

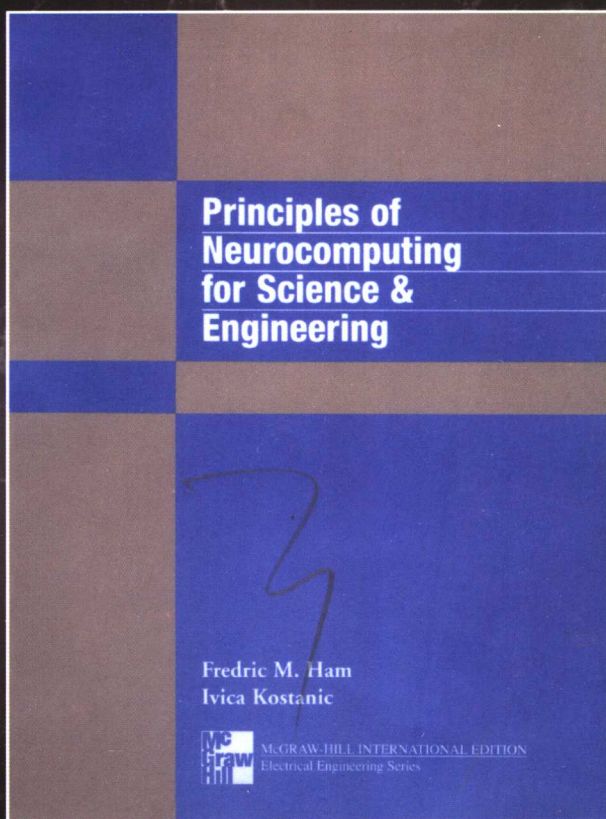


计 算 机 科 学 丛 书



神经计算原理

(美) Fredric M. Ham Ivica Kostanic 著 叶世伟 王海娟 译



Principles of Neurocomputing for Science & Engineering



机械工业出版社
China Machine Press

计 算 机 科 学 丛

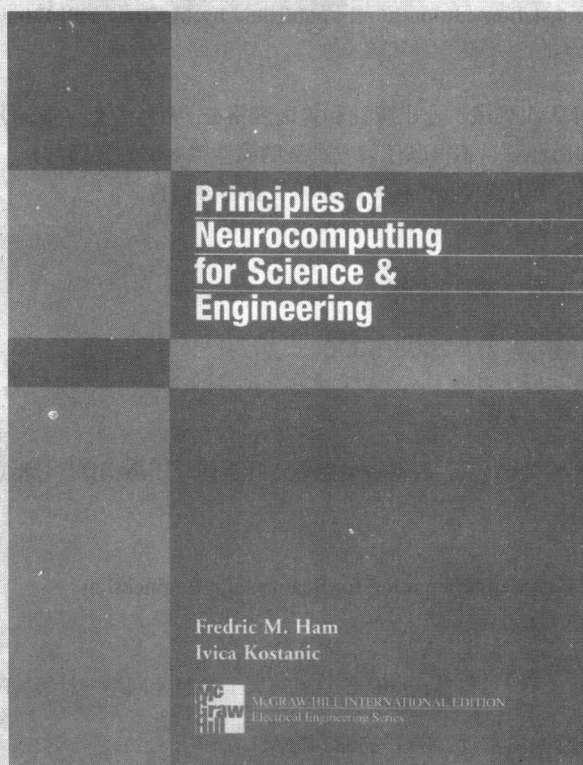
TP183

54

2007

神经计算原理

(美) Fredric M. Ham Ivica Kostanic 著 叶世伟 王海娟 译



**Principles of Neurocomputing
for Science & Engineering**



机械工业出版社
China Machine Press



本书比较系统全面地介绍了人工神经网络的理论和实际应用，特别在神经网络模型和工程应用方面有极为深入的分析和讲解。全书不仅深入分析神经网络的基本概念，而且详细介绍神经网络应用方面的最新发展趋势和主要研究方向。本书理论和实际应用紧密结合，为神经网络的相关理论知识在具体问题中的应用打下了坚实的基础。

本书适合作为高等院校计算机专业高年级本科生或研究生的教材，也可供人工智能及神经网络方面的研究人员和专业技术人员参考。

Fredric M. Ham and Ivica Kostanic: Principles of Neurocomputing for Science and Engineering (ISBN 0-07-025966-6).

Copyright © 2001 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original English edition published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and China Machine Press.

