

句法模式识别

[美] R.C. 冈察雷斯 M.G. 汤姆逊 著
濮 群 徐凤家 徐光佑 译

清华大学出版社

句法模式识别

〔美〕 R.C.Gonzalez M.G.Thomason 著

濮 群 徐凤家 徐光佑 译



清华大学出版社

85.10

669

内 容 简 介

句法分析是模式识别领域中比较新的一种识别方法。在句法分析中，利用基元表示每一个模式，并根据给定的规则集分析模式的结构，实现对模式的识别。

原书是“应用数学和计算方法”丛书之一。它系统地介绍了句法分析中的基本理论、概念、方法和应用。特点是概念清楚，分析深入浅出，每讲一个复杂命题之后都有相应的例题阐明其中的概念，是学习句法模式识别的一本较好的教科书。

全书共分六章：引言，形式语言基础，高维文法，句法结构的识别和翻译，随机文法、语言和识别器，文法推断。

本书的读者对象为：计算机信息处理，自动化，无线电遥感，地球物理，生物工程等专业的大学教师，研究生，高年级学生，科学研究人员和工程技术人员。可以作为相应专业的教材或参考书。

Syntactic Pattern Recognition

句 法 模 式 识 别

[美] R.C.Gonzalez, M.G.Thomason 著

濮 群 徐凤家 徐光佑 译

★
清华大学出版社出版

北京 清华园

北京京辉印刷厂排版

北京京辉印刷厂印装

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

★

开本：787×1092 1/16 印张：12³/₄ 字数：300千字

1984年7月第一版 1984年7月第一次印刷

印数：00001~15,000

书号：15235·174 定价：2.70元

丛书编者的前言

现代数字计算机的运算时间是以毫微秒计量的，它们可以高速地、精确地求解数以百计的联立常微分方程。这样巨大的能力在解决人类所面临的科学、工程、经济以及社会等各个领域中的问题方面可以发挥多大的作用呢？显然，为了回答这个问题，人们已经作出了巨大的努力。

在某些领域里，目前还不可能写出一个数学方程式来精确地描述所研究的过程。在这种情形下，有可能简单地用计算机模拟一个过程和可能以此来观察不同控制过程的效能。在其他领域里，虽然有可能求得数学描述，但是要求出方程的数值解常常是很困难的。在这种情形下，我们也许直接面对这些困难，并有可能克服它们。或者另辟蹊径，我们去寻找一种更加适合于计算机固有能力的表达式。数学本身促进了这些研究，而反过来，这些研究又促进了数学的发展。

计算机的速度和内存容量每提高一个数量级都要求重新考查计算技术和重新估价在这个领域中可能解决的新问题。这套丛书的各卷将说明有关问题公式化、数学分析和计算处理方面流行的观点。

自动机和形式语言理论是研究数字机及其处理能力的基本手段之一。句法模式识别对这些理论进行了改革，并在模式类基本结构知识的基础上，利用这种理论发展了一种模式识别方法。本书中的资料可以用于以下几个领域：物理学、生物和医学科学、应用数学和统计学，以及计算机科学和工程，其中包括图象处理、景物分析和人工智能。本书着重于介绍模式识别和机器学习中所用到的形式语言和自动机的基本理论。这是这种内容的第一本引导性质的教科书。

序 言

本书是给从事模式识别、数字图象处理、和人工智能方面工作的学生、工程师以及科学工作者写的。我们就句法模式识别的概念和方法作了一个综合性的介绍。

句法模式识别利用形式语言和自动机理论给出了模式类中结构关系的模型和描述。这和古典决策理论方法不同。按决策理论方法,识别一般是严格地在数量的基础上进行的,并不明确地利用结构方面的信息。而描述结构的能力在某些领域里具有特殊的重要性。这些领域包括图象模式识别,景物分析以及各种应用,在这些应用领域中基本要素和基本要素之间的关系是最关键的特性。

形式语言理论的起源可以追溯到五十年代中期乔姆斯基 (NOAM CHOMSKY) 关于文法数学模型的研究,这是他在自然语言方面的工作。语言学家在这个领域里的最初目标之一是发展一种可以描述自然语言,例如英语或法语的文法计算模型。他们希望,如果这点完成了的话,那么为翻译和问题求解的目的去“教会”计算机解释自然语言就会是一种比较简单的事。虽然大家都认为,至今这样的期望还没实现,但是在这个领域中研究工作的前景和涉及的范围,已经给其他一些领域(例如编译器设计、程序语言、自动机理论和模式识别)以相当大的冲击。在乔姆斯基作了这些最初的研究工作后不久,形式语言就被应用于模式识别。在六十年代初,出现了字母字符和人的染色体的自动分析。自从这些最初的应用以来,句法模式识别作为一个跨学科的研究和探索的题目,在各个领域里,例如工程学、计算机科学、信息科学、物理学、化学、生物学、医学和应用数学等领域里获得了蓬勃的发展。

