

模式识别导论

李金宗 编著



高等教育出版社

73.82
255

模式识别导论

李金宗 编著



高等教育出版社

9410219

(京) 112 号

0038/17
内容简介

本书系统地论述分类、训练、模式采集和特征提取等模式识别的基本理论和方法,着眼于三维和多维的模式识别,并专题研究分类错误率问题,内容丰富,分析深入,论述严谨,结构紧凑,自成体系,具有较高的学术水平和教学法水平。

全书共十一章,一、绪论,二、模式的采集,三、判决函数,四、随机模式的分类方法,五、确定性模式分类器的预分类训练试验,六、随机模式分类器的预分类训练试验,七、错误率,八、无监督训练 I: 分布参数估计,九、无监督训练 II: 聚类分类,十、特征提取/选择,十一、句法模式识别。书末附有索引。

本书可用作模式识别与智能控制、信息与信号处理、计算机应用、通信与电子系统、医学、高能物理、考古学、地质、侦探学及武器技术等学科领域的本科高年级、硕士研究生、博士研究生教材,也适合有关科技人员参考。

模式识别导论

李金宗 编著

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

通县觅子店印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 18.375 字数 470 000

1994年7月第1版 1994年7月第1次印刷

印数 000—3087

ISBN 7-04-004508-7/TM·228

定价 16.95 元

序

目前科学技术发展的一个重要方向就是智能的机器化和机器的智能化。这个目标的实现，将对人类社会的各个领域产生不可估量的巨大变化。因此，当代许多科学家和工程技术工作者都在从多个学科努力创新以求接近和达到这个目标，而且这个方向也日益被许多政治家 and 企业家所理解和支持。因而，这个方向的努力已经超出了科学家个人兴趣和探索的驱动，得到了社会各方面乃至国家或国家集团的支持，形成一股前所未有的推动力量。

当然，目前人类科学技术水平离开真正的智能化还很远。80年代科学家们对人工智能曾“大热闹”了一番，后来发现它目前所能做的事，实在太有限。80年代末人工智能各有关的学科都召开了世界性会议，主题都是总结和反思，其主调都是“降温”，回到现实中来，知难而进，探索新理论、新思路，打持久战。现在看，这个目标的真正实现，需要几代人的努力。

模式识别是智能的核心功能之一，目前的水平仍属初级，但其诱人之前景，已令人兴奋不已，需要我们尤其是青年科学工作者来研究它、应用它、发展它、突破它。

李金宗教授这本“导论”，我以为写得很好。由于他长期从事这个领域的教学和研究，又得益于德国卡尔斯鲁厄大学 H. H. Nagel 教授的真传，造诣深厚。本书内容丰富、分析深入、结构紧凑，总结了近年来国内外的研究成果包括作者本人的部分研究成果，是一本高水平的教科书和科技著作。相信“导论”的出版，将对我国在这一领域的教学与科研工作起到积极的促进作用。

吴林

1993年1月30日

前 言

模式识别是60年代初迅速发展起来的一门新学科,属于信息、控制和系统科学的范畴。在70年代,随着大规模集成技术的发展以及计算机性能与价格比的迅速提高,无论在理论上,还是在应用上,模式识别技术都有显著的发展,大大推动了以计算机为基础的具有智能性质的自动化系统的实际应用,促进了人工智能、专家系统、动态景物分析和三维图象识别等许多新的学术方向和新技术的产生与发展。目前,模式识别已经形成完整的理论体系,在国民经济和国防科学的诸领域里发挥着越来越重大的作用。

过去,关于模式识别的研究成果,较多的局限在一维和二维的应用方面,例如文字识别、语言识别与理解、指纹鉴别等;同时,在医疗诊断、生物医学信号分析、工件识别与自动检测以及考古学、侦探学等领域里,也有很多应用成果。由于实际需求的推动,特别是由于D3S(Dynamic scene analysis, 3D recognition and Serial image processing)技术在80年代的形成和发展,三维目标的检测与辨识越来越为人们所关注,成为地质勘探、气象观测、遥感图象分析、成像精密制导、空间站交会对接等高新技术领域急需研究的课题。

