

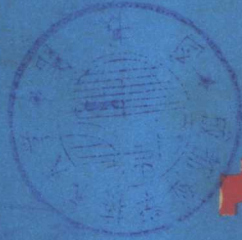
802494

计算机模式识别

统计方法

5987
7734

周冠雄 编著



华中工

37
34

社

计算机模式识别

·统计方法·

周冠雄 编著
邹海明 主审

华中工学院出版社

计算机模式识别（统计方法）

周冠雄 编 著

责任编辑 唐元瑜

华中工学院出版社出版
(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所发行
湖北省通城县印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：14.25 插页：2 字数：326,000

1986年4月第一版 1986年4月第一次印刷

印数：1—7,000（内精装200本）

统一书号：15255—047 定价：（平）3.15元
（精）3.90元

前 言

随着计算机科学的发展及计算机应用的普及，模式识别已经从一系列个别成果的积累，走向了学科化体系发展的道路。在国外，它不仅作为一个专门化的领域，而且已经成为许多专业的基础课程或技术基础课程；在应用领域中也正在受到越来越广泛的重视，并取得了相当丰硕的成果。在我国，这一发展趋势也是十分明显的。目前，相当数量的科技工作者正在这一领域中从事研究工作，而更多的人则迫切需要应用这一领域的知识来解决自己面临的信息处理课题。因此，编写与出版这方面的专著正在日益受到重视。

模式识别就其目前的发展而言，可以分为统计模式识别、结构模式识别及模糊模式识别三个分支。本书主要给出有关统计模式识别的方法及如何在计算机上加以实现的一个系统的总结。在我致力于该书写作的时候，国内仅有一本关于这方面内容的正式出版的中译本，这就是《统计图象识别导论》（福永圭之介著、陶笃纯译）。这本专著，对于统计模式识别来说，是具有奠基性意义的。当时，我就希望从技术学科体系的观点出发，尝试写作一本关于计算机模式识别的书。在这本书定稿后，北京大学数学系程民德教授等编著的《图象识别基础》问世了，这是国内首本关于模式识别的专著，它的数学论证细致而严密，全书颇有特色。然而，考虑到它与本书无论从体系结构、论述风格及内容取舍方面，都完全不同，所以，仍将本书献给读者。至于我的尝试是否成功，当然只能由同行专家和读者来鉴定了。

本书共十四章。第一章提示全书的基本概念和基本思想；第二章至第九章介绍各种不同的分类器的设计方法；第十章至第十二章讨论学习问题；第十三章论述模式的预处理；第十四章介绍模式的特征抽取方法。从模式识别系统设计的观点来看，读者应首先阅读第一章，接着是第十三章及第十四章，然后再阅读第二章至第十一章。书中之所以把预处理及特征抽取的内容放在最后，是考虑到许多模式识别的应用问题，其对象是数据模式，而不是图象模式，因而并不需要应用图象处理技术。当然，如果研究的对象是图象，那么，全书的内容都是必不可少的。

在本书的写作过程中，我希望数学方法的运用应能服从于学科体系建立的内在逻辑的需要。因而，书中并没有专门写入大量的数学预备知识或大量地介绍有关的数学基本结论及论证，以便更清晰地展示基本识别方法及其在计算机系统中加以实现的全过程。因此，作为阅读本书的前提，数理统计、线性代数及数学分析的基本知识，是必不可少的。如果读者已具有这些基本知识，甚至有些计算机科学与模式识别研究的实践经验，读懂这本书，应该是不困难的。

本书在取材方面，力求反映统计模式识别的基本方法，特别是具有实际应用价值的方法，以及最新的研究成果；当然也包含了本人在近年来的某些研究成果、体会和经验。为了便于理解与实际应用，在介绍各种识别方法时，除了理论上加以阐述之外，还给出了用计算机实现的程序框图。

最后，借本书出版之际，我希望对联邦德国的模式识别专家H. Niemann教授表示由衷的感谢，因为我曾得到他的帮助，并从他的论著和思想中，从我们对有关建立模式识别的理论体系等问题的共同讨论中，获得了良好的启迪和教益。我还要感谢中国计算机学会教育分会主席、华中工学院自控计算机系主任邹海明教授，因为他认真地审阅了全书，另外，该系

计算机模式识别与人工智能研究室的同事们，特别是钟春香副教授、龚向阳副教授，对本书的编写也作出了贡献。该校外语系李梅讲师，提供了该书所引用的许多德文文献的翻译资料。在该书的编写与出版过程中，华中工学院自控计算机系的领导给予了热情的支持和鼓励，华中工学院出版社为本书的出版给予了大力的支持。在此一并致谢。作为本书姐妹篇的拙著《计算机模式识别（结构方法）》也将由该出版社出版。