有关句法模式识别的理论和应用的资料,大部分分散在各种技术杂志、会议录和专题研究报告中。因此,要从大量的有关文献中去提取作为句法模式识别理论基础的各种基本原理是件相当困难和化费时间的任务。这对于一个刚接触这门跨学科的人来说,更是如此。这本书的主要目的是介绍句法模式识别的基本概念和技术,并为今后在这个领域中的进一步研究和探索打下一个基础。为了达到上述目标,我们着重介绍那些我们认为是基本的,并在各个领域中都应用的,概念和技术。这些介绍着重在实际方面,而不是严格的理论方面,并且提供大量的例子以说明课文中所研究的原理。在本书中所涉及到的大部分论题,作者已在田纳西 (Tennessee) 大学的一年级研究生课程中教授过。我们也把一些在短期课程和讲习班中所用的经过仔细挑选的材料包括进来。某些技术学科,例如工程和计算机科学的高年级学生的数学程度,对学习这门课来说已经足够,因为他们在数学和概率论方面已有一些基本概念。

句法模式识别是由 Addison-Wesley 出版的三本一套丛书 Advanced Book Program 中的一本。其中第一本是模式识别原理 (Tou 和 Gonzalez 1974), 这本书详细地叙述了决策理论方法,并对句法模式识别理论作了初步介绍。第二本书是数字图象处理 (Gonzalez 和 Wintz 1977)。这本书包括了有关图象的增强、复原、编码和描述图象信息方面的内容。这三本书的主要目的是,对模式识别和图象处理的概念作一个统一的、入门性质的介绍,并把重点放在打好基础 and 符号的一致性上。

我们感谢在本书的编写中给予了直接或间接帮助的各位先生。尤其希望对 J.M. Googe,

R.T.Gregory, F.N. Peebles, E.L. Hall, A.Barrero, B.M. Moret, R.G. Gruber, 和G.C. Guerrant表示我们的感激之情。Vicki Bohanan, Ethel Wittenberg, Mary Bearden, Cathy Henn, Pat Patterson 和 Dianne Barnes 等在本书的打字和编辑工作中给予很多帮助, 也应该受到我们的感谢。此外, 我们对国家航空和空间局, 海军研究所, 橡树岭国家实验室, 美国火箭部队, 空间和火箭系统组织以及探索研究计划机构在我们的模式识别和图象处理方面的探索工作中所给予的赞助表示谢意。

符 号 表

下面是本书中用到的主要符号。每个符号列入到它们第一次出现的章节下。

符号	解释
第一章	
$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$	向量；也可以是模式或模式向量。
ω_i	第 i 个模式类。
$d_i(X)$	第 i 个模式类的判决函数。
G_i	适用于第 i 个模式类的文法。
第二章	
<i>iff</i>	当且仅当。
$A_1 \times A_2 \times \cdots \times A_n$	集合 $A_1, \dots, A_n$ 的笛卡尔乘积。
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。
$\Rightarrow_G$	根据文法 G 给出的导出关系。
$\overset{+}{\Rightarrow}_G$	$\Rightarrow_G$ 的传递闭包；表示至少使用一个产生式。
$\overset{*}{\Rightarrow}_G$	$\Rightarrow_G$ 的自反传递闭包；表示使用零个或多个产生式。
$J = (N, \Sigma, \Delta, R, S)$	句法引导的翻译系统； N 是非终结符的有穷集， Σ 是输

$\tau(J)$

$\Rightarrow_J$

$\Rightarrow_J^+$

$\Rightarrow_J^*$

入字母的有穷集, Δ 是输出字母的有穷集, R 是规则的有穷集, S 是起始符。

由系统 J 产生的翻译集。

用于系统 J 的翻译关系。

$\Rightarrow_J^+$ 的传递闭包, 表示至少使用一个翻译规则。

$\Rightarrow_J^*$ 的自反一传递闭包, 表示使用零个翻译规则或多于零个翻译规则。

第三章

$G_t = (V, \tau, P, S)$

$L(G_t)$

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

$G_p = (N, \Sigma, P, S, I, i_0)$

$G_h = (N, \Sigma, P, I)$

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

由树文法 G_t 产生的语言。

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。

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。

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。

第四章

$A_t = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$

$L(A_t)$

$A_p = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, Z_0, F)$

$L(A_p)$

$L_1(A_p)$

A_{dp}

$J_t = (Q, \Sigma, \Delta, \delta, q_0, F)$

(J_t)

