



高等学校智能科学与技术专业“十二五”规划教材

模式识别导论

范九伦 赵凤 雷博 吴青 编著



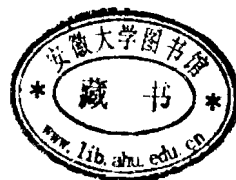
西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校智能科学与技术专业“十二五”规划教材



模式识别导论

范九伦 赵凤 雷博 吴青 编著



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是关于模式识别理论和方法的一本教材,系统地介绍了模式识别的基本理论和基本方法。全书内容以当前广泛应用的统计模式识别技术为主,兼顾模糊模式识别和现代模式识别中的核方法,重点放在统计模式识别的核心问题上,既突出了广泛性,又注重对主要知识内容的深入讨论;另外,书中还对当前广泛应用的统计模式识别方法及其理论基础进行了详细的介绍。

本书主要供智能科学与技术、自动化、测控技术与仪器、计算机科学与技术等本科专业的高年级学生使用,也可供从事相关专业的教学、科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模式识别导论/范九伦等编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.5

高等学校智能科学与技术专业“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2747 - 2

I. ① 模… II. ① 范… III. ① 模式识别—高等学校—教材

IV. ① O235

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 009119 号

策 划 邵汉平

责任编辑 邵汉平

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

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西光大印务有限责任公司

版 次 2012年5月第1版 2012年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 10

字 数 230千字

印 数 1~3000册

定 价 19.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2747 - 2/O · 0125

XDUP 3039001 - 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。

西安电子科技大学出版社
高等学校智能科学与技术专业“十二五”规划教材
编审专家委员会名单

主 任：

范九伦(西安邮电大学副校长)

尹怡欣(北京科技大学信息工程学院院长)

李邓化(北京信息科技大学自动化学院院长)

委 员(按姓氏笔画排列)：

王兴芬 王志良 公茂果 刘小河

刘建华 李 擎 苏 中 张奇志

陈雯柏 钟 桦 彭书华

前 言

随着 20 世纪 40 年代计算机的出现以及 50 年代人工智能的兴起,人们希望能用计算机来代替或扩展人类的部分脑力劳动。20 世纪 60 年代初,模式识别迅速发展为一门新的综合性和交叉性学科,成为信息科学和人工智能的重要组成部分。模式识别是指对表征事物或现象的各种形式的信息进行处理和分析,从而对事物或现象进行辨认、分类和解释的过程。在过去的几十年里,模式识别在很多领域得到了广泛的应用,例如图像处理、生物特征识别、DNA 序列分析、网络信息检索等。为了给在校本科生学习模式识别理论和方法提供内容较新、论述较系统的教材,也为了给相关领域的科研人员提供一本内容充实、具有一定实用性的参考书,我们编写了《模式识别导论》这本教材。

本书是一本关于模式识别理论和方法的教材,内容以统计模式识别技术为主,兼顾模糊模式识别和现代模式识别中的核方法,重点放在了统计模式识别方法及其理论基础的介绍上。教材内容具有基础知识叙述到位、基本方法叙述清楚的特点,可使学生在掌握模式识别的基本原理和思想的基础上理解其应用价值。本书的每一章后都附有相应的习题和上机练习,便于学习者对书中的内容进行总结和应用,同时也可对思维和智力进行相应的锻炼。

本书主要供智能科学与技术、自动化、测控技术与仪器、计算机科学与技术等本科专业的高年级学生使用,计划课时为 48~64 学时。学习该课程的学生应该具备高等数学、线性代数、概率论与随机过程的基础知识,同时应该掌握基本的编程技术。本书中,具有扩展性的知识用 * 号给出了标记。在讲授本书的过程中,建议根据课时量和授课对象来选择和组织相关内容。通过对本课程的学习,学生可以掌握基本的模式识别原理、方法和技术,对模式识别技术具备一定的实际应用能力。

全书共分 9 章,其中,第 1 章由范九伦编写;第 2、3 章由吴青编写;第 4、5 章由雷博编写;第 6、7、8、9 章由赵凤编写。全书由范九伦负责整理和统稿。

衷心感谢西安电子科技大学出版社的编辑老师,是他们的辛勤劳动使本书得以顺利出版。为了使本书既包含模式识别的基础理论和方法,又能反映这些基础知识涉及到的最新研究成果,本书在编写过程中参考了国内外许多同行的论文、著作,引用了其中的观点、数据与结论,在此一并表示谢忱。