由于本人水平所限，书中错误在所难免，敬请读者指正。

周 冠 峰

1984年11月于华中工学院

内 容 提 要

本书是一本关于计算机模式识别的专著，它从计算机模式识别学科体系的内在逻辑出发，建立其基本概念并展开论述。

全书共十四章，包括导言、模式的预处理、模式特征的抽取、统计分类器、几何分类器、线性分类器、非线性分类器、非参数分类器、多项式分类器、回归分类器、其他类型的分类器、有人管理的学习、无人管理的学习以及决策管理的学习。内容丰富、取材新颖、论述严谨，且兼顾了学科体系理论的完整性与实用性。每一预处理、特征抽取及分类器设计方法均有详尽而明确的介绍，并同时给出了用计算机实现的程序框图。

本书可供模式识别专业及计算机、信息处理、自动控制、人工智能、经济管理、应用数学等专业的科研教学人员、研究生、大学生和其他领域中对模式识别的应用感兴趣的科技工作者及有关人员作为教科书或参考书。

目 录

第一章 导 言

- 1.1 一般论述..... (1)
- 1.2 基本概念..... (2)
- 1.3 基本原则..... (5)
- 1.4 分类系统及分析系统的结构..... (7)
- 1.5 应用情况与前景..... (8)
- 1.6 一个模式分类的例子..... (9)

第二章 统计分类器

- 2.1 问题和思想..... (18)
- 2.2 最优分类器..... (19)
- 2.3 最优分类器的特殊形式——Bayes分类器..... (21)
- 2.4 统计分类器的错误概率..... (23)
- 2.5 正态分布特征向量的统计分类器..... (24)
- 2.6 正态分布特征向量统计分类器的特殊形式..... (26)
- 2.7 拒分类准则..... (27)
- 2.8 损失函数及其设置..... (27)

第三章 几何分类器

- 3.1 问题和思想..... (30)
- 3.2 几何分类器的一般求解..... (31)
- 3.3 拒分类准则..... (34)

第四章 线性分类器

- 4.1 最小距离分类器..... (36)
- 4.2 加权最小距离分类器..... (37)
- 4.3 可调线性分类器..... (40)
- 4.4 可调线性分类器收敛性的证明..... (42)
- 4.5 逐段线性分类器..... (44)

第五章 非参数分类器

- 5.1 问题和思想..... (46)
- 5.2 m -最近邻分类器与最近邻分类器..... (47)
- 5.3 近邻分类器的错误概率..... (48)
- 5.4 实现近邻分类器时样本集 ω 的精简..... (52)
 - 5.4.1 CNN算法..... (52)
 - 5.4.2 RNN算法..... (52)
 - 5.4.3 类边界模式的确定..... (53)
 - 5.4.4 J. R. Ullmann算法(一)..... (53)
 - 5.4.5 J. R. Ullmann算法(二)..... (53)
 - 5.4.6 Chang Chin-Liang算法..... (54)
- 5.5 加权 m -最近邻分类器..... (56)

5.5.1	W-m-NN分类规则	(57)
5.5.2	权函数的一个具体形式	(58)
第六章	多项式分类器	
6.1	问题和思想	(60)
6.2	多项式分类器系数矩阵的计算(一)	(61)
6.3	多项式分类器系数矩阵的计算(二)	(63)
6.4	多项式分类器的性能	(64)
6.5	全平方多项式分类器	(65)
第七章	回归分类器	
7.1	δ -函数	(67)
7.2	回归分类器的一般求解	(68)
7.3	回归分类器的性能	(71)
7.4	线性回归分类器	(72)
7.5	线性回归分类器的性能	(73)
7.6	推广至多类问题	(74)
第八章	非线性分类器	
8.1	线性分类器实现分类的可能界限	(76)
8.2	非线性分离函数的一般形式及非线性分类器的一般结构	(78)
8.3	幂列分类器	(79)
8.4	位势分类器和加权位势分类器	(81)
8.5	一个非线性分类器设计举例	(83)
第九章	其他类型的分类器	
9.1	距离测量分类器	(87)
9.1.1	最小距离测量分类器	(87)
9.1.2	距离测量的最优校正函数和非线性正规化处理	(88)
9.1.3	计算最优校正函数及最优距离的动态程序设计方法	(90)
9.2	序贯分类器	(91)
9.3	决策树及分层分类器	(92)
9.4	前后文分类器	(94)
9.5	网格灰度值特征向量的近旁关联分类器	(97)
第十章	有人管理的学习	
10.1	关于学习问题的一般论述	(100)
10.2	在类别可分离样本集下有人管理的学习	(101)
10.3	在类别不可分离样本集下有人管理的学习	(102)
10.4	统计分类器的有人管理的学习	(104)
10.5	Aizerman 学习分类器	(107)
10.6	变换模式法	(111)
10.7	概率下降法	(115)
第十一章	无人管理的学习	
11.1	聚类分析方法的一般论述	(117)
11.2	类别均匀性准则	(119)
11.3	混合分布的鉴别方法(统计分类器的无人管理的学习)	(122)
11.4	正态分布特征向量统计分类器的无人管理的学习	(123)