本书中文简体字翻译版由机械工业出版社和美国麦格劳-希尔教育（亚洲）出版公司合作出版。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书封面贴有McGraw-Hill公司防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号：图字：01-2003-5006

图书在版编目（CIP）数据

神经计算原理/（美）哈姆，（美）科斯塔尼克著；叶世伟，王海娟译．—北京：机械工业出版社，2007.5

（计算机科学丛书）

书名原文：Principles of Neurocomputing for Science and Engineering

ISBN 978-7-111-20637-8

I. 神… II. ①哈… ②科… ③叶… ④王… III. 人工神经网络—计算 IV. TP183

中国版本图书馆CIP数据核字（2007）第031475号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037）

责任编辑：王 玉

三河市明辉印装有限公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

2007年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 32.25印张

定价：59.00元

凡购本书，如有倒页、脱页、缺页，由本社发行部调换

本社购书热线：（010）68326294

出版者的话

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭橥了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短、从业人员较少的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章图文信息有限公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，华章公司就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过几年的不懈努力，我们与Prentice Hall, Addison-Wesley, McGraw-Hill, Morgan Kaufmann等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从它们现有的数百种教材中甄选出Tanenbaum, Stroustrup, Kernighan, Jim Gray等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及度藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专诚为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍，为进一步推广与发展打下了坚实的基础。

随着学科建设的初步完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都步入一个新的阶段。为此，华章公司将加大引进教材的力度，在“华章教育”的总规划之下出版三个系列的计算机教材：除“计算机科学丛书”之外，对影印版的教材，则单独开辟出“经典原版书库”；同时，引进全美通行的教学辅导书“Schaum's Outlines”系列组成“全美经典学习指导系列”。为了保证这三套丛书的权威性，同时也为了更好地为学校和老师门服务，华章公司聘请了中国科学院、北京大学、清华大学、国防科技大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、中国科技大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、中国人民大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、中山大学、解放军理工大学、郑州大学、湖北工学院、中国国家信息安全测评认证中心等国内重点大学和科研机构在计算机的各个领域著名学者组成“专家指导委员会”，为我们提供选题意见和出版监督。

这三套丛书是响应教育部提出的使用外版教材的号召，为国内高校的计算机及相关专业

的教学度身订造的。其中许多教材均已为M. I. T., Stanford, U.C. Berkeley, C. M. U. 等世界名牌大学所采用。不仅涵盖了程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等国内大学计算机专业普遍开设的核心课程,而且各具特色——有的出自语言设计者之手、有的历经三十年而不衰、有的已被全世界的几百所高校采用。在这些圆熟通博的名师大作的指引之下,读者必将在计算机科学的宫殿中由登堂而入室。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑,这些因素使我们的图书有了质量的保证,但我们的目标是尽善尽美,而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。教材的出版只是我们的后续服务的起点。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正,我们的联系方式如下:

电子邮件: hzjsj@hzbook.com

联系电话: (010) 68995264

联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码: 100037

专家指导委员会

(按姓氏笔画顺序)

尤晋元
石教英
张立昂
邵维忠
周克定
郑国梁
高传善
裘宗燕

王 珊
吕 建
李伟琴
陆丽娜
周傲英
施伯乐
梅 宏
戴 葵

冯博琴
孙玉芳
李师贤
陆鑫达
孟小峰
钟玉琢
程 旭

史忠植
吴世忠
李建中
陈向群
岳丽华
唐世渭
程时端

史美林
吴时霖
杨冬青
周伯生
范 明
袁崇义
谢希仁

译者序

神经计算研究的重要意义已经为许多科学家所共识，神经计算已成为智能计算发展的一个主流方向。20世纪80年代中期以来，神经网络的发展已经成为近代非线性科学和计算智能研究的主要内容之一。特别是神经网络经历了近20年的迅速发展，其独特的知识表示结构和信息处理的原则，使其在许多应用领域中取得了显著效果，成为信息处理的一个有力工具，为解决一些传统计算机极难求解的问题提供了全新的思路。