模式识别技术可以一般地概括为两大类:基于决策理论的统计模式识别和基于形式语言理论的句法模式识别。本书主要参考了德国卡尔斯鲁厄大学(Karlsruhe University) H. -H. Nagel教授的两本现行教材,同时吸收国内外有关专著的优点,通过三次教学实践,逐步形成了自己的理论体系。第一章介绍模式识别的基本概念和某些必需的预备知识;第二章简要介绍模式采集的有关内容,既照顾理论的系统完整性,又避免与先修课程的不必要重复;第三、四章论述统计模式识别的分类方法,其中第三章论述确

定性模式的分类方法,第四章论述随机性模式的分类方法;第五、六、七、八、九章研究统计模式识别的训练试验方法,其中第五、六章研究监督训练,第七章集中研究分类错误率问题,第八、九章研究无监督训练。在这些章节中,我们强调理论的系统性和具体的算法。另外,我们把聚类分析作为无监督训练的一种方法来研究是由于本书的理论体系决定的,事实上,它还可以独立地作为分类方法来使用。第十章研究统计模式识别的特征提取/选择,这样安排使读者在学习该章之前就已经认识到它的重要性;第十一章集中介绍句法模式识别的基本理论和方法,系统而有重点地论述形式语言理论基础、文法、句法分析、基元提取和文法推断等基本问题,与统计模式识别内容的安排大致上相类似。句法识别与统计识别相比较,某些理论尚不成熟,但是,由于在动态景物分析和图象识别中有重要应用,成为人们所关注的研究课题,近年来取得许多新的成果,例如高维文法和随机文法。希望读者通过学习能够奠定坚实的科学研究基础,并且具有实际应用的能力。

对于实际的模式识别问题,统计模式识别方法和句法模式识别方法在很多情况下是互相补充的。如果模式的结构信息并不重要,识别问题主要是分类,而不是描述,看来只要采用统计方法;如果模式的结构信息非常丰富,而且识别问题要求分类和描述,就有必要采用句法方法。在实际应用中,问题往往是在两种极端情况之间。有关模式的结构信息是重要的,但是可能不容易抽取模式基元,特别是当有噪声或畸变存在时基元的提取会更困难。因此在较低的处理级上,可用统计方法识别模式基元,选定的模式基元定义为能够用统计方法识别的子模式;而在较高的处理级上,使用这些子模式表示模式结构信息,采用句法方法进行描述和分类。在这种情况下,只要求模式基元可以被识别,并不要求它非常简单,所以句法描述也变得十分简单,使识别问题可以利用句法方法有效地加以解决。一般说来,采用混合的方法有利于解决模式识别问题。

本书以分类方法、训练试验、特征提取/选择等为重点内容,系统地论述模式识别的基本理论和方法,力求理论体系严谨。由于分类错误率不仅仅是分类质量的评价标准,而且还是影响识别全过程的关键问题,所以把它独立一章,专题论述,进行深入的分析和研究,形成本书的一个突出的特点。为了适应在许多领域中日益增长的对三维和多维模式识别的需要,在理论阐述和内容取舍等方面,都着眼于三维和多维模式的识别,这是本书的另一个突出的特点。但是,应该指出,由于二维和一维模式的识别问题可以视为三维和多维的简化,因此本书阐述的基本理论和方法是广泛适用的。在每一章的内容安排上,都是先简明地介绍章内所涉及的主要内容和研究思路;对主要公式均有系统严密的推导,并且辅以例证;对理论问题的论述,力求深入浅出,条理清楚;最后有小结(或结束语或评价)、习题和参考文献。这样,使每章自成体系,便于理解和掌握。

本书可用作模式识别与智能控制、信息与信号处理、计算机应用、通信与电子系统、医学、自动化与机器人学、高能物理、考古学、地质勘探、侦探学以及武器技术等学科或领域的研究生教材、本科高年级教材或科技工作者参考书。