第十二章 决策管理的学习

- 12.1 一般论述(126)
- 12.2 决策管理的学习的最大似然算法(128)
- 12.3 通过有人管理的学习算法实现决策管理的学习(129)

第十三章 模式的预处理

- 13.1 模式的计算机表示, 扫描定律(134)
- 13.2 模式的改善(137)
 - 13.2.1 平滑处理(133)
 - 13.2.2 反差增强及边缘陡度的提高(141)
 - 13.2.3 模式改善的非线性方法(144)
- 13.3 阈值处理, 二值图象的产生(147)
 - 13.3.1 灰度直方图方法(147)
 - 13.3.2 Chow-Kaneko算法(148)
 - 13.3.3 最优阈值算法(149)
 - 13.3.4 由灰度值的振幅来确定阈值(150)
 - 13.3.5 确定阈值的聚类分析方法(151)
- 13.4 边缘检测(154)
 - 13.4.1 微分方法(154)
 - 13.4.2 腐蚀与膨胀并行的非线性边缘检测(156)
 - 13.4.3 客体外部轮廓线的跟踪(157)
 - 13.4.4 拉普拉斯算子方法(157)
 - 13.4.5 Sobel算法(158)
 - 13.4.6 Rosenfeld 算法(159)
 - 13.4.7 均衡平面方法(160)
 - 13.4.8 依据优化准则的边缘近似(161)
- 13.5 一个分离客体的表格分析方法(163)
 - 13.5.1 定义和例子(163)
 - 13.5.2 算法描述(164)
 - 13.5.3 算法执行的效果(166)
- 13.6 模式编码(166)
 - 13.6.1 方向链码(167)
 - 13.6.2 行程编码(167)
- 13.7 模式的正规化处理(168)
 - 13.7.1 目的和任务(168)
 - 13.7.2 模式大小的正规化处理(169)
 - 13.7.3 模式位置的正规化处理(170)
 - 13.7.4 模式的细化处理(172)
 - 13.7.5 模式能量的正规化处理(173)

第十四章 模式特征的抽取

- 14.1 一般论述(175)
- 14.2 模式依据正交归一化函数系的展开(176)
- 14.3 Fourier 展开式系数特征(178)
- 14.4 离散Fourier 变换及其在特征抽取中的应用(179)

14.5	Walsh变换及其在特征抽取中的应用	(181)
14.6	矩特征	(184)
14.7	循环自相关特征	(185)
14.8	互相关特征	(187)
14.9	几何特征量	(188)
14.10	Karhunen-Loeve 展开, 依据给定准则的最优特征的抽取	(190)
14.11	依据错误概率的最优线性特征选择	(195)
14.12	线性预测方法	(200)
14.13	特征空间维数的压缩, 保持结构的变换	(202)
14.14	模式变换及其齐次坐标描述	(207)
14.14.1	齐次坐标	(207)
14.14.2	模式的相似、平移和旋转变换	(209)
14.14.3	投影	(211)

参考文献

1. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

2. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

3. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

4. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

5. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

6. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

7. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

8. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

9. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

10. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

11. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

12. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

13. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

14. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

15. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

16. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

17. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

18. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

19. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

20. 李德发, 李德发. 模式识别. 北京: 人民邮电出版社, 1985.

