

# 一种非限制性的手写数字的识别方法<sup>1)</sup>

程晓群 戴汝为 刘迎建

(中国科学院自动化所 北京 100080)

## 摘 要

本文从语义、句法模式识别观点,提出一种基于模型指导的有限状态属性自动机,进行特征抽取。对每一种典型的畸变模型设计一个有限状态属性文法及其相应的属性自动机,采用自下而上和自上而下相结合的控制策略,并在低层次引入知识指导,减少了工作量和不确定性。基于上述方法实现的非限制性手写数字识别系统,经过对1100个非限制性手写数字样本的测试,平均识别率达95.2%,拒识率为4.6%,误识率为0.2%。

**关键词:** 模式识别,基元,属性,自动机。

## 一、引 言

用统计方法与句法方法两者相结合描述和识别模式的思想是在1978年至1981年间提出的<sup>[2-8]</sup>。1981年,戴与傅把所概括与总结的一类属性文法称为语义句法方法(Syntax-Semantic Approach)<sup>[9-11]</sup>。语义、句法方法包括两部分:一是用文法描述的句法部分;一是语义部分。语义部分又包括如下三部分:(1)基元属性;(2)关系属性;(3)语义规则。语义句法的模式识别的研究工作一直在继续<sup>[12-15]</sup>,近来已拓广到对动态图形的描述<sup>[16]</sup>,并用人工神经网络确定语义函数,进一步把句法方法、统计方法及人工神经网络有机地结合起来<sup>[17-19]</sup>。本文提出一种基于模型指导(model-based)的有限状态属性文法及其相应的属性自动机,集手写数字的特征提取和粗分类于一身,所生成的具有结构信息的数字特征再交给基于认知模型的神经网络识别系统,最终完成手写数字的学习和识别过程。

## 二、手写数字的模式表达

### 1. 基元选择

手写数字的特征点集可分为三类:(1)端点和叉点;(2)拐点;(3)反映相对位置属性的点。图像点阵 $I$ 被属性点分解为由属性点与属性点之间的弧线段构成的图。这里考虑把属性点以及属性点之间的弧线段作为基元。一个基元 $E$ 的描述如下:

$$E = \langle a, A(E) \rangle,$$

其中  $a \in V_N$ ,  $A(E)$  是基元  $E$  的属性。

本文于1992年5月21日收到。

1) 本文受到国家自然科学基金和863计划的资助。

弧线段的属性可采用 4 种属性来形容每一个曲线段, 即曲线段起始点指向终止点的向量、曲线段的总长度、角度变化总量、对称性度量<sup>[1]</sup>.

## 2. 基于模型指导的有限状态属性文法

**定义 2.1.** 基于模型指导的手写数字的有限状态属性文法可用十二元式表达

$$G = (N, B, A_N, A_B, G_N, G_B, V_N, V_T, P, S, J, H).$$

其中,  $N = \{n_1, n_2, \dots\}$  为手写数字结点的有限集;  $B$  为手写数字图的有向弧(可用有序结点对表示)或无向弧(可用无序结点对表示)的集合;  $A_N$  为结点属性的集合;  $A_B$  为弧的属性的集合;  $G_N: N \rightarrow A_N$  为产生结点属性的函数;  $G_B: B \rightarrow A_B$  为产生弧的属性的函数;  $J$  是产生式标号属性;  $V_N$  是非终止符集,  $V_N = \{S, M_1, M_2, \dots, M_m\}$ ;  $V_T = \{a, \phi\}$  为终止符集;  $a$  为基元弧段;  $H$  是给定函数  $f$  的有限集;  $P$  是产生式(或再写规则)集;  $S$  是起始符.

这里, 文法中增加给定函数  $f$  的有限集  $H$  是本文提出的文法与以往文法不同之处.

1) 给定函数  $f$  的有限集  $H$ .

这里给定的函数  $f$  只有两种: 一元函数和二元函数.

**定义 2.2.** 一元函数(亦称一元算子)  $F_1$  (或  $f_1$ )

给定的函数自变量为一个点, 辅助自变量为从该点出发的走向. 比如向上、向下、向左、向右等等. 一元函数完成的操作是按照指定的方向寻找从某点到不同于本身的端点或叉点为止的笔段. 实现一元函数的技术采用轮廓跟踪技术.

**定义 2.3.** 二元函数(亦称二元算子)  $F_2$  (或  $f_2$ ).

给定的函数自变量是两个点, 二元函数完成的操作是如果两点间存在连通线段, 找出两点间的最短连通笔段.

这里需要说明的是“最短连通笔段”的涵义(见图 1). 根据定义 2.3 有

$$F_2(1, 7) = 1 \Rightarrow \text{segment}(1, 2) + \text{segment}(2, 4) \\ + \text{segment}(4, 5) + \text{segment}(5, 7);$$

如果  $F_2(1, 7) = 0$ , 则点 1 和点 7 之间不存在连通笔段. 在图 1 中,  $F_2(1, 7) = 1$ .