由于作者学识有限,加上时间紧张,错误和缺点在所难免,敬请批评、指正。

编 者

2012 年 3 月

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 模式识别及模式识别系统	1
1.1.1 模式识别的基本概念	1
1.1.2 认知模式识别	2
1.1.3 计算机模式识别	3
1.2 模式识别的基本方法	6
1.2.1 统计模式识别	6
1.2.2 结构模式识别	7
1.2.3 模糊模式识别	7
1.2.4 神经网络模式识别	7
1.3 模式识别的一些基本准则	8
1.3.1 奥卡姆剃刀原理	8
1.3.2 没有免费的午餐定理	8
1.3.3 丑小鸭定理	9
1.4 模式识别的应用	9
1.4.1 生物特征识别	9
1.4.2 目标识别	12
1.4.3 图像识别	13
1.4.4 图形识别	14
1.4.5 故障诊断	14
第 2 章 线性判别函数法	15
2.1 判别函数的基本概念	15
2.2 线性判别函数	16
2.2.1 线性判别函数的一般形式	16
2.2.2 线性判别函数的基本性质	17
2.2.3 线性判别函数的几何性质	20
2.2.4 设计线性分类器的主要步骤	22
2.3 感知器学习算法	22
2.3.1 几个基本概念	22
2.3.2 感知器算法	23
2.4 最小均方误差算法	26
2.5 Fisher 线性判别法	27
2.5.1 类内离散度矩阵和类间离散度矩阵	27
2.5.2 Fisher 线性判别法	29

* 2.6	线性二分能力	30
	习题	32
	上机练习	33
第 3 章	非线性判别函数	34
3.1	分段线性判别函数	34
3.1.1	一般分段线性判别函数	34
3.1.2	基于距离的分段线性判别函数	35
3.2	分段线性判别函数的学习方法	36
3.2.1	已知子类划分的学习方法	37
3.2.2	已知子类数目的学习方法	37
3.2.3	未知子类数目的学习方法	38
3.3	势函数法	39
3.3.1	势函数	39
3.3.2	势函数法	39
3.3.3	势函数的选择	41
* 3.4	广义线性判别函数	43
* 3.5	二次判别函数	45
	习题	46
	上机练习	47
第 4 章	统计决策方法	48
4.1	最小误判概率准则判决	48
4.1.1	基础知识	48
4.1.2	最小误判概率准则判决	49
4.2	最小损失准则判决	52
4.2.1	损失函数与平均损失	53
4.2.2	最小损失贝叶斯准则判决	53
* 4.3	最小最大准则	54
4.4	正态分布模型的统计决策	56
4.4.1	正态分布概率密度函数	57
4.4.2	正态模型的 Bayes 决策	58
	习题	60
	上机练习	61
第 5 章	概率密度函数估计	62
5.1	参数估计的基本概念	62
5.2	概率密度函数的参数估计	63
5.2.1	最大似然估计	63
5.2.2	Bayes 估计和 Bayes 学习	66
5.3	概率密度函数的非参数估计	71
5.3.1	非参数估计的基本原理	71
5.3.2	Parzen 窗法	73
5.3.3	k_N -近邻法	76
	习题	77

上机练习	78
第 6 章 聚类分析	79
6.1 聚类分析的基本概念	79
6.2 模式相似性测度和聚类准则	80
6.2.1 模式相似性测度	80
6.2.2 聚类准则	81
6.3 基于距离阈值的聚类法	83
6.3.1 近邻聚类法	83
6.3.2 最大最小距离聚类法	84
6.4 层次聚类法	84
6.4.1 类与类之间的距离	85
6.4.2 层次聚类法	87
6.5 动态聚类算法	91
6.5.1 HCM 算法	92
6.5.2 ISODATA 算法	94
习题	98
上机练习	98
第 7 章 特征提取与选择	100
7.1 特征提取与选择的基本概念	100
7.1.1 特征的种类	100
7.1.2 特征提取与选择	101
7.2 基于距离的特征提取	101
7.2.1 基于距离的类别可分性测度	102
7.2.2 基于距离可分性测度的特征提取	103
7.3 基于离散 K-L 变换的特征提取	106
7.3.1 离散 K-L 变换(DKLT)	106
7.3.2 离散 K-L 变换在特征提取中的应用	108
7.4 特征选择方法	109
7.4.1 最优搜索法	109
7.4.2 次优搜索法	111
习题	112
上机练习	113
第 8 章 模糊模式识别	114
8.1 模糊集合	114
8.1.1 模糊集合的定义及表示	114
8.1.2 模糊集合的运算	115
8.2 模糊模式识别的基本方法	116
8.2.1 模糊模式识别的基本过程	117
8.2.2 常用的隶属度函数	118
8.2.3 最大隶属度原则	122
8.2.4 择近原则	123
8.3 模糊聚类分析	126