目前，神经网络的研究（包括信息处理机制、原理和应用）取得了长足的发展，实际上神经网络已成为智能信息处理的主要技术之一。然而，如何有效地掌握神经网络的基本理论，如何利用神经网络的信息处理特点对实际问题求解还有待进一步的研究。在对神经网络感兴趣的科技工作者中，既有从事神经网络模型和原理方面研究的理论工作者，也有很多希望利用神经网络新颖的信息处理机制求解实际问题的应用研究者。如何紧扣神经网络的发展方向，面向应用、面向广大神经网络的理论和应用研究者，如何介绍神经网络的系统理论和具体应用，已成为神经网络课程教学面临的重大挑战。当然，神经网络的理论研究和应用不是割裂开来的，二者有着紧密的联系。本书正是从这一点入手，首先介绍神经网络的基本原理和系统方法，然后，紧密联系神经网络的最新发展成果，从神经网络的具体应用领域中挑选比较典型的应用，详细介绍如何利用神经网络解决实际问题，比较已有的解决方法和神经网络解决方法的异同，具体而深入地介绍神经网络应用的原理、方法和结果。这些都是本书比较突出的特点。

在这本书的翻译中，我们力求忠实、准确地反映原著的内容，同时，也力求保留原著的风格。由于神经网络的迅速发展，许多神经网络的新名词和概念还没有确定的中文译法，所以在本书中，凡是我们认为不能完全确定的名词或术语都在其第一次出现的地方给出了对应的英文原文，有一些甚至保留了英文原文，在全书最后还有中英文索引对照。

神经网络属于多学科交叉领域，研究范围很广。近年来，研究成果层出不穷。同时，由于译者水平有限，书中错误和不准确之处在所难免，恳请作者和读者批评指正。

译者

2007年1月

前言

亲身经历是最好的学习。

——阿尔伯特·爱因斯坦

任何一本教材在前言里都要回答四个主要问题：(1) 本书讲述什么主题？(2) 为什么出版本书？(3) 本书的预期读者有哪些，需要哪些预备知识？(4) 书中包含什么具体内容？

问：本书讲述什么主题？

答：这本教材是关于人工神经网络（或神经网络）的。更具体地说，本书论述神经计算。所以问题实际是：什么是神经计算？神经计算通常就是指信息处理。与程序计算不同，神经计算中的信息处理首先在人工神经网络（神经网络）结构内进行学习，这个神经结构根据预定的学习规则学会或自适应响应输入；在神经网络学好它所需要知道的东西之后，训练后的神经网络根据特定的应用可以用于执行特定的任务。神经网络以类似生物的交互方式，从它们的环境学习并适应环境。在求解那些用其他方法解决很困难的科学或工程问题中，神经计算会发挥重要作用，这些问题包括：模式识别、优化、事件分类、非线性系统的控制和辨识以及统计分析等。因此，本书主要面向希望理解人工神经网络的基本原理及其在科学和工程中应用的读者。

问：为什么出版本书？

答：神经网络的领域非常宽广，且与多学科交叉。神经网络技术已经引起了许多不同领域的研究者的兴趣，而且成果非常庞大。关于神经网络技术的书籍有很多。但是，作者感到需要一本专门针对科学家和工程师的书，即针对那些希望应用神经网络求解复杂问题的科学家和工程师。这并不意味着本书只讲解神经结构及其相应训练算法，实际上，本书给出了许多可用于求解科学和工程中大量问题的各种神经计算方法。在介绍几乎所有的神经计算概念时，都给出详细的数学推导，以及与这个特定结构相伴的说明性例子和相应的训练算法。

问：本书的预期读者有哪些，需要哪些预备知识？

答：本书主要用于研究生水平的神经网络课程。但是，高年级本科学生可以在具备恰当背景（即具备下面介绍的预备知识）的基础上使用这本教材。而且，应用工程师和科学家也可以自学本书。使用这本教材成功学习神经计算所需的预备知识包括：线性代数和微分方程组，最好具有随机变量和随机过程领域的知识，但这不是必要的，因为这些也包含在本书附录A中（内容虽然简单但也足够）。

问：书中包含什么具体内容？

答：本书分成两个主要部分，细节如下。附录A包含神经计算的数学基础。

第一部分：神经计算的基本概念和部分神经网络体系结构及其学习规则

包括第1~5章。

第1章为读者介绍神经网络和神经计算的基本思想，同时包括神经网络的简单历史。

第2章首先讨论作为神经网络的构建模块的人工神经元的基本模型。接着讨论激活函数的

不同类型,然后,给出了自适应线性单元(Adaline)和多重自适应线性单元(Madaline)。接着给出了最小均方(LMS)算法;然后详细介绍简单感知器,简单讨论多层前馈感知器。然后包含一些基本的学习规则。这些学习规则是训练更加复杂神经网络结构的基础。第2章最后总结一些经过精心挑选的数据处理方法。如果读者对人工神经网络不熟悉,则应该学习第2章的所有内容。这章是深入理解第3~5章中精选的神经网络结构及其相关算法的基础。