在教学、科研和本书编著过程中,作者得到哈尔滨工业大学领导和许多教授的大力支持和鼓励。第一副校长、国家高技术自动化领域首席科学家吴林教授,学部委员刘永坦教授都给予很多指导和帮助。全书承舒文豪教授审阅,提出许多宝贵意见。孟宪荣教授绘制了全部插图,并且提出许多建议。作者在此一并表示衷心的感谢。此外,还要感谢与我一齐工作的年轻教师和众多的学生,在讲课、科研过程或在指导他们的研究工作中,我们相互切磋,得到过许多重要的启示和帮助。

最后,恳请读者对本书不足之处批评指正。

李金宗

1992年7月于哈尔滨工业大学

本书字母符号表

下面是本书中用到的主要字母符号及其解释。若字母符号的含义在后续章节中不变,则只在它们第一次出现的章节中列出;若其含义在后续章节中有变化,则在相应的章节中重新列出。

字母符号	解 释
第 1 章	
R	模式空间维数
d	特征空间维数
c	类型空间维数
$d(x_1, x_2)$	两类问题的判决函数
$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$	随机向量,上标 T 表示转置(下同)
$F(\mathbf{x})$	随机向量的分布函数
$P(X < \mathbf{x})$	随机向量小于 \mathbf{x} 的概率
$p(\mathbf{x})$	随机向量的概率密度函数
ω_i	第 i 个类型
$F(\mathbf{x} \omega_i)$	类概率分布函数
$p(\mathbf{x} \omega_i)$	类概率密度函数
$\mu = E[\mathbf{x}]$	随机向量的数学期望,即均值向量
Σ	协方差矩阵
R	自相关矩阵
$N(\mu, \sigma^2)$	均值为 μ 、方差为 σ^2 的一维正态分布
$N(\mu, \Sigma)$	多维正态分布
γ	马氏距离
$\{\varphi(n, t)\}$	正交函数系
T	正交变换矩阵
T^{-1}	逆正交变换矩阵
DFT	离散傅里叶变换

FNT

费马数变换

F_i

费马数

H_N

阿达玛矩阵

第2章

$f(x, y)$

二维连续函数

$F(m, n)$

$f(x, y)$ 的傅里叶变换

$N_{ii}(m, n)$

标准化互相关函数

$g * f(x, y)$

连续域的卷积函数

$g * f(m, n)$

离散域的卷积和

第3章

$\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_c$

类型符号, c 为类型数目

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$

确定性模式向量

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d, 1)^T$

增广型模式向量, 又称标准型模式向量

$\mathbf{w}_0 = (w_1, w_2, \dots, w_{d+1})^T$

加权向量

$\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_{d+1})^T$

增广型加权向量, 又称标准型加权向量

D_0

原点至区分超平面的距离

D_j

点 \mathbf{y} 至区分超平面的距离

$d_i(\mathbf{x})$

第 i 类的判决函数

$d_{ij}(\mathbf{x})$

ω_i/ω_j 二分法的判决函数

w_i

第 i 类的加权向量

w_{ij}

ω_i/ω_j 二分法的加权向量

$D(n, d)$

d 维空间 n 个样本的二分能力

$P(n, d), P(\lambda, d)$

二分能力的概率描述

$n_{0.5}$

$P(\lambda, d) = 0.5$ 的样本数目

第4章

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d)^T$

随机性模式向量

$P(\omega_i)$

类型 ω_i 的先验概率

$P(\omega_i | \mathbf{x})$

后验概率

$P(e)$

错误概率

$p(\mathbf{x})$

全概率密度

μ_i

第 i 类的均值向量

Σ_i

第 i 类的协方差矩阵

E_d	d 维特征空间
$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_a$	a 个判决
$L(\alpha_i \omega_j)$	$x \in \omega_j$ 而判决为 α_i 的风险即损失
$p(x \omega_i)$	似然函数
$l_{ij}(x)$	类型 ω_i 与 ω_j 的似然函数比
θ_{ij}	最大似然比判决门限
$R(\alpha_i x)$	判决 α_i 的条件平均风险
λ_z	拒绝判决风险
λ_s	错误判决风险
$g(x)$	随机模式两类问题的判决函数
$g_i(x)$	第 i 类随机模式的判决函数
$g_{ij}(x)$	ω_i / ω_j 二分法的判决函数
x_0	区分超平面与均值点连线的交点
\bar{R}	平均风险
ρ_s	停止损失
ρ_c	继续损失
ρ_{\min}	最小损失