8.3.1 模糊等价关系法	126
8.3.2 模糊 c -均值聚类算法	129
8.4 聚类有效性评价	131
8.4.1 硬聚类有效性评价	131
8.4.2 模糊聚类有效性评价	132
习题	134
上机练习	134
第 9 章 模式分析的核方法	135
9.1 核函数	135
9.1.1 非线性特征映射和核函数	135
9.1.2 核函数的基本理论	137
9.1.3 核函数的构造	139
9.2 核 HCM 算法	140
9.3 核 FCM 算法	141
9.4 核离散 $K-L$ 变换	143
9.5 核 Fisher 线性判别	144
9.6 支持向量机	145
9.6.1 线性支持向量机	145
9.6.2 非线性支持向量机	148
9.6.3 支持向量机的多分类方法	148
习题	149
上机练习	149
参考文献	150

第 1 章 引 论

在日常生活中，我们能够轻而易举地识别出苹果和香蕉；能认出对面的人是张三还是李四；能从口袋里摸出钥匙；闻到气味，能区分出是汽油还是油漆；听到声音，能辨识出是猫叫还是狗吠等。实际上，这些行为都是人类在进行模式识别。为了具备这种能力，在过去的几千万年里，人类进化出了高度复杂的神经和认知系统。然而，人们对于自己所具有的模式识别能力见惯不惊，没有注意到模式识别是一个值得研究的问题。伴随着 20 世纪 40 年代计算机的出现和 50 年代人工智能的兴起，人们开始尝试使用计算机来代替或扩展人类的部分脑力劳动。随后，(计算机)模式识别得到迅速发展，并在 20 世纪 60 年代初迅速发展成为一门新的学科领域。至今，它所研究的理论和方法在很多领域得到了广泛的应用，涉及生活中的方方面面。本章首先讨论模式识别的基本概念和模式识别系统的构成，然后介绍模式识别的基本方法，接着讨论模式识别中的主要问题，最后探讨模式识别的应用。

1.1 模式识别及模式识别系统

1.1.1 模式识别的基本概念

“模式”一词的英文“Pattern”源于法文“Patron”，本来是指可作为大家典范的理想的人，或用以模仿复制的完美的样品。模式识别是包括人类在内的生物体的一项基本智能。对于模式和模式识别，有“广义”和“狭义”两种解释。

广义地说，存在于时间和空间中可观察的事物，如果可以区别它们是否相同或相似，都可以称之为模式。此时，模式识别是生物体(包括人)的基本活动，与感觉、记忆、学习、思维等心理过程紧密联系，是透视人类心理活动的重要窗口之一。从这个角度讲，模式识别是研究生物体如何感知对象的学科，属于认识科学的范畴，是生理学家、心理学家、生物学家和神经生理学家的研究内容，常被称做认知模式识别。具体来说，它是指人们把接收到的有关客观事物或人的刺激信息与他在大脑里已有的知识结构中有关单元的信息进行比较和匹配，从而辨认和确定该刺激信息意义的过程。正是通过认知模式识别，我们才能认识世界，才能辨别出各个物体之间的差别，才能更好地学习和生活。

狭义地说，模式是为了能让计算机执行和完成分类识别任务，通过对具体的个别事物进行观测所得到的具有时间和空间分布的信息。把模式所属的类别或同一类中模式的总体称为模式类(或简称为类)。计算机模式识别就是指根据待识别对象的特征或属性，利用以计算机为中心的机器系统，运用一定的分析算法确定对象的类别的学科，是数学家、信息学专家和计算机专家的研究内容。

因此，模式识别的研究主要集中在认知模式识别和计算机模式识别这两个方面。下面分别对这两方面内容进行详细介绍。

1.1.2 认知模式识别

认知模式识别是认知心理学研究领域中的核心问题之一，是人的一种基本的认知能力或智能，在人的各种活动中都有重要的作用。模式识别可看做一个典型的知觉过程，它依赖于人已有的知识和经验。模式识别过程主要经历分析、比较和决策三个阶段。一般说来，模式识别过程是将感觉信息与长时记忆中的有关信息进行比较，再决定它与哪个长时记忆中的项目有着最佳匹配的过程。