$J_p = (Q, \Sigma, \Gamma, \Delta, \delta, q_0, Z_0, F)$

$\tau(J_p)$

$\tau_1(J_p)$

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。

用自动机 A_t 识别的语言。

下推自动机; Q, Σ, q_0 和 F 的定义与用于 A_t 时相同, Γ 是有穷堆栈字母表, δ 是状态转移/堆栈映射, Z_0 是初始堆栈符号。

自动机 A_p 以终态识别的语言。

自动机 A_p 以空堆栈识别的语言。

确定的下推自动机。

有限翻译器; Q, Σ, q_0 和 F 的定义和用于 A_t 时相同, Δ 是有穷输出字符表, δ 是状态转移/输出映射。

被翻译器 J_t 定义的翻译集。

下推翻译器; $Q, \Sigma, \Gamma, q_0, Z_0$ 和 F 的定义和用于 A_p 时相同, Δ 是有穷输出字符表, δ 是状态转移/堆栈/输出映射。

翻译器 J_p 以终态定义的翻译集。

翻译器 J_p 以空堆栈定义的翻译集。

CH

串中的符号改变错误。

DE

串中的符号丢失错误。

IN

串中的符号插入错误。

$A_t = (Q, F, \{f_a | a \text{ 在 } \Sigma \text{ 中}\})$

从树缘到根的树自动机; Q 是有穷状态集 F 是终态集, f_a 是对终结符 a 的状态分配关系。

第五章

$G_s = (N, \Sigma, P, D, S)$

随机文法; N, Σ, P 和 S 的定义与用于 G 时相同, D 是分配给 P 的概率。

$G_{s,c} = (N, \Sigma, P, S)$

随机文法 $G_s = (N, \Sigma, P, D, S)$ 的特征文法。

$S \xRightarrow[p(x)]{*} x$

表示存在一个具有概率为 $p(x)$ 的串 x 的最左导出。

G_L

线性随机文法。

G_{NL}

非线性随机文法。

M

马尔可夫链的转移矩阵。

M_t

马尔可夫链的基础矩阵。

B

多类型分支过程的一阶矩矩阵。

$A_{s,t} = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F, D)$

随机有限自动机; Q, Σ, δ, q_0 和 F 的定义与用于 A_t 时相同, D 是对 δ 的概率分配。

$P(q_i | a, q_1)$

给定当前的输入符号 a 和当前的状态 q_1 时, 随机有限自动机进入状态 q_i 的概率, 对于自发动作, $a = \lambda$ 。

$L(A_{s,t})$

自动机 $A_{s,t}$ 随机地识别的语言。

f

随机文法的终向量。

n

随机文法的归一化向量。

$A_{s,p} = (Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, Z_0, F, D)$

随机下推自动机; $Q, \Sigma, \Gamma, \delta, q_0, z_0$ 和 F 的定义与用于 A_p 时相同, D 是对 δ 的概率分配。

$p(j | q_1, a, z_1)$

给定当前状态 q_1 , 当前输入符 a , 和堆栈顶端的符号 z_1 时, 随机下推自动机选择 (q_j, x_j) 的概率。其中 q_j 为下一个状态; x_j 为代替堆栈顶上符号 z_1 的串; 对自发动作, $a = \lambda$ 。