第四十卷

()	1-81
()	2-81
()	3-81
()	4-81

第一章 导 言

1.1 一般论述

随着电子数字计算机的发展,人类有可能研究复杂的信息处理过程。信息处理过程的一个有趣而重要的形式是生命体对环境及客体的识别。对于人来说,特别重要的是对光学信息(通过视觉器官来获得)和声学信息(通过听觉器官来获得)的识别。借助于某些特别的遥感装置的帮助,人们还可以获取遥感信息,如红外遥感与微波遥感信息。对遥感信息的识别,并不是人类本身所具有的能力,它必须借助于电子计算机的帮助才能实现。

人类每一有目的的行为,都必然导致识别。每一次识别都意味着处理客体的上述信息的一个庞大的集合,即或者是光学模式的集合,或者是声学模式的集合,或者是遥感模式的集合。只是,对于人的个体来说,这一处理过程基本上是无意识地进行的;过程中所涉及的算法也基本上未知的。于是,研究人类识别能力的机理就成为现代科学发展的一个异常活跃的领域。近年来,这方面的研究大体上是沿着两个方向进行的。其一是关于人类对客体的识别能力的数学技术机理研究,其二是关于人类对客体的识别能力的数学生物学机理研究。前者构成了“模式识别”这一新学科领域的全部研究和发展活动,后者则属于生物控制论、现代生理学及现代心理学范畴的任务。因此,可以认为,“模式识别”是研究人类识别能力的数学模型并借助于电子计算机在技术上实现其模拟的科学。应该指出,尽管模式识别已经在众多领域中得到了较为广泛的研究和应用,但其学科化的发展也还是最近十多年的事。人们需要时间来总结已有的经验,并应用经典的数学方法及新的数学成果,逐步地使其系统化。因此,尽管目前已经有了若干可以称之为是奠基性的著作,但致力于建立一个完整的学科体系的努力并未结束。许多科学家都在使用自己的概念去建立自己的体系。随着经验成果的不断丰富,模式识别的学科体系也肯定会逐步完善,这已经是学科发展的规律。

随着“模式识别”学科的产生和发展,关于“机器能否思维”的哲学命题的讨论也日趋热烈,并肯定会继续下去。回答这个问题,并不单纯是模式识别学科本身的任务。但有一点是肯定的,直至今日,不存在一个自然法则,排除用机器来模拟人的识别能力。而且,象生命体的器官所证明过的那样,目前已经发展了一系列计算机识别系统,在规定的范围内,达到或超过了人的识别效能。因此,上述哲学命题的讨论,不应使我们感到困惑。实际上,在模式识别中,首先关心的是模拟生命体的识别能力,而不是对生命体有关器官在实现这种识别能力时所运用的算法的机械复制。了解这一点是非常重要的,因为两者之间在科学方法论上具有明显的差异。当然,对后者的了解有助于前者的实现,但前者并不等同于后者。这种关系的一个很好的例子是鸟和飞机。两者都说明,飞行是可能的,而且都应用了“上升”的物理原则,后者可以视为前者的模拟,但飞机并不等同于鸟,因为两者的驱动方式是完全相异的。有了这种认识,人们就可以在科学的天地中发挥自己的想象能力,在已有数学工具和识别问题之间建立起联系的桥梁,而不致于陷入目前还无法解决的种种矛盾,因

为人脑在识别过程中矛盾运动的数学模式化仍然是尚待研究的课题，在可预见的将来也是不能完美解决的。

1.2 基本概念

在给出“模式识别”的研究对象及方法论的一般论述后，在本节中，将介绍下面一些重要的概念。

· 环境

因为识别的对象，相对于识别的主体来说，总是外部环境的表现(客体或客体的复合)，因此，必须对“环境”作出定义。对于识别的目的来说，“环境”理解为可测物理量的总体，并形式地表示为函数 $\rho b(x)$ 的集合，

$$U = \{ \rho b(x) \mid \rho = 1, 2, \dots \}. \quad (1.1)$$

显然，每一客体或客体的组合，都可以通过足够多经过适当选择的函数来描述，函数值说明空间和(或)时间中每一点的物理量。例如，固体的某些特性，是通过空间中任意一点的密度，有关化学成份的数据，表面的光线反射量和其他更多的量来描述的，一个电磁波可以用按时间和地点改变的场强向量来说明。因为 U 应该包括所有可能的函数，故向量 b 和 x 的分量个数应为待定，它们对于 ρ 的取值都是不同的。应该注意的是，并不存在着一个生物系统，能够理解整个环境；感官总是仅仅对其中的片断有反映，例如人的眼睛虽然具有巨大的能力，但仅能感觉并从而理解电磁波频谱的一小部分。因此，不应该致力于设计一个能够接收整个环境，或者是其中一大部分的识别系统。这种系统，在目前的条件下，不仅是不可想象的，而且在任何情况下都是无效率和不经济的。因此，出于模式识别的目的，人们总是严格地把研究问题限制在一个确定的范围内。