在认知心理学中，匹配过程可以采用模板匹配理论、原型匹配理论、特征匹配理论和结构优势描述理论来实现。

1. 模板匹配理论

模板匹配理论是模式识别的最简单的一种理论假设，最早是针对计算机的模式识别而提出来的，后来被用来解释人类的模式识别过程。它的核心思想是，人的长时记忆中的编码信息存储着各式各样的来自个体过去经历的各种外部模式的拷贝或复本，即模板，它们与外部的刺激模式存在着——对应的关系。当一个刺激作用于人的感觉器官时，刺激信息得到编码并与头脑中所存储的模板进行比较和匹配，然后确定哪一个模板与刺激信息最为吻合，就把该刺激信息确认为是与头脑中的某个模板相同，即产生模式识别效应，反之则不能被辨别与认识。可见，模式识别是刺激信息与脑中某个或某些模板产生最佳匹配的过程。

该理论的基本观点是刺激信息与脑中模板的最佳匹配，而且这种匹配要求两者具有最大相似的重叠。该理论假设个体在长时记忆中存储有大量的，甚至是无穷的相应的特定模板，否则就不能得到模式识别或发生错误的模式识别。如果要得到正确的模式识别，就需要在人的长时记忆中存储不计其数的模板，但这就会极大地增加人的记忆负担，这与人在模式识别过程中所表现出来的高度灵活性是不一致的。

有两种改进方法可以弥补该理论的不足：一是假设每一个模式要由几个模板来表征，这样模式识别就有了更大的灵活性，但是，这样就与模板匹配的理论假设相异了。二是假设刺激信息在与模板匹配之前，刺激信息需要先进行标准化过程，通过改变刺激信息的某些原始特征，使它与长时记忆中模板的标准大小和标准方位等相似，以此来达到模式识别的目的。

模板匹配理论虽然得到来自实验与应用两个方面的支持，但是不容回避的是，它仍然存在着明显的不足与局限。首先，人的长时记忆需要存储无数个模板，这既会给记忆带来沉重的负担，也会使人在识别事物时缺少灵活性。其次，无法解释人为何有时能够非常迅速地识别一个新的、不熟悉的事物的这种常见情况。第三，没有说明模板匹配的信息编码形式，即外部刺激模式与脑中模板的比较是平行加工还是系列加工的；是从事物的局部特征开始的，还是从事物的整体特征开始的。这些问题都与知觉活动过程和知识表征有关。

2. 原型匹配理论

原型匹配理论是针对模板匹配理论的不足而提出的模式识别理论假说。原型匹配理论

认为,在人的长时记忆中存储着的不是与外部事物模式一一对应的模板,而是事物的某种“原型”。原型是指一类客观事物的抽象物,是一类客观事物所共有的关键性特征。

由于原型是一种概括化了的内部表征,因此它们并不要求与外部刺激信息严格匹配,只需近似匹配即可。一旦外部刺激信息与人脑中的某个原型有最近似的匹配,就可以把它纳入这一原型所概括的范畴内得到识别。如果几个外部刺激信息同属于一个类别或范畴,即使它们之间可能在形状、大小、高低等方面存在着差异,也可以通过与人脑中原型的匹配得到准确识别。这样,不仅能够大大减轻记忆负担,也能够使人的模式识别活动更加灵活,从而能够更好地适应错综复杂的环境变化与外部的刺激信息。

M. I. Posner 和 J. D. Keele 用实验支持了模式识别的原型匹配理论。这些实验结果证实了人脑中原型的存在以及原型在模式识别中的重要作用。在类似研究的基础上, S. K. Reed 提出了一个原型匹配的模式识别模型,原型匹配模型在一定程度上还能够容纳模板匹配理论。因此,原型匹配模型显得比较灵活、富有弹性。但是,不足的是,原型匹配模型只具有自下而上的加工过程,而没有自上而下的加工过程。其实,在人的知觉过程中,自上而下的加工过程有时更加重要。

3. 特征匹配理论

模式或事物是由若干个元素或特征按照一定的关系组合在一起构成的。因此,要识别事物或模式,就可以分析它们的基本特征。任何模式都可以被分解为诸多特征或属性,模式识别就是通过对刺激信息特征进行分析,然后与其存储在长时记忆中的模式相比较后,决定与哪个模式进行匹配的过程。

