控制、深海石油钻机的智能监测监控、智能过程控制、智能调度与规划、专家控制系统、智能故障诊断与定位、医疗内镜监控智能仪器及柔性自动制造系统的智能控制等。

### 1. 智能控制的定义

智能控制有多种定义。从信息的角度来看,所谓智能,可具体地定义为能有效地获取、传递、处理、再生和利用信息,从而在任意给定的环境下成功地达到预定目的的能力。可以看出,智能的核心是一种思维的活动。

按照智能控制创始人 K. S. Fu(傅京孙)和 Saridis 的观点,智能控制的三元交结构表示为式(1-1)和图 1-1:

$$IC = AI \cap AC \cap OR \quad (1-1)$$

其中: IC 表示智能控制(Intelligent Control); AI 表示人工智能(Artificial Intelligent); AC 表示自动控制(Automatic Control); OR 表示运筹学(Operations Research)。

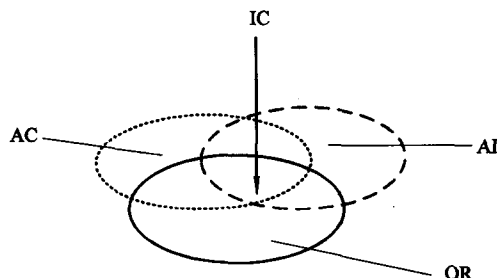


图 1-1 智能控制的三元交结构

人工智能(AI)是一个知识处理系统,具有记忆、学习、信息处理、启发式推理等功能。  
自动控制(AC)描述系统的动力学特性,是一种动态反馈。

运筹学(OR)是一种定量优化方法,包括线性规划、网络规划、调度、管理、优化决策和多目标优化方法等。

智能控制的定义可以有不同的描述,但从工程控制角度来看,它的三个基本要素是:智能信息、智能反馈、智能决策。从集合的观点,可以把智能控制和它的三要素表示如下:

$$[\text{智能信息}] \cap [\text{智能反馈}] \cap [\text{智能决策}] \subseteq \text{智能控制}$$

## 2. 智能控制与传统控制的区别

传统控制是以古典的自动控制原理为理论基础的,一般为单输入单输出(SISO)系统,必须在精确模型的基础上设计控制器,故也称之为基于模型的控制。智能控制是自动控制的最新发展阶段,主要用来解决那些用传统控制方法难以解决的复杂系统的控制问题。

智能控制把控制理论的方法和人工智能的灵活框架结合起来,改变控制策略以适应对象的复杂性和不确定性,可以不过分地依赖系统模型实现控制。

智能控制从根本上说是要仿效人的智能行为进行控制和决策,即在宏观结构上和行为功能上(仿人控制)对人的控制进行模拟。通过大量实验发现,在得到必要的训练后,由人实现的控制方法是接近最优的。这个方法不需要了解对象的结构、参数,即不需要依据对象的数学模型,而是根据积累的经验 and 知识进行在线推理确定或者动态地变换控制策略。

传统的控制适于解决线性、时不变等相对简单的控制问题。这些问题用智能的方法同样也可以解决。智能控制是对传统控制理论的发展,传统控制是智能控制的一个组成部分,在这个意义下,两者可以统一在智能控制的框架下。

一个单输入单输出控制系统的结构如图 1-2 所示。图 1-2 中, C 是控制器(Controller), S 表示被控系统(System), F 表示测量元件的反馈(Feedback)。

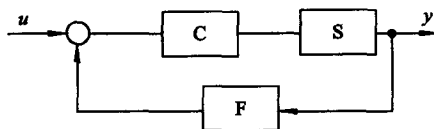


图 1-2 单输入单输出控制系统的结构

智能控制系统和传统控制系统的主要区别有:

(1) 在智能控制系统中, C 是被控系统的控制软件, 该软件是根据模糊控制或专家系统理论建立的规则集, 或是根据神经网络理论训练(离线仿真得到)的权值矩阵集, 或是以上方法或加上其它搜索寻优方法相互结合的算法, 如模糊控制器、基于遗传算法的模糊控制器、模糊神经网络控制器、基于遗传算法的神经网络控制器等。而传统控制的控制器是根据被控系统的模型整定的参数, 一般采用硬件电路调节器, 如比例积分(PI)调节器、比例积分微分(PID)调节器。

(2) 智能控制系统在系统调节过程中能动态地改变控制器的参数或结构, 因此控制器有较强的自适应能力。而传统控制系统相对自适应能力较差。另外, 智能控制系统适应于任何系统, 包括复杂的非线性系统, 而传统控制系统适应于模型确定的线性系统。