· 问题范围

一个问题范围，应该仅包含一个确定地限制了的应用领域的客体(函数)，它由函数 $\rho f(x)$ 的一个集合

$$\Omega = \{ \rho f(x) \mid \rho = 1, 2, \dots \} \subset U \quad (1.2)$$

来表示，它是环境 U 的一个子集。

区别于式(1.1)的是，在式(1.2)中，分量的数目对于所有的 $\rho f(x)$ 来说，应该是相同的。当然，一般地，这个数目对于不同的问题范围来说，也应该是不同的。这点，对于识别系统的具体设计来说，是尤其重要的。因为只有在相同分量的条件下，才能有效地规定识别的准则。作为模式识别中问题范围的例子，可以举出诸如手写阿拉伯数字的分类，签字的真实性检验，电子线路中线路元件及其连接关系的自动判读，或者对某种语言的句子进行自动理解等等。必须特别注意的是，每一问题范围 Ω 都要求相应的设备去测量其中出现的函数。反之，通过接收设备的选择，来自问题范围中的可测量(函数)的一个集合也将被确定。接收设备的选择对于其后的处理具有完全基本的意义，因为由接收设备所接收的这一集合的元素，将是识别系统工作的直接对象，即模式。

· 模式

集合 Ω 的元素称为模式，一个模式乃是一个函数

$$f(\bar{x}) = \begin{pmatrix} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_m(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{pmatrix}. \quad (1.3)$$

如前所述，对于一个确定的问题范围 Ω 来说， f 和 \bar{x} 的分量数目是常数。也就是说，下标 m 和 n 对于所有 $f(\bar{x})$ 来说，是不变的。例如，一个黑白照片由函数 $f(x, y)$ 所描述，函数值说明点 (x, y) 的灰度值，即 $m=1, n=2$ ；一个彩色电视图象由三个时间变化的函数（在红、绿、兰三个频谱域中） $f_r(x, y, t), f_g(x, y, t), f_b(x, x, t)$ 所组成，即 $m=3, n=3$ ；由麦克风转换成电压过程的语言或音响，仅是一个 $m=n=1$ 的时间函数。这些例子说明，不存在任何困难，它妨碍人们通过适当的函数来描述视觉和听觉的环境现象。并且，利用多光谱接收设备，则可能接收到人们用肉眼无法感觉到的频谱范围内的图片，例如，红外图片。这些图片，也可以通过选择适当的函数来加以描述。

• 模式识别

所谓模式识别，就是用数学技术方法来研究模式的自动处理和判读。属于这方面的任务有“模式分类”及“模式分析”。由于“模式”的概念上面仅仅是在广泛的意义上被定义，且“处理”和“判读”的概念也没有进一步明确，因而“模式识别”的概念，在这里也只是在广泛的意义上被定义了，其精确化的定义将借助于“分类”和“分析”概念的引入来给出。

• 分类

在模式分类中，每一个模式将视为简单模式并作为一个整体来观察，它不依赖于其他模式而被分到 k 个可能类别 $\Omega_\lambda (\lambda = 1, 2, \dots, k)$ 中的某一个类 Ω_k ，而且仅仅被分到一个类 Ω_k 。如果考虑到一个模式的拒识别，则把该模式对应于第 $k+1$ 类 Ω_0 。例如，一个或若干个印刷体字符的分类，孤立语音的分类，正常和非正常细胞的分类，都是典型的模式分类的例子。在这些例子中，模式相对来说都是比较简单的，类别的数目也是比较小的（一般地 $k \leq 300$ ）。在商用票证阅读机中（依据印刷体字符的分类方法设计），经常地有 $k \approx 14$ 。当然，也存在着一些范围较为广泛的分类任务，如指纹的分类。相对于印刷体字符来说，指纹有着复杂得多的结构。在档案部门的指纹索引卡片中，一般地存有上百万，甚至几百万人的指纹。因此，在指纹分类中，不仅类的数目，即对应于该指纹的可存疑问的人数是非常大的，而且还存在着一个从分类到分析的过渡。在简单模式的分类中，例如在字符分类中，其关键是在于，把具有确定意义的一个字符的所有可能的实现，分到同一类别，并把尚存疑问的模式分到拒识别类中。

• 类（或模式类）

在模式识别中，通常称满足条件

$$\left. \begin{aligned} \Omega_k &\neq \phi & K &= 1, 2, \dots, k, \\ \Omega_k \cap \Omega_\lambda &= \phi & \lambda &\neq K, \\ \sum_{K=1}^k \Omega_K &= \Omega & \text{或} & \sum_{K=0}^k \Omega_K = \Omega \end{aligned} \right\} (1.4)$$