特征匹配理论提出,各种模式在长时记忆系统中的编码,既不是具体事物的模板,也不是某类事物的原型,而是该模式所具有的基本特征和基本属性的存储。

模式识别的特征匹配理论及其模型,目前备受认知心理学的重视,它也在计算机的模式识别中得到了应用。与其他模式识别模型相比,它能更加灵活有效地解释人的模式识别过程。特征匹配理论仅对刺激信息的部分特征识别过程作出解释,即它只关心自下而上的加工部分,却忽略了基于背景信息和主观期待的自上而下的加工过程。

4. 结构优势描述理论

在对刺激信息的知觉过程中,人的经验起着很重要的作用。由于刺激模式不是孤立地出现的,它们总是处于与其他模式或其他模式属性的联系中,为此在模式识别过程中,这种自上而下的加工作用随着模式识别研究的深入而日益受到重视。

1996年, Bruce 等人提出了结构优势描述理论。结构描述理论认为,结构是由“一些描述特定构成的命题组成的,这些命题是象征性的,虽然用词汇来描述它们,但是它却不是语言的”。为此, Marr 和 Biederrman 提出了很有影响的计算理论,即“马尔计算理论”。结构描述的优点是它关注刺激信息中的最重要的部分。但是,这个模式识别理论忽视了情境信息对知觉过程的重要影响。同时,在对模式识别时的精细区分与辨别方面,认知心理学家们仍然存在着不同的看法。

1.1.3 计算机模式识别

早期的计算机模式识别将研究重点放在模型的建立上。20世纪50年代末, F. Rosenblatt

提出了一种简化的模拟人脑进行识别的数学模型——感知机，初步实现了通过给定类别的各个样本对识别系统进行训练，使系统在学习完毕后具有对其他未知类别的模式进行正确分类的能力。20 世纪 60 年代，用统计决策理论求解模式识别问题的研究得到了迅速的发展。20 世纪 70 年代前后出版了一系列反映统计模式识别理论和方法的专著。1962 年，R. Narasimahan 提出了一种基于基元关系的句法识别方法，美籍华人傅京孙在这个领域进行了卓有成效的工作，形成了句法模式识别的系统理论。20 世纪 80 年代，J. J. Hopfield 深刻揭示了人工神经网络所具有的联想存储和计算能力，为模式识别技术提出了一种新的途径，短短几年在很多方面取得了显著成果，从而形成了模式识别的人工神经网络方法。

一个功能完善的计算机模式识别系统除了具有分类识别过程外，通常还应该具有学习过程。图 1.1 给出了一个模式识别系统的原理框图，虚线的上部是分类识别过程，虚线的下部是学习过程。学习阶段是对样本进行特征选择，寻找分类的规律；实现(分类识别)阶段则是根据分类规律对未知样本集进行分类和识别。数据的采集及预处理、特征提取和选择、学习和训练、分类识别是任何模式识别系统中都具有的主要环节。

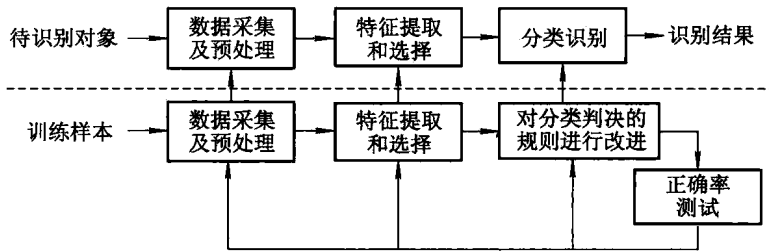


图 1.1 模式识别系统的原理框图

1. 数据采集及预处理

数据采集及预处理是指通过各种传感器把被研究对象的各种物理变量转换为计算机可以接受的数值或符号(串)集合。习惯上，称这种数值或符号(串)所组成的空间为模式空间。

2. 特征提取和选择

在进行分类识别和训练学习之前，首先需要对待识别对象的本质特征和重要属性进行测量，从而获得描述对象的模式，这个过程称为特征提取。然而，能描述对象的特征或属性的种类有很多。实际上，对于某些分类算法来说，并不是特征越多越有益于分类，过多的特征会降低算法运行的可行性。同时，为了节省计算机存储空间、算法运行时间和特征提取的费用，在满足一定的分类识别正确率的前提下，也需要按照某种准则选用对分类识别作用较大的特征来完成分类识别任务，这个过程就称为特征选择。需要指出的是，特征提取和选择依赖于具体问题和具体领域，需要在相应领域知识的指导下完成。