第3章介绍多种映射神经网络,以联想记忆开始,然后介绍用于训练多层前馈感知器的反向传播,对反向传播给出了更加高级的训练方法。还介绍了对传网络,本章最后给出径向基函数神经网络。

第4章讨论部分自组织神经网络。这包括Kohonen自组织映射(SOM)和学习向量量化(LVQ)。最后介绍自适应共振理论(ART)神经网络,并给出ART1网络的细节。

第5章介绍递归神经网络和时间前馈网络(它也是递归网络),介绍了这些时间前馈神经网络和那些不是多层前馈网络之间的区别。该章包括霍普菲尔德网络、模拟退火、玻尔兹曼机、简单递归神经网络(SRN)、时延网络和分布式时滞前馈神经网络。

第二部分:神经计算的应用

包括第6~10章。

第6章介绍用于求解约束最优化问题的部分神经计算方法。给出了用于线性规划和二次规划问题的神经网络。最后讨论用于非线性连续约束最优化问题的神经网络。这章包括用于非线性规划惩罚方法和障碍函数方法的神经网络,也包括用于普通的和增广的拉格朗日乘子方法的神经网络。

第7章讨论用于求解各种矩阵代数问题的结构化神经网络体系结构和相关的学习规则。给出了相当多的重要矩阵分解(或因式分解)以及每个方法的神经计算解。也给出了应用神经计算方法实例,如矩阵的伪逆、求解代数李雅普诺夫方程和求解代数里卡蒂方程。

第8章讨论用于求解线性代数方程组的神经计算方法。这些方法包括最小二乘神经计算方法、共轭梯度学习规则、广义鲁棒神经计算方法、用于具有未定数值秩的不适定问题的正则化方法、用于迭代离散时间方法的矩阵分裂和总体最小二乘问题。还给出了求解线性代数方程组的 L_∞ 范数和 L_1 范数的神经网络方法。

第9章包含许多用于数据统计分析的神经网络体系结构,包括用于主成分分析(PCA)、主成分回归(PCR)、经典的最小二乘(CLS)的神经网络,用于非线性PCA和鲁棒PCA的神经网络,用于部分最小二乘回归(PLSR)的神经网络,以及用于鲁棒PLSR的神经网络方法。

第10章包含信号处理应用、线性和非线性系统辨识、非线性控制和估计的神经网络,详细解释了许多例子。也包括对盲源分离使用神经网络的独立成分分析(ICA)。另外,介绍了快速ICA算法以及应用快速ICA算法分离数字图像的例子。

本书的主要特征

- 突出大多数的训练算法,使得它们很容易查找。
- 这些训练方法中的一部分在正文中给出了它们的MATLAB函数实现。代码相当短,只需花费几分钟就可以进入MATLAB。
- 另外,广泛使用MATLAB神经网络工具箱,以使用实验说明一些神经计算的概念。
- 本书的一些问题涉及的数据保留在McGraw-Hill高等教育出版社的网页上,并且很容易

访问到。本书的URL为：<http://www.mhhe.com/ham>。[⊖]

- 在许多章节里给出了详细的例子以阐明神经计算的概念。
- 在每章（除第1章外）的最后都给出了涉及广泛内容的大量习题。一些习题需要使用MATLAB和MATLAB神经网络工具箱。一些情况下提供了MATLAB函数的代码。
- 附录A包含神经计算的综合数学基础。

Fredric M. Ham

Ivica Kostanic

⊖ 本网址上的一些教辅资源（包括习题答案等）只提供给采用本书作为教材的老师，需要者请与McGraw-Hill公司北京代表处联系，联系方式见书后所附的教学服务沟通表。——编辑注

致 谢

本书作者希望感谢本书的评阅者：Okan K. Ersoy, Purdue University; Sylvian R. Ray, University of Illinois; Yu Hen Hu, University of Wisconsin-Madison; Bruce MacLennan, University of Tennessee; Simon Y. Foo, Florida State University和Risto Mäikkyläinen, The University of Texas at Austin。他们的评价和建议在准备本书的最终稿方面是非常珍贵和必不可少的。

我们也希望对以下人员表达谢意：Glenn Cohen 对于1.3节“神经计算和神经科学”的贡献；Sungjin Park对于第10章最终准备的协助；Tom McDowall 对于9.7节“鲁棒PLSR：一种神经网络方法”的贡献；佛罗里达理工大学Ham教授讲授的ECE 5268和CSE 5294（“神经网络理论和应用”）两门课程的许多学生；Joseph C. Wheeler 和 Boeing公司的帮助；Matt Ham对于一些图形制作的帮助；Edwin Sherman对于他在信息处理实验室的协助和Math Works公司，特别是Naomi Fernandes、Brian Bostek和Peter Trogos的支持。

MathWorks公司的联系信息：

The MathWorks, Inc.