第 5 章

x	确定性模式向量
$\text{sgn}(x)$	x 的符号
w^*	解向量
$J(w, x)$	梯度下降法的准则函数
$J_s(w, x, b)$	平方误差准则函数
e	误差向量
e_k	第 k 次迭代的误差向量
$x^\#$	x 的伪逆
$K(x, x_k)$	x 与 x_k 之间的电位势函数
$K(x)$	x 点的电位势
$J_F(w)$	Fisher 准则函数
$L(w, \lambda)$	Lagrange 函数
m_i	第 i 类样本平均值
S_i	第 i 类类内离散度

m_i	第 i 类样本均值向量
S_i	第 i 类类内样本离散度矩阵
S_w	类内样本总离散度矩阵
S_b	类间样本总离散度矩阵

第 6 章

x	随机性模式向量
$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$	n 个样本的训练样本集
X_i	ω_i 类的训练样本子集
θ	未知参数向量
$\hat{\theta}$	未知参数的估计量(值)
Θ	参数空间
$p(x \theta)$	由 X 估计的概率密度函数
$p(X \theta)$	X 和 θ 的似然函数
$L(\theta) = \ln p(X \theta)$	对数似然函数
$\nabla_{\theta} L$	对 θ 的各分量求 $L(\theta)$ 的偏导数
$R(\alpha_i)$	$R(\alpha_i x)$ 的期望值
$p(\theta)$	未知参数的先验分布密度
$R(\hat{\theta} X)$	$\hat{\theta}$ 的条件平均风险
$R(\hat{\theta})$	$\hat{\theta}$ 的贝叶斯统计风险
$L(\hat{\theta} \theta)$	损失函数
$p(\theta X)$	θ 的后验分布密度
$S = \varphi(X)$	充分统计量
$g(S, \theta)$	核密度
$\bar{g}(S, \theta)$	规范化核密度
$\hat{p}_n(x)$	$p(x)$ 的第 n 次估计
$\varphi(\mu)$	窗函数
V_n	超立方体体积

第 7 章

$u_{ij}(x)$	对数似然比函数
η_i	$u_{ij}(x)$ 的均值
σ_i^2	$u_{ij}(x)$ 的方差
$\Phi(\xi)$	$y < \xi$ 的概率, $y \sim N(0, 1)$