的集合 $\Omega_k \subset \Omega$ 为类（或模式类）。对 Ω 来说，存在着许多不同的分解，它们均满足上述条件。但对于应用者来说，实际上仅对某些分解，甚至仅对其中的某一个分解感兴趣。在模式

识别中, 依据使用者的目的, 规定一个模式相似性的定义, 并依此来决定 Ω 的分解。于是, 同一个类的模式, 相互之间是相似的, 而不同类的模式, 相互之间是不相似的。一个类 Ω_x 含有问题范围 Ω 的模式的部分集合。例如, 在孤立语音的分类中, 如果类 Ω_x 表示词义为“启动”的语音, 则属于类 Ω_x 的模式(在这种情况下是时间函数 $f(t)$), 是不同说话者在不同的时间, 以不同的音强、音质和速度, 说出来的词语“启动”。这种分类, 在简单的命令识别系统中是常见的。在式(1.4)中, 要求所有的类是两两不相交的。这一要求, 对许多应用情况来说, 都是合适的。例如, 一个语音, 不能同时既是“启动”, 又是“关闭”。如果一个模式的两种解释都是可能的话, 则应对其拒识别。但是, 在某些模式识别问题中, 例如, 在社会学或心理学的调查中, 调查对象可能同时显示出不同类别的特征。在这种情况下, 或者取消两两不相交的要求, 或者引进混合类的概念, 使其包含那些同时具备多类特征的模式。这样, 类别间两两不相交的要求仍然得到满足。

包括在式(1.4)中的集合 Ω 的分解的一种特殊形式是分层分解。可以把式(1.4)理解为第一层次的分解, 组成部分集合 Ω_x 。在第二层次的分解中, 每一部分集合 Ω_x 本身继续分解为部分集合 Ω_{x_1} , 这一过程可以根据问题的需要在下一层次中继续执行。例如, 在第一层次中, 字符模式分解为数字、字母和特别符号; 在第二层次中, 数字分解为从0到9的十个类。类似地, 字母类和特别符号类可以继续分解。

• 简单模式

一个模式看作是简单的, 如果应用者仅对类别名称感兴趣, 且该模式可以作为一个整体来分类。

类代

• 复杂模式

一个模式看作是复杂的, 如果对于使用者来说, 仅仅给出一个类别名称是不够的, 或者模式作为整体来分类是不可能的。

显然, 上面关于简单模式及复杂模式的概念, 是与一个直观明了的事实相联系的, 它仅仅可以作为一种区别的依据, 而不是严格意义上的区别准则。例如, 单个的印刷体字符是一个较之彩色电视图象简单的模式; 一个孤立语音是一个较之关联语句简单的模式; 孤立的环境客体是一个较之环境场景简单的模式。直观上看, 复杂模式存在着一个较为复杂的结构。当然, 无论是简单的或者是复杂的模式, 都没有“纯粹的类型”, 两者之间存在着一种自然的过渡。这种分划, 取决于应用的特殊性和所使用的方法及使用者的观点。一般地, 简单模式是分类系统工作的对象, 而复杂模式则是分析系统工作的对象。

• 分析

在模式分析中, 对应于每一模式 $f(x) \in \Omega$, 将给出一个特别的符号描述。关联话语的自动理解, 地球远勘探中多光谱图象的判读, 电子线路中元素及连接关系的判别, 都是模式分析任务的例子。在上述例子中, 输出一个类别名是不够的, 因为它们对于使用者来说, 所提供的信息太少了。在电子线路图的分析中, 对于使用者的目的来说, 需要判别所有以准确的符号表示的电路元素, 它们之间的连接关系, 接线的终点等等(例如, 电阻 R_{10} , $2.5k\Omega$, 位于接线 v_4 之上, v_4 终结于点 p_4), 并在一个相应的数据结构中存贮起来。当然, 人们并不排除, 可以把某一个符号描述综合到一个类别名中。例如, 通过对一个电子线路图的分析, 可确定该线路是“ $\times \times \times$ 公司的 $\times \times \times$ 型彩色电视线路”。并以确定的类别名表示之。但这种情况可视为是分析信息的一个简略的表示形式。

既然分析的目的在于给出模式的一个符号描述, 因此, 必须根据应用的情况决定分析的目的。

的，从而确定哪些信息应该包含在一个描述中。一般地，一个符号描述，可以包括如下一些信息：

1. 模式的一个详尽的描述（如电子线路图的分析）。
2. 模式中所包含着的客体或现象的一张表（如航空照片中飞机场位置的估计）。
3. 模式在两次时间先后相接的拍摄中的改变的描述（如同在同一地区，一定时间间隔内所拍摄的两张多光谱图象中所出现的森林组成状况的改变）。
4. 一个复杂模式的分类（如在X光图片的分析中，给出一个“健康”、“有病”或“尚存疑问”的诊断）。