3 Apple Hill Drive

Natick, MA 01760

USA

Tel: 508-647-7000

Fax: 508-647-7001

E-mail: info@mathworks.com

Web: www.mathworks.com

重要符号和算符

$A > 0$	正定矩阵 A
$A \geq 0$	半正定（非负定）矩阵 A
$A < 0$	负定矩阵 A
$A \leq 0$	半负定（非正定）矩阵 A
$A_{\cdot k}$	代表矩阵 A 的第 k 列
$A_{k \cdot}$	代表矩阵 A 的第 k 行
$\tilde{A}$	集合 A 的补
a_{ij}	矩阵 A 的 i 行/ j 列元素
arg	复数量的辐角
adj	伴随算子
$\hat{b}_f$	校正模型
β	偏置
$\mathcal{C}$	复数集
$\mathcal{C}^{n \times m}$	复 $n \times m$ 矩阵
$\mathcal{C}^{n \times n}$	复 $n \times n$ （方）阵
$\mathcal{C}^{n \times 1}$	复 n 维列向量
$\mathcal{C}^{1 \times n}$	复 n 维行向量
$\mathcal{C}^n$	复 n 维向量（行或列）
$(\mathcal{C}^n, \mathcal{C})$	n 维复向量空间
C_X	自协方差函数
C_X	协方差矩阵
cof	余因子算子
$\text{cond}_p(A)$	矩阵 A 的条件数
$\Delta \mathcal{E}$	能量变化
diag	挑选方阵对角元素的算子
δ_{ij}	克罗内克 Δ
det	行列式
exp	指数
E	期望算子
$\mathcal{E}$	能量函数
E	能量函数
e	指数
$\mathcal{F}$	域
f_{bs}	二值S形激活函数
f_{iin}	线性激活函数
f_L	logistic函数
f_{hl}	硬限幅激活函数
f_H	Huber函数
f_{hs}	双曲正切S形激活函数
f_M	M估计器函数
f_T	Talwar函数

(续)

f_s	采样频率, 赫兹
f_{shi}	对称硬限幅激活函数
f_{sl}	饱和和线性激活函数
f_{ssl}	对称饱和和线性激活函数
g_{bs}	二值S形激活函数的导数
g_L	logistic函数的导数
g_{hts}	双曲正切S形激活函数的导数
g_H	Huber函数的导数
g_M	M估计器函数的导数
g_I	Talwar函数的导数
gof	f 和 g 的复合
γ	遗忘因子或泄漏因子
H	黑塞矩阵
h^o	因子的最优数
I_n	$n \times n$ 单位矩阵
I	适当维数的单位矩阵
inf	下确界
J	代价函数
J	雅可比矩阵
k	离散时间指标
kurt	峭度算子
L	李雅普诺夫函数
LT	下三角矩阵算子
$\mathcal{L}$	拉格朗日函数, 拉普拉斯变换算子, 或逐次松弛矩阵
ℓ	学习信号
λ	特征值或者拉格朗日乘子
m_t	随机过程的均值
$\mathbf{m}_t$	向量随机过程的均值向量
MIN	模糊交
MAX	模糊并
min	最小值算子
max	最大值算子
μ	学习率参数
v	零维(数)
Ω	非线性映射
$O(\gamma^2)$	在 γ 的高阶效应
ω_s	采样频率, $\frac{\text{rad}}{\text{sec}}$
Pr	概率
p_X	概率密度函数

(续)