$L(A_{s,p})$

自动机 $A_{s,p}$, 以终态随机地识别的语言。

$L_\lambda(A_{s,p})$

自动机 $A_{s,p}$, 以空堆栈随机地识别的语言。

$Js = (N, \Sigma, \Delta, R, S, D)$

随机句法引导的翻译系统; N, Σ, Δ, R 和 S 的定义与用于系统 T 时相同, D 是对 R 的概率分配。

第六章

R^+

正样本集。

R^-

负样本集。

$A_1 \equiv A_i$

非终结符 A_1 和 A_i 等价。

T_i

第 i 个树。

目 录

丛书编者的前言	1
序言	2
符号表	4
第一章 引言	1
1.1 背景	1
1.2 模式和模式类	1
1.3 研究模式识别的方法	7
1.3.1 决策理论方法	7
1.3.2 句法分析方法	8
1.4 模式识别系统的基本原理	10
1.5 小结	11
参考文献	11
第二章 形式语言基础	12
2.1 引言	12
2.2 串文法和语言	12
2.2.1 初步定义	12
2.2.2 文法的类型	17
2.3 模式语言和文法的例子	20
2.3.1 染色体文法	20
2.3.2 图形描述语言	22
2.4 等价的上下文无关文法	28
2.4.1 无循环的文法	28
2.4.2 没有无用符号或产生式的文法	31
2.4.3 具有标准形产生式的文法	32
2.5 句法引导的翻译	36
2.6 确定的, 不确定的和随机的系统	39
2.7 小结	40
参考文献	40
第三章 高维文法	41
3.1 引言	41
3.2 树文法	41
3.2.1 定义	41
3.2.2 扩展树文法	43
3.3 网文法	46

DL81/19

3.3.1 图论中的某些概念	46
3.3.2 网文法	47
3.3.3 几个例子	48
3.4 交织文法	52
3.4.1 结构方式	52
3.4.2 几个例子	51
3.5 形状文法	58
3.6 小结	60
参考文献	60
第四章 句法结构的识别和翻译	61
4.1 引言	61
4.2 串语言识别器	61
4.2.1 有限自动机	61
4.2.2 下推自动机	67
4.3 句法引导的简单翻译自动机	73
4.3.1 有限翻译器	74
4.3.2 下推变换器	79
4.4 串语言分析	84
4.4.1 引言	84
4.4.2 句法分析	84
4.4.3 库克—杨格—卡塞米分析算法	87
4.4.4 转移图方法	88
4.4.5 算子优先文法	91
4.5 有缺陷串的识别	94
4.6 树自动机	100
4.6.1 简单说明	101
4.6.2 一个例子	102
4.7 小结	110
参考文献	111
第五章 随机文法, 语言及识别器	112
5.1 引言	112
5.2 随机文法与语言	112
5.3 随机上下文无关文法的相容性	116
5.3.1 线性文法的相容性	116
5.3.2 非线性文法的相容性	119
5.4 随机识别器	120
5.4.1 随机有限自动机	120
5.4.2 随机下推自动机	127
5.5 随机句法引导的翻译器	129

5.6	适于处理变符号错误的修正库克—杨格—卡塞米分析算法	133
5.7	小结	136
	参考文献	137
第六章	文法推断	138
6.1	引言	138
6.2	正则文法的推断	138
6.2.1	借助于教师的推断	138
6.2.2	以发现 R^+ 集中串的迭代规则为基础的推断	142
6.2.3	通过综合有限自动机进行推断	143
6.3	上下文无关文法的推断	147
6.3.1	借助于教师的推断	147
6.3.2	算子优先文法的推断	149
6.3.3	中枢文法的推断	153
6.4	树文法的推断	155
6.4.1	预备定义	155
6.4.2	推断方法	158
6.4.3	例	161
6.5	随机文法的推断	166
6.5.1	学习产生式概率	166
6.5.2	随机有限自动机的推断	170
6.6	小结	173
	参考文献	173
	参考文献	174
	译名对照表	181

第一章 引言

1.1 背景

自从六十年代中期第三代数字计算机出现以来,我们亲眼看到了在工业部门、政府部门以及私人部门中,人们明显地增加了对与管理信息有关的问题的关心。出于计算机成本降低,用途增加,这就打开了广阔的研究和应用领域。而这些领域就在几年以前还不为人们所认识,这些领域之一是用机器完成“智能”任务。通常这样的任务都和人的行为有关。

虽然我们自己还没有自觉地意识到,但是,显示出一定程序智能的机器正成为我们生活中不可分割的部分。从超级市场中的自动化检验柜台直到智能机器在卫生护理和国防方面的应用,可以举出许多例子来说明这一点。研究机器智能的动机是简单的。从社会经济学的观点来看,我们的目的是在提高劳动生产率和降低成本的同时提供更多的服务。在其他的领域,例如国防和空间探索,人们对研制这样的系统感兴趣;由于这种系统所要求的复杂程度和它的工作条件范围,只有利用有自动决策能力的机器才能完成这样的系统的功能。

模式识别是用于机器智能领域中的最重要工具之一,可以这样定义模式识别:从不相关的细节背景中,抽取数据的有意义的特征或者属性,根据这些特征和属性对数据进行分类,把特征或属性相同的数据归成同一类。