### 3. 智能控制系统的特征

#### 1) 智能控制系统的一般结构

智能控制系统是实现某种控制任务的一种智能系统，其一般结构如图 1-3 所示。

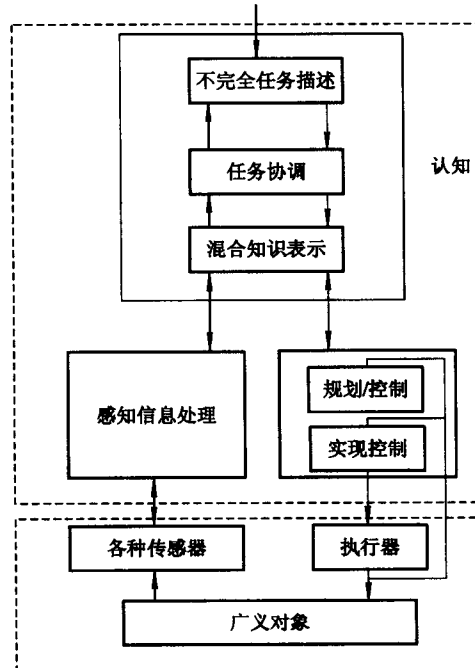


图 1-3 智能控制系统的一般结构

#### 2) 智能系统的主要功能特征

一个理想的智能控制系统应具备如下性能：

- (1) 自学习及组织能力；
- (2) 自适应性；
- (3) 基于自诊断能力的容错性；
- (4) 鲁棒性；
- (5) 实时性；
- (6) 人机交互。

## 1.2 智能控制系统的分类和发展

20 世纪末，研究智能控制的学者把智能控制的内容分为三大分支，即神经网络、模糊控制和专家系统。随着对不确定性系统处理的需求，适应于全局寻优的遗传算法、处理海量数据的粗糙集理论、处理小样本数据的支持向量机等理论为智能控制系统的发展增加了新的研究方法。基于智能理论和技术已有的研究成果，以及当前智能控制系统的研究现状，可把智能控制系统分为分级递阶智能控制系统、神经网络控制系统、专家控制系统、

模糊控制系统、基于规则的仿人智能控制系统、集成智能控制系统、基于智能信息融合的监测监控系统等。

控制科学的发展进程示意图如图 1-4 所示。

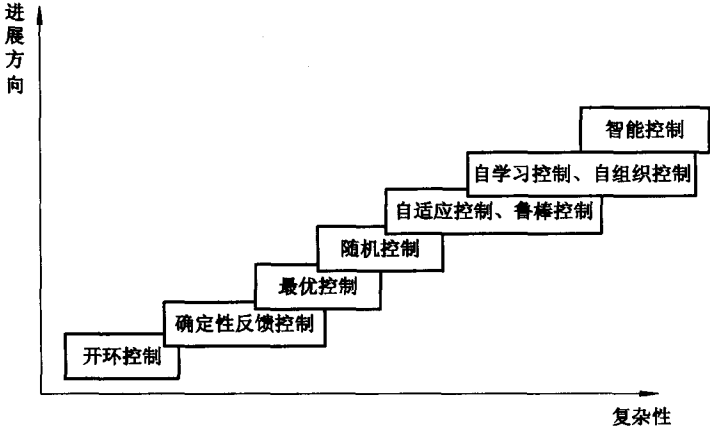


图 1-4 控制科学的发展进程示意图

K. S. Fu(傅京孙)在 1971 年指出，为了解决智能控制的问题，应用严格的数学方法研究发展新的工具，对复杂的“环境-对象”进行建模和识别，以实现最优控制，或者用人工智能的启发式思想建立不能精确定义的环境和任务的控制设计方法。

G. N. saridis 在学习控制系统研究的基础上，提出了分级递阶和智能控制结构，整个结构自上而下分为组织级、协调级和执行级三个层次，如图 1-5 所示。

1985 年 8 月，IEEE 在美国纽约召开了第一届智能控制学术研讨会。1993 年 8 月中国自动化学会在北京召开了第一届全球华人智能控制与智能自动化大会，1995 年 8 月在天津召开了智能自动化专业委员会成立大会及首届中国智能自动化学术会议，1997 年 6 月在西安召开了第二届全球华人智能控制与智能自动化大会。以后几乎每两年召开一次全球华人智能控制与智能自动化大会。

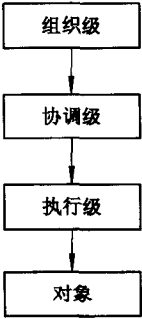


图 1-5 分层递阶结构

近年来，智能控制技术在国内外已有了较大的发展，已进入工程化、实用化的阶段。但作为一门新兴的理论技术，它还处于发展时期。随着人工智能技术、计算机技术的迅速发展，智能控制必将迎来新的挑战。

### 1.3 用于神经网络控制或辨识建模的噪声信号产生方法

神经网络是智能控制技术的重要分支之一，主要用于非线性系统的辨识建模、非线性过程的预测、神经网络控制及故障诊断等。在非线性系统中，存在着各种干扰或噪声信号。无论是基于非线性系统的辨识建模，还是建立系统的预测模型或控制，均需考虑系统的各种噪声。因此，讨论噪声及其产生方法是神经网络控制或辨识建模的基础之一。