$\mathcal{P}_x$	概率分布函数
Ψ	损失函数
Φ	回归矩阵
ϕ	状态转移矩阵
ϕ_h	原型记忆
$\Re$	实数集
$\Re^{n \times m}$	实 $n \times m$ 矩阵
$\Re^{n \times n}$	实 $n \times n$ (方) 阵
$\Re^{n \times 1}$	实 n 维列向量
$\Re^{1 \times n}$	实 n 维行向量
$\Re^n$	实 n 维向量 (行或列)
$(\Re^n, \Re)$	实 n 维向量空间
$(\Re^n(s), \Re(s))$	n 维有理向量空间
$\mathcal{R}$	瑞利商
R_x	相关矩阵
R_x	自相关函数
$\mathcal{R}_x$	时间自相关函数
ρ	矩阵秩或警戒参数
ρ_x	相关系数
S_x	功能谱密度矩阵
$\mathcal{S}$	概率空间或采样空间
sup	上确界
sgn	符号函数
σ	标准偏差, 奇异值, 扩展参数或正则化参数
σ^2	方差
σ_h	固定的稳定点
t	连续时间
tr	矩阵的迹
trace	矩阵的迹
T	温度
T_{binary}	阈值逻辑算子
T_s	采样周期
Tr	对所有可能构形成和
θ	阈值
θ	参数向量
$V(x)$	状态向量 x 的李雅普诺夫函数
var	方差算子
vec	通过“堆栈堆放”一个矩阵的列形成一个向量的算符
vecd	选择一个方阵的主对角元素的算符
$\mathcal{X}$	向量集
$(\mathcal{X}, \mathcal{F})$	向量 (线性) 空间
$\bar{X}$	随机变量 X 的均值
$\bar{x}$	x 的非或补
x^*	向量 x 的复共轭转置或最优解
$x^T y$	两个向量 x 和 y 的内积

$\langle x, y \rangle$	两个向量 x 和 y 的内积
xy^T	两个向量 x 和 y 的外积
z^{-1}	单位延迟算子
$(A)^T$	矩阵 A 的转置
$(A)^{-1}$	矩阵 A 的逆
$(A)^{1/2}$	矩阵 A 的平方根
$(A)^{T/2}$	矩阵 A 平方根的转置
$(A)^+$	矩阵 A 的伪逆
$(A)^*$	矩阵 A 的复共轭转置
$(A)^H$	矩阵 A 的埃尔米特转置
$ A $	矩阵 A 的行列式
$ \alpha + j\beta $	复数量的幅度或绝对值
$\angle(\alpha + j\beta)$	复数量的角度或辐度
$\det(A)$	矩阵 A 的行列式
Δw	权值向量变化量
∇	梯度算子
$\nabla_x \epsilon(x)$	函数 ϵ 关于向量 x 的梯度
$\nabla^T f(x)$	向量函数 f 关于向量 x 的雅可比矩阵
∇^2	拉普拉斯算子
$\nabla_x^2 f(x)$	函数 f 关于向量 x 的黑塞矩阵
$\oplus$	克罗内克求和或者或逻辑符号
$\otimes$	克罗内克乘积
$\odot$	Khatri-Rao乘积
$\cup$	并
$\cap$	交
$\subset$	包含于
$\in$	属于
$\notin$	不属于
$\forall$	对所有
$\exists$	使得
$\wedge$	与 (也是MIN运算符)
$\vee$	或 (也是MAX运算符)
$\emptyset$	空集
$\Rightarrow$	蕴涵
$\rightarrow$	映射到
$\ x\ _p$	向量 x 的 L_p 范数
$\ x\ _1$	向量 x 的 L_1 范数 (绝对值范数)
$\ x\ _2$	向量 x 的 L_2 范数 (欧几里得范数)
$\ x\ _\infty$	向量 x 的 L_∞ 范数 (切比雪夫范数)
$\ x\ _{-\infty}$	向量 x 的 $L_{-\infty}$ 范数 (负无穷大范数)
$\ x\ _w$	向量 x 的内积生成范数
$\ x\ _{2-Q}$	向量 x 的加权欧几里得范数
$\ A\ _p$	矩阵 A 的 L_p 范数
$\ A\ _1$	矩阵 A 的 L_1 范数 (最大的列绝对值求和)
$\ A\ _2$	矩阵 A 的谱范数
$\ A\ _\infty$	矩阵 A 的 L_∞ 范数 (最大的行绝对值求和)
$\ A\ _F$	矩阵 A 的弗罗贝尼乌斯范数
$\sigma_r(A)$	矩阵 A 的谱半径