由于模式的多种多样性，及使用者的不同的目的，现在已经发展起来一系列不同的模式描述及判读的方法。下面，有必要对“描述”的概念作出说明。

• 描述

把一个模式（复杂模式）分解为简单的组成部分（简单模式），并指出它们之间的相互关系，称为一个模式的描述。

例如，在电子线路图中，模式的简单组成部分是诸如电阻、三极管等等，它们之间的相互关系是它们在线路中的连接关系。一般地说，这种描述是模式或模式中的重要部分的另一种形式的表示。因此，模式分析可理解为模式中信息的不同表示之间的一个变换（这个变换不一定以数学分析表达式的形式给出）。执行这样的一个变换的理由是，变换后的形式有利于其后的处理，且仅包含对使用者来说是最重要的信息。

1.3 基本原则

目前，模式识别已经发展了一系列不同的分类和分析方法。但是，在这些不同的方法中，所有分类和分析系统都是以某些共同的原则为基础的。了解这些原则，对于正确地掌握模式识别的研究方法，是非常重要的。我们把这些基本原则综合如下：

原则 1：应存在一个有代表性的样本集

$$\omega = \{f_1(x), \dots, f_N(x)\} \subset \Omega \quad (1.5)$$

可供使用，以收集有关问题范围 Ω 的信息。

这一原则反映了一个极其显然的事实，即人们不可能在对被系统处理的客体一无所知的情况下设计一个具体的系统。这里，重要的是，这一样本集应仅仅包含被关注的问题范围 Ω 的模式；另外，样本必须有代表性，即从样本集 ω 中抽出的结论，不仅应该适合于所有来自 ω 中的模式，同时也应该适合于至少是尽可能多的来自 Ω 的模式。如果有一个有代表性的样本集用于设计一个分类系统，那么，检验该系统的效果时，将不依赖于所处理的模式是否包含在样本集中。这意味着，对问题范围 Ω 来说，识别系统将具有高的识别效率。在模式识别中，一般认为，样本集 ω 所要求的容量 N ，仅仅依赖于模式的统计特性及所估计的参数的种类，而与模式接收时所造成的损失无关。一个可应用的识别系统，如果涉及到中值估计时，一般地，要求 $N_x = 300 \sim 1000$ ；涉及到方差及协方差估计时，要求 $N_x = 1000 \sim 10000$ 。

原则 2：一个模式应具备一个类的类属性特征。

原则 3：同类模式的类属性特征在特征空间中组成某种程度的聚合域，不同类别的特征所组成的区域是分离的。

系统地寻找满足上述原则的类特征，是模式识别中还没有一般地加以解决的问题。也就

是说，目前还没有找到一个算法，它依据给定的样本集及一个系统效能的度量产生特征，并使该度量达到最大值或最小值。但是，经验表明，至少存在着对于确定的问题范围来说是合适的特征，因此，在确定模式特征时，对问题范围进行深入的研究，依据经验来抽取模式特征是一个有效的方法。

相反地，本来意义上的分类问题，是已经解决了的，并且目前已有许多解决这个问题数学方法。由于模式的特征被理解为一个特征向量 \vec{c} 的分量 c_i ，因此，一个模式 $f(\vec{x})$ 的分类问题就意味着实现一个变换

$${}^o\vec{c} \rightarrow K \in \{1, 2, \dots, k\} \text{ 或 } {}^p\vec{c} \rightarrow K \in \{0, 1, 2, \dots, k\}. \quad (1.6)$$

其中， ${}^o\vec{c}$ 是由模式 $f(\vec{x})$ 提取出来的特征向量。

上述三个原则，是设计模式分类系统的基础，而对模式分析系统来说，除了原则1外，还建立在下述的原则4及原则5的基础上。

原则4：一个复杂的模式应能分解为简单的组成部分（模式元）。

原则5：同一问题范围的复杂模式应具有一种确定的结构，即模式元之间应该存在着一种确定的关系。这意味着，不是简单模式元之间的任何一个排列方式都能重新给出该模式，一个排列方式应由一种确定的关系来决定，并且在这种确定的关系下，相当数量的模式都可以用相对地少的模式元来描述。