识别被认为是人类和其他生物的一个基本属性。根据所识别的模式性质,我们可以把我们的识别活动分成两个主要类型:具体项目的识别和抽象项目的识别。我们识别字符、图画、音乐和我们周围的事物,这些识别过程可被称为是感觉识别。感觉识别包括了视觉和听觉模式识别。另一方面,我们可以不靠外界的感官刺激而识别一个古老的论点或者某个问题的解答。这个过程涉及到抽象项目的识别,并可正式地称作概念的识别。在本书中,只涉及模式识别的第一种类型。具体模式的例子有字符、指纹、具体的物体、图画、语言波形、心电图、靶标记图和时间序列。

模式识别问题研究合乎逻辑地分成两大类:1.研究人类和其他生物的模式识别能力。2.研究与用机器完成识别任务有关的基本理论和实用技术。

第一类课题属于心理学、生理学、生物学这样的一些学科范畴。第二类课题将在以下几章中叙述。它属于工程学、计算机科学和应用数学的范畴。

1.2 模式和模式类

在本书中,模式是一个物体或者某些其他感兴趣实体的定量的或者结构的描述。而模式类是具有某些共同特性的模式的集合。由机器进行模式识别的主要内容是研究一种自动技术,依靠这种自动技术,机器自动地和人尽可能少干预地把模式分配到它们各自的模式类中去。例如,我们考虑设计可以识别数字及字母的自动邮件分拣机问题。这时一共有37个模式类,26个字母以及10个数字,每一个都是一类,还有一个拒绝类,拒绝类适用于不能接受的字符。

字符识别机的功能是辨认每个输入，判定它是属于上述模式类中的哪一个。

用来生成机器可接受模式的具体描述方法，强烈地受识别系统的应用领域的影响。在上面所提到的字符识别问题中，典型的方法是利用光敏器件阵列把输入字符转换成二值的图象。

图1.1是量测方法的示意图。其过程如下：我们把图1.1(a)中所示的字符投影到一个光敏器件的陈列上去，就是图1.1(b)中所画的情况。当矩阵网格包含有足够大的字符面积时，这个网格的响应是1，否则，这个网格的响应是0，结果输入字符被转换成一个二值的图象。

图1.1(c)是一个典型的图象。图上打阴影的网格对应于1，白色的网格对应于0。

将得到的数据排列成模式向量形式常常是很方便的。

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

其中 n 是量测的数目。例如，在图1.1中，如果量测网格的大小是 $m \times m$ ，则我们就得 $n = m^2$ ，而向量 X 的每个分量 x_i 取1值还是取0值，取决于网格上第 i 个单元的具体输入的污态。

图1.2中是另一个例子。这时研究的对象是时间变量 t 的连续函数（例如是声音信号）。如果在离散点 $t_1, t_2, \dots, t_n$ 对这个函数进行采样，只要让 $x_1 = f(t_1)$, $x_2 = f(t_2)$, $\dots$, $x_n = f(t_n)$ 就可以形成模式向量。在这个特定的图象中， X 的分量在函数值范围内是一个实连续量，这和图1.1的量测示意图不同，那儿得到的结果是二值的。

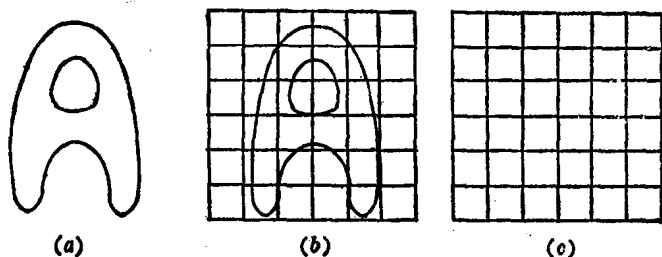


图1.1 (a)字符, (b)量测网格, (c)最后得到的二值模式

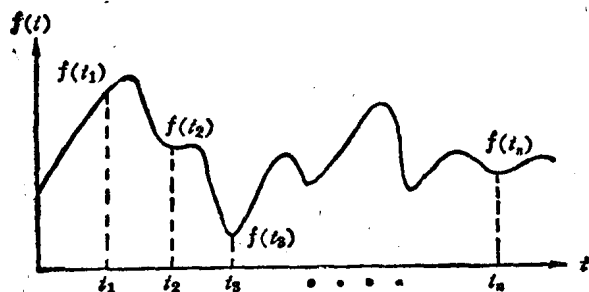


图1.2 波形的采样

可以把上述形式的向量解释为 n 维欧几里得空间中的点。由于大多数对象的形状的变化性，属于同一类的模式向量很少相同。这种固有变化性导致我们把模式类解释为是“云团”或是 n 维空间中“点的集群”。图1.3是这种概念的一个二维说明。所示模式是三种鸢类植