重要缩写词

Adaline	adaptive linear element, 自适应线性单元
AIC	Akaike's information theoretic criterion, Akaike的信息论准则
AND	AND logic function, 与逻辑函数
ANN	artificial neural network, 人工神经网络
APEX	adaptive principal component extraction, 自适应主成分提取
ARMA	autoregressive moving average, 自回归滑动平均
ARMAX	autoregressive moving average with exogenous inputs, 具有外部输入的自回归滑动平均
,	
BER	bit error rate, 位误差率
BFGS	Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno
BIBO	bounded-input bounded-output, 有界输入有界输出
BP	backpropagation, 反向传播
CAM	content addressable memory, 按内容可寻址记忆
CLS	classical least-squares, 经典的最小二乘
CPCA	constrained PCA, 约束PCA
DOA	direction of arrival, 到达方向
DPC	discrete Picard condition, 离散皮卡条件
DTLFNN	distributed time lagged feedforward neural network, 分布式的时滞前馈神经网络
EVD	eigenvalue decomposition, 特征值分解
FFPA	fast fixed-point algorithm, 快速的固定点算法
FFT	fast Fourier transform, 快速傅里叶变换
FIR	finite impulse response, 有限冲击响应
FMMC	fuzzy min-max classifier, 模糊最小-最大分类器
GHA	generalized Hebbian algorithm, 广义Hebb算法
GSVD	generalized SVD, 广义SVD
IC	independent component, 独立成分
ICA	independent component analysis, 独立成分分析
ILS	inverse least squares, 逆最小二乘
isL	in the sense of Lyapunov, 李雅普诺夫意义下
KO	Karhunen-Oja
LAPART	laterally primed adaptive resonance theory, 侧向初始自适应共振理论
LDU	lower diagonal upper matrix decomposition, 矩阵的三角LDU分解
LMBP	Levenberg-Marquardt backpropagation, Levenberg-Marquardt反向传播
LMS	least mean-square, 最小均方
LP	linear programming, 线性规划
LVQ	learning vector quantization, 学习向量量化
LSR	linear shift register, 线性移位寄存器
LU	lower upper matrix decomposition, 矩阵的三角LU分解

Madaline	multiple Adaline, 多重自适应线性单元
MAJ	majority logic function, 逻辑表决函数
MAW	mountain associated wave, 波峰
MDL	minimum description length, 最小描述长度
MIMO	multiple-input multiple-output, 多输入多输出
MLP	multilayer perceptron, 多层感知器
MLP NN	multilayer perceptron neural network, 多层感知器神经网络
MRAC	model reference adaptive control, 模型参考自适应控制
MRI	Madaline rule I, Madaline 规则 I
MRII	Madaline rule II, Madaline 规则 II
MSE	mean square error, 均方误差
MUSIC	multiple signal classification, 多信号分类
NARMA	nonlinear autoregressive moving average, 非线性自回归滑动平均
NARMAX	nonlinear autoregressive moving average with exogenous inputs, 具有外部输入的非线性自回归滑动平均
NARX	nonlinear autoregressive with exogenous inputs, 具有外部输入的非线性自回归
NGE	nested generalized exemplar, 嵌套广义标本
NIPALS	nonlinear iterative partial least squares, 非线性迭代的偏最小二乘
NIR	near-infrared, 近红外
NLPCA	nonlinear PCA, 非线性PCA
NN _c	neural network controller, 神经网络控制器
NN _i	neural network to perform system identification, 执行系统辨识的神经网络
NOR	NOT-OR logic function, 非或逻辑函数
NP	nonlinear programming or nondeterministic polynomial (time complete), 非线性规划或非确定多项式(时间完全)
OLS	orthogonal least-squares, 正交最小二乘
OR	OR logic function, 或逻辑函数
PCA	principal component analysis, 主成分分析
PCR	principal component regression, 主成分回归
PLSNET	partial least-squares regression neural network, 部分最小二乘回归神经网络
PLSNET-C	PLSNET-calibration, PLSNET校准
PLSNET-P	PLSNET-prediction, PLSNET预测
PLSR	partial least-squares regression, 部分最小二乘回归
PN	pseudo noise, 伪噪声
PRESS	predicted residual error sum of squares, 预测残量误差平方和
QP	quadratic programming, 二次规划
RBF	radial basis function, 径向基函数
RBF NN	radial basis function neural network, 径向基函数神经网络
RLS	recursive least-squares, 递归最小二乘
RMS	root-mean-square, 均方根
ROB	robust, 健壮, 鲁棒
RWLS	recursive weighted least-squares, 递归加权最小二乘