3. 学习和训练

在日常生活和工作中，人们越来越依赖计算机，几乎认为计算机无所不能，甚至把计算机称为电脑。但与人脑相比，电脑是小巫见大巫，这不仅仅在于人脑约有 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个神经元，更在于每个神经元约有 $10^3 \sim 10^4$ 个突触，即一个神经元可以通过突触与 8000 个其他神经元交换信息，当生物电流通过某一突触时，神经元就将信息传递给下一个神经元。

所以,人脑有极其丰富的联想、判别与推理能力。

计算机的联想、判别等能力与人脑相差甚远,特别是在对外界信息的感知能力方面更不如人脑。为了使计算机如同人一样具有分类识别能力,需要对机器进行训练。首先将人类的识别知识和方法以及分类识别对象的信息输入到计算机中,产生分类识别的规则和程序,这个过程就是机器学习的过程。该过程要反复进行多次,不断地修正和改进,最后使系统的正确识别率达到规定要求。目前,机器学习通常需要人为干预。

4. 分类识别

学习训练结束之后,产生的分类识别规则和程序用来对未知类别对象进行分类识别。很明显,输入机器的人类识别知识和有关分类识别对象的信息越充分,机器中的知识与待识别对象越匹配,知识的运用就越合理,系统的识别能力就越强,获得的识别率就越高。

针对不同的应用目的,上述四部分的内容可以有很大的差别,特别是在数据处理和识别部分,为了提高识别结果的可靠性,往往需要加入规则以对可能产生的错误进行修正,或通过引入限制条件大大缩小待识别模式在模型库中的搜索空间,以减少匹配计算量。

在一个模式识别系统的学习阶段,需要在一个样本集上进行学习或训练。此训练集是非常关键的,训练的数据量要足够大而且要足够典型,这样才能保证算法的可靠性。训练集的选取和应用需注意以下几点:训练样本的个数应该 10 倍于特性数据维数;相对于训练样本,分类器的未知参数不能过多;分类器不能出现过度训练的问题。

1961 年, Bellman 首先提出维数灾难问题,他指出,估计一个变量函数所需要的样本采样点数会随着变量个数的增加呈指数增长。在模式识别领域,为了提高分类识别的正确率,人们通常需要采集数量巨大的原始特征,使得原始特征空间或输入空间的维数高达几千维或几万维。对高维样本数据进行处理时,需要的样本点数很多,而实际中可以利用的样本点数相对样本维数来说却少得多,这就是模式识别领域中的维数灾难。

维数灾难给模式识别带来了两个方面的重要影响:一是使得很多在低维空间具有良好性能的分类算法在计算上变得不可行;二是在训练样本数量一定的前提下,特征维数的增加使得样本统计特性的估计变得更加困难,从而降低了分类器的泛化能力,出现“过学习”或“过训练”的现象。特征降维是解决维数灾难问题的有效手段之一,它通过对高维数据的分析来寻找嵌入在高维数据空间中的本征低维结构,以达到数据降维的目的。在很多模式识别领域中,人们都用到了特征降维技术。

下面以人脸识别为例说明特征降维在模式识别中的作用。人脸识别是利用人的脸部特征进行身份鉴定的生物特征识别技术,它是典型需要特征降维的模式识别应用技术。人脸识别需要处理的对象是二维或者高维数据,灰度人脸图像是二维数据,彩色人脸图像则是三维数据。人们在人脸识别中通常要把二维或者高维数据转变成一维的向量数据,然后再进行后续处理。然而,把二维或高维数据转变成一维数据后,数据维数会变得非常大,例如一个 128×128 的灰度人脸图像,转变成一维数据后是 16 384 维,这就出现了维数灾难问题。因此,为了进行分类器设计,需要把图像从测量空间变换到维数大大减少的特征空间,使得人脸图像在这个特征空间中可以由一个特征向量有效表示,进而使得计算机可以对其进行高效处理。在图 1.2 中,应用某种降维算法将灰度人脸图像通过降维处理,嵌入到了一个二维特征空间,横轴反映面部表情的变化,纵轴反映头部角度的变化。可以看出,该特征空间可以有效刻画人脸图像的本质特征,为后续的分类识别提供了很大的方便。