物的两项量测”。这时，模式向量的形式是

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

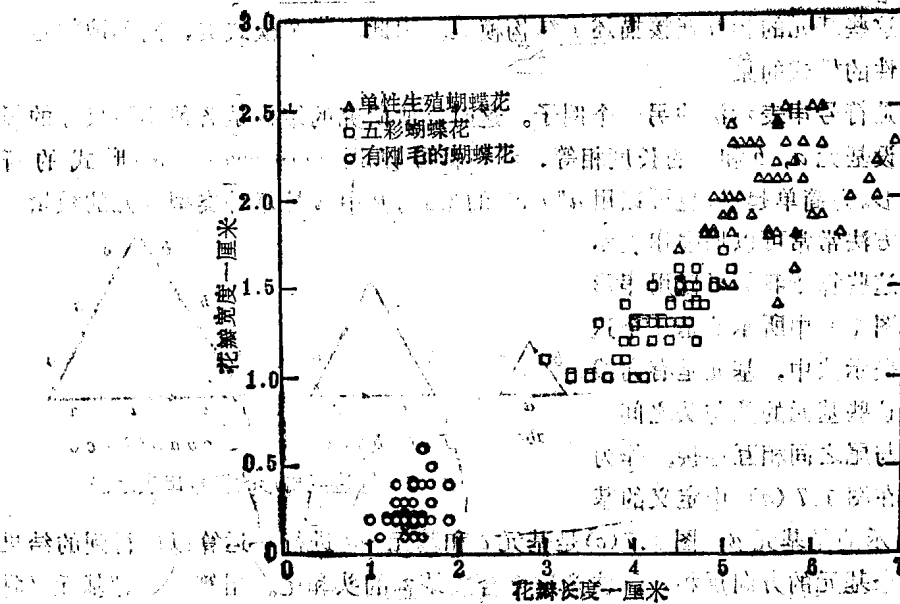


图1.3 对三类鸢类植物所作的二项测量

上式中 x_1 是花瓣的长度， x_2 是花瓣的宽度。由于在同一种花的内部，花瓣的长度和宽度有变化，使每一类出现了散布。值得注意的是，这两项量测指标非常适合于把有刚毛的蝴蝶花类跟其他两类花区分开，但是在把单性生殖蝴蝶花和五彩蝴蝶花分开时，却不那么有效。

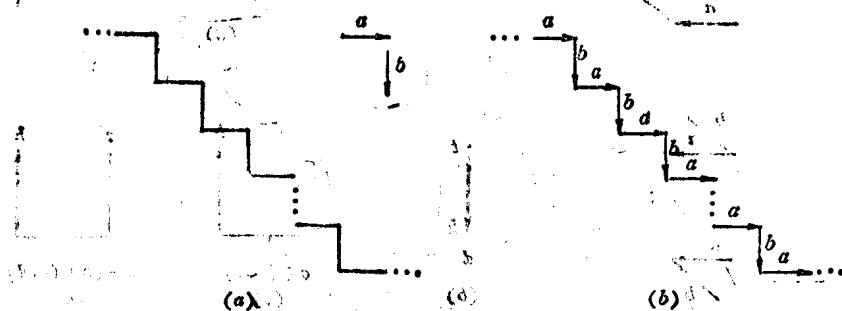


图1.4 (a)阶梯结构，(b)用基元a和b对结构进行编码以产生串表示式...ababab...