在模式识别中，寻找合适的简单模式元的问题，同样地还没有一般形式的解。然而，已经有了一系列实验的结果和经验，说明至少对于确定的问题范围，存在着这样的模式元。例如，语音可以作为语言的简单模式元。对于模式结构特征的理解，同样存在着一系列有效的方法和结果。当然，在这个领域中还要作大量的研究。同时，还应指出，分类和分析并不是互不相关的两个领域，它们之间存在着共同性及彼此过渡；而且，分类方法是分析中处理模式元分类时的基本方法。

在模式类的定义中，曾经提及相似性的概念。相似性是模式分类和分析都需要应用的概念。下面的原则6，是模式相似性判别的依据。

原则6：两个模式是相似的，如果它们的特征或简单模式元仅有微小的差别。

在模式分类中，由于模式一般都是用数值特征来描述的，故这种差别可以用“度量”或确定的距离准则来定义。这时，所谓“微小的差别”，指的是测量值在一个阈值之下。同样地，这种思想也应用于模式分析中。例如，下面两个描述可被认为是相似的：

“该物长1.5米，黄色，2个轮子。”

“该物长1.5米，红色，2个轮子。”

它们的区别仅存在于一个简单模式元（颜色）中，而该模式元对于区别物体的类别是次要的。而下面的描述：

“该物长1.5米，黄色，2支桨。”

与前面第一个描述是相似性极小的。虽然它们也仅在一个模式元中表现出差异性，但该模式元对于区别物体的类别却是主要的。直观上，人们也将它们视为是由两类不同物体所产生的描述。在分类和分析中，人们都应当对相似性作出量的规定。这种规定的选择应依赖于问题范围及使用者的目的。由原则6可以看出，类特征及模式元的选择应该遵循一个原则，即使得应用者感兴趣的相似性能够从中表达出来。

1.4 分类系统及分析系统的结构

原则上，一个模式识别的分类系统都显示出一个分层的结构（图1.1）。它由若干分系统（或称为模块）所组成。它们执行确定的处理步骤或数学变换。模块 i 的输出同时作为模块 $i+1$ 的输入。一个这类结构的分类系统是较容易实现的，且可以逐块地加以实现和优化。具体来说，一般的模式分类系统分别由“模式接收”、“预处理”、“特征抽取”、“分类”、“样本学习”及“样本存贮”等分系统所组成（图1.2），并执行相应的操作。其中模块1及模块5为数据模块，模块2、模块3、模块4及模块6为程序模块。

对于一个模式分析系统来说，在一个分层系统中执行一系列固定的、次序不变的操作是无成效的。因而，模式识别中的分析系统，一般均应该具有一个可变动的结构（图1.3）。这个系统也同样地具有一系列模块去执行变换或操作，但并没有一个确定的顺序。这些操作的执行是由一个存贮直至目前为止已执行的算法的中间结果的数据库来控制的。一个特殊的控制模块决定对被处理的模式执行哪些操作。于是，一般地，执行操作的顺序依赖于被处理的模式。显然，图1.1所示的系统是图1.3所示系统的特殊情况。

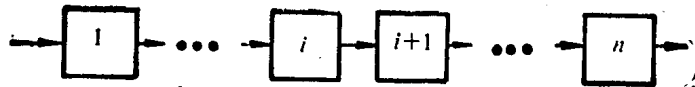


图 1.1

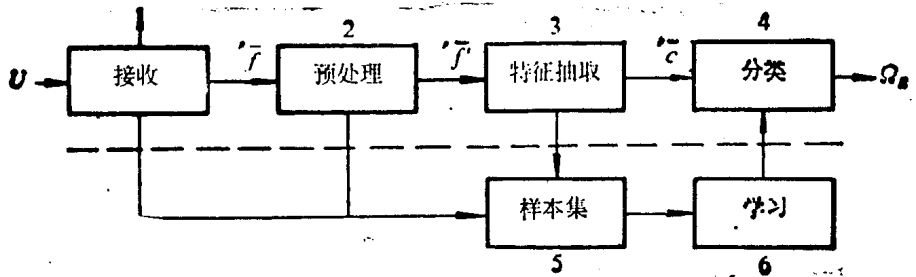


图 1.2

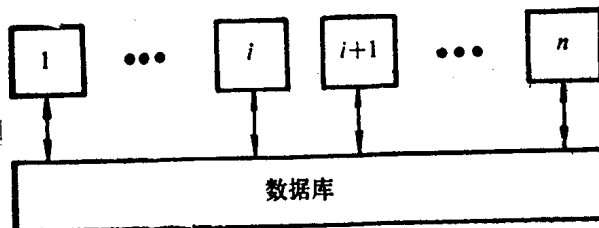


图 1.3