$h(\mathbf{x}) = -u_{ij}(\mathbf{x})$

负对数似然比

$\varphi_i(s)$

第 i 类的特征函数

$\mu(s)$

$\varphi_i(S)$ 的负对数

$P(e|\mathbf{x})$

在样本 \mathbf{x} 条件下的分类错误率

J_B

Bhatta charyya 系数

$p(\mathbf{x}_j|\mathbf{x}_i)$

条件分布密度

$P_{1-NN}(e)$

1-NN 规则的错误率

$P_{Bayes}(e)$

贝叶斯分类方法的错误率

$P_{k-NN}(e)$

k-NN 规律的错误率

$P(e|m, \pi)$

特征空间分块技术估计的错误率

第 8 章

$p(X|\theta)$

混合密度,即混合类概率密度函数

$p(X|\omega_j, \theta_j)$

分量密度,即类概率密度函数

$P(\omega_j)$

混合参数,即类型 ω_j 的先验概率

$u(\theta) = p(X|\theta)$

似然函数

$L(\theta)$

对数似然函数

第 9 章

$D_e(\mathbf{x}, \mathbf{y})$

模式向量 \mathbf{x} 与 \mathbf{y} 之间的欧氏距离

$D_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$

模式向量 \mathbf{x} 与 \mathbf{y} 之间的明氏距离

$S(\mathbf{x}, \mathbf{y})$

样本 \mathbf{x} 和 \mathbf{y} 之间的角度相似性度量

$S_i(\mathbf{x}, \mathbf{y})$

Tanimoto 度量

J_e

误差平方和聚类准则函数

J_i

加权平均平方距离和准则

J_{b1}

类间距离和准则

J_{b2}

加权的类间距离和准则

S_i

总散射矩阵

J_1, J_2, J_3, J_4

由散射矩阵导出的聚类准则函数

α_{ik}

\mathbf{x}_i 和 \mathbf{x}_k 之间的近邻函数值

r_{ij}

类型 ω_i 与 ω_j 的样本之间最小近邻函数值

r_{ik}

类型 ω_i 与其它类所有样本之间的最小近邻函数值

L_{iA}

类内损失

β_i	类间损失
L_{IR}	总类间损失
J_{nn}	近邻函数值准则函数
$Z_i(I)$	第 i 类聚合中心, I 为循环次数
$D(x_k, Z_i(I))$	样本 x_k 与聚合中心的距离
\bar{D}_i	类内距离平均值
D	类内总平均距离
σ_j	j 类聚合的标准偏差
D_{ij}	第 i 类聚合中心与第 j 类聚合中心的距离
$\Gamma = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_c\}$	聚合集, $\Gamma_i (i = 1, 2, \dots, c)$ 为聚合 i 中的样本子集
$K = \{K_1, K_2, \dots, K_c\}$	核集
$\Delta(x_k, K_i)$	样本 x_k 与核 K_i 的相似性
$K_i(x_k, V_i)$	核函数
J_k	样本与核相似性聚类准则函数
$\text{Sum}(K)$	样本 x_k 各维数据和

第 10 章

E_R	模式空间
$J(\cdot)$	准则函数
$P(i)$	灰度级 i 出现的概率
M_r	灰值分布对原点的 r 阶矩
μ_r	灰值分布的中心矩
s	度量图象灰值分布偏离对称情况的偏度(扭曲度)
K	描述图象灰值分布是聚集在均值附近还是散在端尾的峰度
CON	方向差分的反差
ASM	角二阶矩
ENT	熵
MEAN	方向差分的均值
$D^{(\tau, \theta)}(x, y)$	方向差分
$M^{(\Delta x, \Delta y)}$	灰值共生矩阵

COR	描述 $M(\Delta x, \Delta y)$ 中行(或列)元素之间相似程度的相关系数
$M^{(g)}$	灰值游程矩阵
m_{li}	灰值游程矩阵的元素, g 表示灰值, l 表示游程长度
RF_1	短游程优势
RF_2	长游程优势
RF_3	灰值的不均匀性度量
RF_4	游程长度的不均匀性度量
RF_5	游程总数的百分率
M_{nn}	$m + n$ 阶原点矩
μ_{nn}	$m + n$ 阶中心矩
I_{nn}	$m + n$ 阶标准化中心矩
P_n	傅里叶系数
F_1	圆形度
F_2	细长度
F_3	散射度
F_4	凹度
F_5	形心偏差度
J_m	类内总平均平方距离
J_b	类间总平均平方距离
J_s	样本总平均平方距离
$J_{1,2}, J_{2,3}, J_{3,4}, J_{4,5}, J_5$	由散射矩阵导出的分类准则
J_C	由 Chernoff 界限确定的分类准则
J_B	Bhattacharyya 距离分类准则
$I_{ij}(x) = E[l_{ij}(x)]$	对数似然函数 $l_{ij}(x)$ 向类型 ω_i 提供的平均可分性信息
$J_D = I_{ij}(x) + I_{ji}(x)$	散度准则
$\binom{R}{d}$	由 R 维特征任选 d 维特征的组数
$a_i, i = 1, 2, \dots, n$	一组符号源
$J(a_i)$	符号源 a_i 的自身信息