上述产生模式向量的方法，可以得到以数量信息为特征的模式类。在某些应用中，例如用机器分析图象数据时，却要借助于结构关系，才能最好地描述所研究模式的各部分的特征。例如，我们来研究图1.4(a)的简单阶梯结构，用图1.1上的数字化方法，很容易就把这种结构编码成模式向量形式。但是，要指出的是，如果我们利用这个特殊几何命题的重复

1)根据Fisher于1936年发表的一篇有关辨别分析的经典论文中的资料，这是对三种鸢类植物所作的四项量测中的二项。

性特点, 就可以得到一个更为有效的描述方法 (根据所要求的数据量)。通过定义图上的两个模式基元 a 和 b , 我们可以把图 1.4(a) 中的图形编码为图 1.4(b) 中的形式, 并且定义了一个符号串 $W = ababab\cdots$, 这个串完全说明了所研究结构的特征¹⁾。和前面给出的数量描述不同, 这种类型的表示方法得到了一个由基元构成的模式, 而这些基元的含义与输入数据的基本结构有关。这些基元的相互连接描述了结构模式。因此, 一个模式类, 简单地就是一些具有某些共同特性的模式的集合。

图 1.5 中所示是符号串表示法的另一个例子。这时, 所研究的结构是各种不同尺寸的等边三角形。通过假设基元 a , b 和 c 的长度相等, 我们就可以用 $aaa\cdots bbb\cdots ccc\cdots$ 形式的符号串表示这些三角形。为简单起见, 也可以用 $a^n b^n c^n$ 的形式, 其中 n 是每种类型基元的数量。

用定义算子的方法常常可以增强串表示的描述功能。利用这些算子我们可以用串形式描述高维特性。图 1.6 中所示的是 4 个这样的算子。在这种表示法中, 基元是有向线段, 而算子只允许这些基元的头与头之间, 尾与尾之间, 或头与尾之间相互连接。作为例子, 我们来研究在图 1.7(a) 中定义的基元。

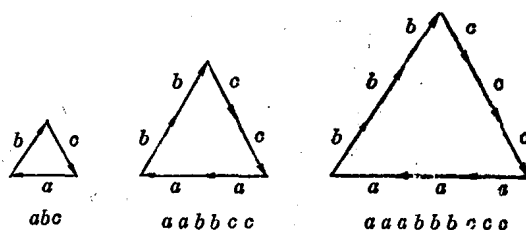


图 1.5 等边三角形的符号串表示法

图 1.7(b) 中所示的是基元 d , 图 1.7(c) 是基元 c 和基元 $\sim d$ 进行 $+$ 运算以后得到的结果 (符号 $\sim$ 表示使一个基元的方向反相)。注意这个合成结构的头和尾。用算子 $+$ 把基元 d 附加到这个合成结构上, 所得到的结果如图 1.7(d) 所示。用一个与此相类似的过程得到如图 1.7(f) 中的合成结构。最后使图 1.7(d) 和 1.7(f) 所示的结构进行 $*$ 运算, 得到如图 1.7(g) 所示的模式。