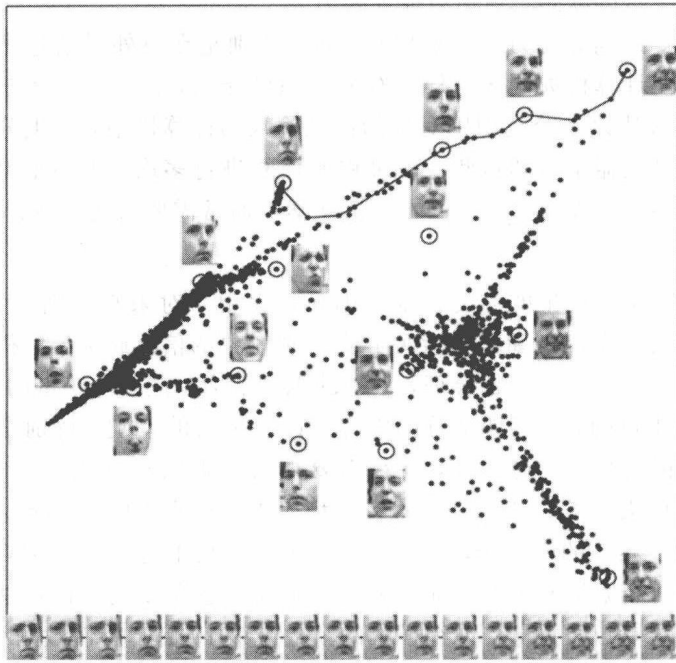


图 1.2 人脸识别中的特征降维

除非特别声明，下面凡是提到模式识别，均指计算机模式识别。

1.2 模式识别的基本方法

分类识别是人类时时刻刻都在进行的活动，人们希望机器能代替人类进行分类识别工作。因此，对于模式识别的研究引起了人们极大的兴趣。模式识别伴随着计算机的研究和应用日益发展起来，其应用领域涉及社会生活的各个方面，而且还在不断发展扩大。目前，模式识别已经发展成一门多学科的交叉学科，涉及数学、计算机科学、神经心理学、信息论、控制论、信号处理等。

根据是否利用已知类别的训练样本，可将模式识别分为监督模式识别和非监督模式识别。对于不同的分类对象和不同的分类目的，可以采用不同的模式识别方法。根据采用的模式识别方法，可将模式识别分为统计模式识别、结构模式识别、模糊模式识别、神经网络模式识别等。本节简要介绍这些基本的模式识别方法。

1.2.1 统计模式识别

统计模式识别方法是应用最广泛的一类模式识别方法。从本质上说，该类方法都是利用各个类的概率密度函数、后验概率等概念进行分类识别的。其中，聚类分析法、最近邻法、判别域代数界面法和统计决策法是最经典的四种统计模式识别方法。

聚类分析法的基本思想是利用模式之间的相似性进行分类，相似的模式归为一类，不相似的模式归入不同类。需要指出的是，聚类算法看似没有利用概率密度函数等概念，其实不然。在分类过程中，算法不断地计算各个聚类的中心，并将模式与各个聚类中心的距

离作为分类的依据,这实际上是在隐含地利用概率分布的思想,因为在一般的概率密度函数下,距离期望值较近的点具有较大的概率密度值。

最近邻法是根据待识别模式的一个或 k 个近邻训练样本的类别来确定其类别的方法。实际上 k -近邻法是利用最大后验概率准则进行分类判决的。

判别域代数界面法首先利用已知类别的训练样本产生判别函数,然后根据待识别模式代入判别函数后的值的正负确定其类别。判别函数产生了相邻两类的判别界面,其对应于两类概率函数之差。

统计决策法是在一些分类识别准则下,按照概率统计理论产生各种判别准则,然后利用这些判别准则生成最终的分类识别结果。

1.2.2 结构模式识别

对于具有复杂结构特征的对象,仅用一些数值特征已不能对其进行充分描述,这时需要采用结构模式识别方法。该方法首先将对象分解为若干基本单元(称为基元),然后利用这些基元和它们之间的结构关系来描述对象。

在结构模式识别方法中,基元以及基元之间的结构关系采用图或字符串来表示,这些图或字符串称为形式语言的句子,然后根据代表类的文法运用形式语言理论和技术对句子进行句法分析,根据其是否符合某一类的文法来确定其类别。因此,结构模式识别又称为句法模式识别。

1.2.3 模糊模式识别

在传统的集合论中,元素和集合是要么属于、要么不属于的关系,两者必居其一,而且二者仅居其一。在模糊集合论中,元素是以一定的程度(隶属度)属于某一个模糊集合,也可以属于多个模糊集合。模糊集合主要用来描述不精确的、模糊的概念。模糊数学就是建立在模糊集合基础之上的数学分支。