$H_i(a_i)$

符号源 a_i 的熵

J_H

熵 H 的期望

$$\varepsilon_{\min}^2 = \sum_{k=d+1}^R \lambda_k$$

最小均方误差分类准则

R_x

x 的自相关函数

H_I

表示熵

H_P

总体熵

第 11 章

$A \times B$

集合 A 与 B 的笛卡尔积

2^A

集合 A 的全体子集的集合族

A, B, C, \dots

非终结符

a, b, c, \dots

终结符

u, v, w, x, \dots

仅由终结符构成的字符串

$\alpha, \beta, \gamma, \dots$

由终结符和非终结符混合构成的字符串

$|x|$

字符串 x 的长度

V

字母表; 符号的一个有穷集

V^+

V 的正闭包

V^*

V 的闭包

λ

空字符串

\emptyset

零字符串; 空集, 零集

$G = (N, \Sigma, P, S)$

文法; N 是非终结符的有穷集, Σ 是终结符的有穷集, P 是产生式的有穷集, S 是起始符。

$L(G)$

用文法 G 产生的语言集

\vec{G}

根据文法 G 给出的导出关系

\hat{G}

\vec{G} 的自返传递包; 表示使用零个或多个产生式

\bar{G}

\vec{G} 的传递闭包; 表示至少使用一个产生式

$G_t = (V, r, P, S)$

树文法; 字母表 V 是非终结符集 N 和终结符集 Σ 的并集, r 是秩函数, P 是树产生式集, S 是起始树集。

$L(G_t)$

由树文法 G_t 产生的语言集

$G_w = (N, \Sigma, P, S)$	网文法; N 是非终结符集, Σ 是终结符集, P 是网产生式集, S 是起始网符号。
$G_p = (N, \Sigma, P, S, I, i_0)$	交织文法; N 是非终结符集, Σ 是终结符集, P 是交织产生式集, S 是起始符 (叫做初始 NAPE), I 是标识符集, i_0 是零标识符。
$G_s = (N, \Sigma, P, I)$	形状文法; N 是非终结符集, Σ 是终结符集, P 是形状产生式集, I 是初始形状。
$G_r = (N, \Sigma, P, D, S)$	随机文法, N 、 Σ 、 P 和 S 定义与用于 G 时相同, D 是分配给 P 的概率。
$G_{sr} = (N, \Sigma, P, S)$	随机文法 G_s 的特征文法
$A_f = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$	有限自动机; Q 是有穷状态集, Σ 是有穷输入字母表, δ 是状态变换映射, q_0 是起始状态, F 是终态集。
$L(A_f)$	用自动机 A_f 识别的语言
$L(A_p)$	自动机 A_p 以终态识别的语言
$A_p = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, Z_0, F)$	下推自动机; Q 、 Σ 、 q_0 和 F 的定义与用于 A_f 时相同, Γ 是有穷堆栈字母符, δ 是状态转移/堆栈映射, Z_0 是初始堆栈符号。
$L_i(A_p)$	自动机 A_p 以空堆栈识别的语言
$P(q_j a, q_i)$	给定当前的输入符号 a 和当前的状态 q_i 时, 随机有限自动机进入状态 q_j 的概率, 对于自发动作, $a = \lambda_0$ 。
$A_{sr} = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, Z_0, F, D)$	随机下推自动机; Q 、 Σ 、 Γ 、 δ 、 q_0 、 Z_0 和 F 的定义与用于 A_p 时相同, D 是对 δ 的概率分配。
$L(A_{sr})$	自动机 A_{sr} 以终态随机地识别的语言
$L_k(A_{sr})$	自动机 A_{sr} 以空堆栈随机地识别的语言
R	文法推断的训练样本集
R^+	能产生 $L(G)$ 的样本子集
R^-	不能产生 $L(G)$ 的样本子集

目 录

第1章 绪论	1
1.1 模式识别的基本概念	1
1.1.1 模式与模式识别	1
1.1.2 模式空间、特征空间与类型空间	2
1.1.3 预处理	4
1.1.4 特征提取/选择	5
1.1.5 分类	6
1.2 模式识别系统	6
1.3 模式识别方法	8
1.4 随机向量及其分布	12
1.4.1 分布函数与参数	12
1.4.2 正态分布与性质	15
1.5 正交函数和正交变换	20
1.5.1 正交函数系	20
1.5.2 正交变换矩阵	24
习题	29
参考文献	30
第2章 模式的采集——二维信号的数字化	33
2.1 引言	33
2.2 图象模式的获取与描述	34
2.3 通过傅里叶变换把二维信号数字化	37
2.4 相关/卷积与卷积定理	42
2.5 采样定理	46
参考文献	50