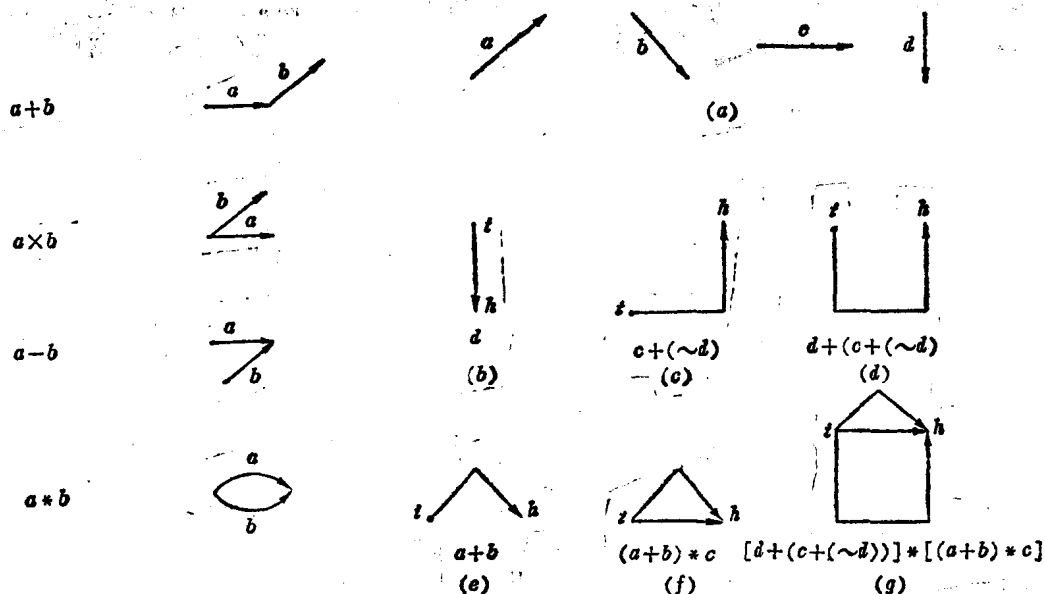


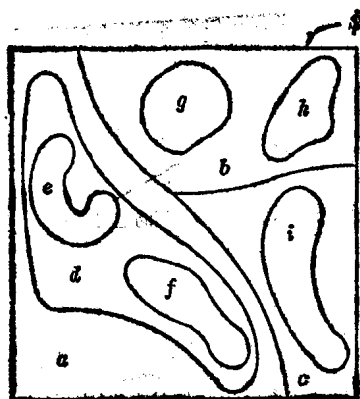
图 1.6 用来连接模式基元的四种算子 $+$, $\times$, $-$ 和 $*$ 的定义

图 1.7 (a) 基元, (b) — (g) 一些简单模式的表示

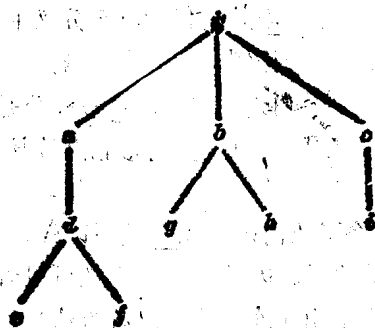
1) 这里隐涵有假定: 基元 a 和 b 是以头-尾相连的方式互相连接。如图 1.4(b) 中所示。

串表示法适合于描述这样的一些物体或实体：这些物体的结构是以基元的相当简单的连接为基础的。在许多应用中，为实现功能更强的方法，要利用树表示法。从本质上讲，任何一个分层有序系统都导致树结构。例如，我们来研究图1.8(a)中的简化图象。我们把整个图象定义为符号 $\$$ ，为得到图1.8(b)中的树表示，我们利用了“在内部”这个关系。如图1.8(b)所示，在第一级组合时，区域 a 、 b 和 c 在 $\$$ 内部。区域 a 又包含区域 d 。区域 d 又包含有区域 e 和 f 。类似的，区域 b 包含区域 g 和 h 。最后我们看到区域 i 是在区域 c 内部。

图1.9(a)是一个由积木块组成的简单景物。图1.9(b)是用了关系“由…组成”得到的树表示。在第一级组合时，我们可以看到景物 $\$$ 是由物体和背景组成的。然后，背景是由地板和墙组成的。而物体是由锥体和立方体组成的。锥体是由两个三角结构 T_1 和 T_2 组成。立方体是由三个矩形 R_1 、 R_2 和 R_3 组成。这个表示是以树的自上而下的说明为基础的，也就是说，首先是景物的全面概念 $\$$ ，然后把 $\$$ 分割成基本的组成部分。如果我们利用关系“…的一部分”，也可以得到相同的树。但是，这时，我们是以自下而上的方式说明树。例如，这时就要说墙和地板是背景的一部分， T_1 和 T_2 是锥体的一部分，然后依次类推。类似的，上述分析对图1.8的情形也适用，我们可以用关系“包含”代替关系“在内部”。

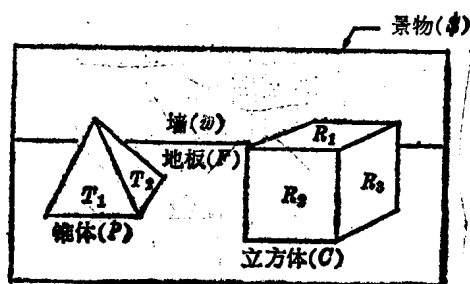


(a)

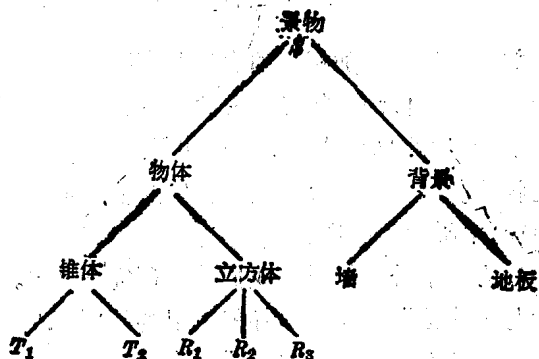


(b)

图1.8 树表示的例子



(a)



(b)

图1.9 简单景物的树表示

作为树表示最后一个实例，让我们来研究图1.10(a)中的一张航空照片。这张照片描绘了一个由城市和乡村组成的景物。图1.10(b)是用上述的“由…组成”关系得到的树表示。以