模糊模式识别是利用模糊数学的理论和方法来分析和解决模式识别问题,其基本思想是首先将模式类看成模糊集合,将模式的属性转化为对于模糊集合的隶属程度,然后利用隶属函数、模糊推理和模糊关系进行分类识别。模糊模式识别利用模糊技术来设计机器识别系统,可以更广泛、更深入地模拟人脑的思维过程,从而对客观事物进行更为有效的分类和识别。模糊模式识别方法已在工业、农业、军事、医学、管理科学、信息科学和工程技术等学科和领域中发挥着非常重要的作用。

1.2.4 神经网络模式识别

人工神经网络简称神经网络,是由大量简单的基本单元(称为神经元)相互连接而构成的复杂网络系统。其中,每个神经元的结构和功能比较简单,而构成的系统可以非常复杂。

人类感知外界信息依靠的生理基础是神经系统。人工神经网络就是在现代生物学研究人脑组织所取得成果的基础上提出的,用以模拟人类大脑神经网络的结构和行为。人工神经网络具有生物神经网络的某些特性,在自学习、自组织、联想记忆和容错方面具有较强的能力。因此,人工神经网络具有用于模式识别的理论和结构基础,可以处理一些环境信息十分复杂、背景知识不清楚、推理规则不明确的模式识别问题。实际上,模式识别是人

工神经网络公认的最成功的应用领域之一。

1.3 模式识别的一些基本准则

尽管计算机模式识别发展至今已经取得了令人瞩目的成就，但人们逐渐认识到在实际的研究和应用中，面临很多限制或需遵循的原则。这些原则既对人们的探讨提出了“警示”，也对实际操作具有指导价值。下面叙述几个已经得到大家认可的基本准则。

1.3.1 奥卡姆剃刀原理

奥卡姆剃刀(Occam's Razor)原理是由 14 世纪逻辑学家、圣方济各会修士奥卡姆的威廉(William of Occam)提出的一个原理。这个原理简称为“如无必要，勿增实体”(在多种等价物和多种实现方法中提倡选择最简单的模型或假设，尽量避免产生超出解释、观察所严格需要的更为复杂的理论)。也就是说杀鸡焉用牛刀，尽量不要把问题复杂化，要尽力把没用的、会引起问题复杂化的因素剔除掉。对于识别算法而言，并不是越复杂的算法越有用，有时简单的算法也能够达到较好的性能。这正如爱因斯坦所讲的：描述一个问题，解决一个问题，要尽可能的简单，但不能过于简单。总之，设计的分类器要尽可能保持简单，因为简单的通常是最有效的。尽管在模式识别领域有一个主流观点，学习系统不要比限定的需求更复杂，需遵从奥卡姆剃刀原理，但这个原则让人无法明白系统要做到多大才能不用去适配数据的特殊点(所谓过学习)就能具有推广能力。

1.3.2 没有免费的午餐定理

在 1.2 节中，我们介绍了模式识别的基本方法，在每一个基本方法下，又有很多学习算法和技术。面对这么多的算法，人们自然要问是否存在最好的算法？答案是否定的。1997 年，Wolpert 和 Macerday 提出了没有免费的午餐定理(No Free Lunch, NFL)。该定理指出，没有最好的算法，每种算法总有它的优势和缺陷。NFL 定理可以简单表述为：对于所有可能的问题，任意给定两个算法 A 和 A'，如果 A 在某些问题上表现比 A'好(差)，那么，A 在其他问题上的表现一定比 A'差(好)。也就是说，任意两个算法 A、A'对所有问题的平均表现度量是完全一样的。该定理隐含指出，任何一种分类算法甚至都不比搜索空间的线性列举或者纯随机搜索算法更优。图 1.3 给出了没有免费的午餐定理的图示。

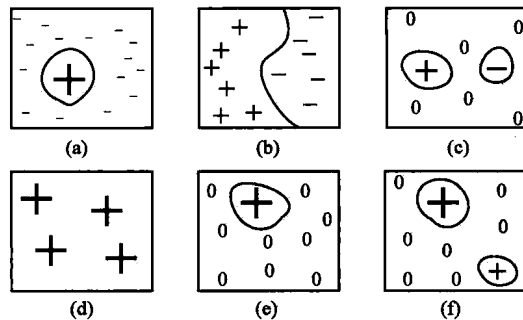


图 1.3 没有免费的午餐