如果不加最短限制, 则  $F_2(1, 7)$  就有不唯一的表达式, 比如除了上面的式子,  $F_2(1, 7)$  还有下面的表达式:

$$F_2(1, 7) = 1 \Rightarrow \text{segment}(1, 2) + \text{segment}(2, 3) + \text{segment}(3, 2) \\ + \text{segment}(2, 4) + \text{segment}(4, 8) + \text{segment}(8, 7).$$

实现二元函数的算法可采用“图论”中的 Floyd 算法.

2) 产生式  $P$

$P$ :

$$(1) \quad s \rightarrow a(n_1, i_1)M_{11}; \quad (1) \quad f_1(n_1, n_2) = 1 \text{ 或 } f_1(n_1) = 1, f_1 \in H; \\ M_{11} \in V_N; a \in V_T; \quad A(s) = A(a(n_1, i_1)) \cup A(M_{11}); \\ i_1 \in \text{path-node}(n_1, n_2); \quad a(n_1, i_1) \in B.$$

$$i_1, n_1, n_2 \in N,$$

$$(2) \quad M_{11} \rightarrow a(i_1, i'_1)M_{12}; \quad (2) \quad f_1(n_1, n_2) = 1 \text{ 或 } f_1(n_1) = 1, f_1 \in H; \\ M_{11}, M_{12} \in V_T; \quad A(M_{11}) = A(a(i_1, i'_1)) \cup A(M_{12});$$

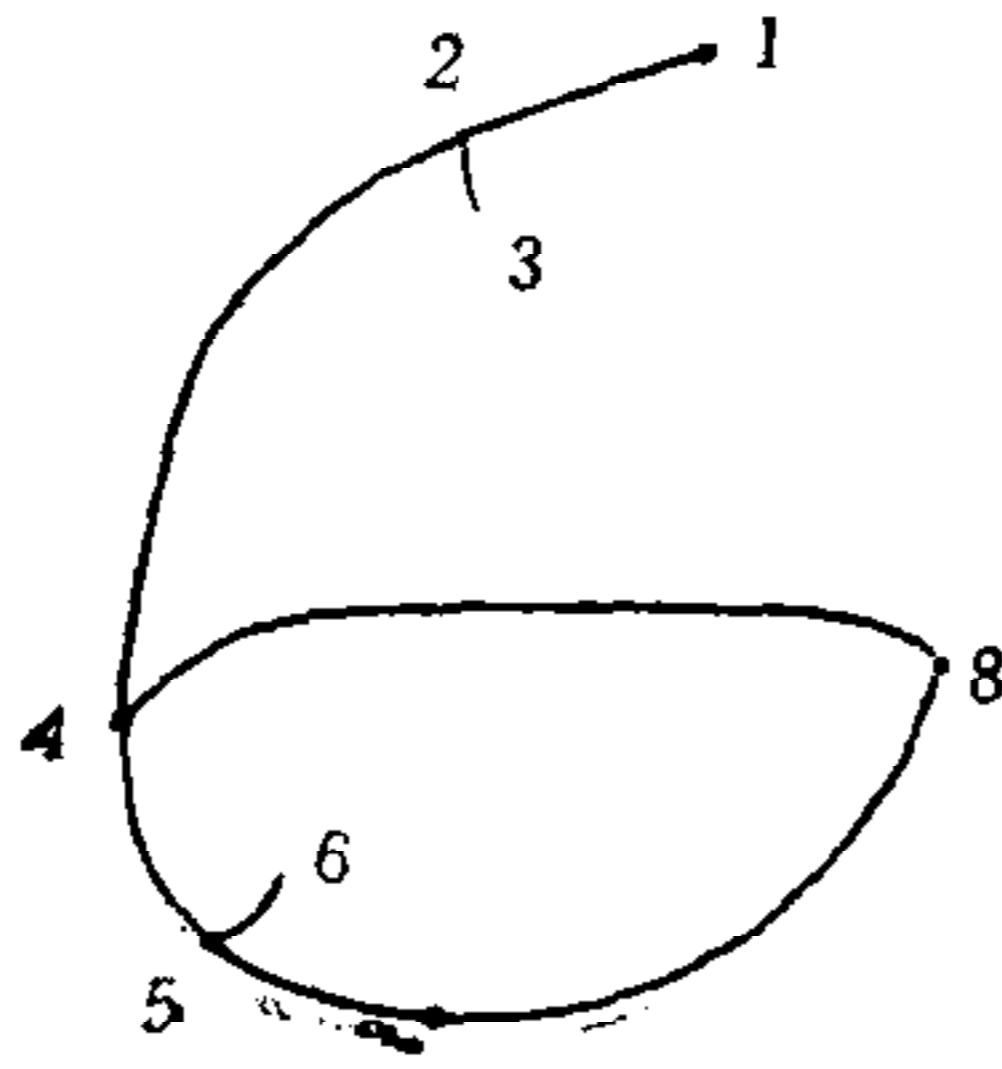


图 1

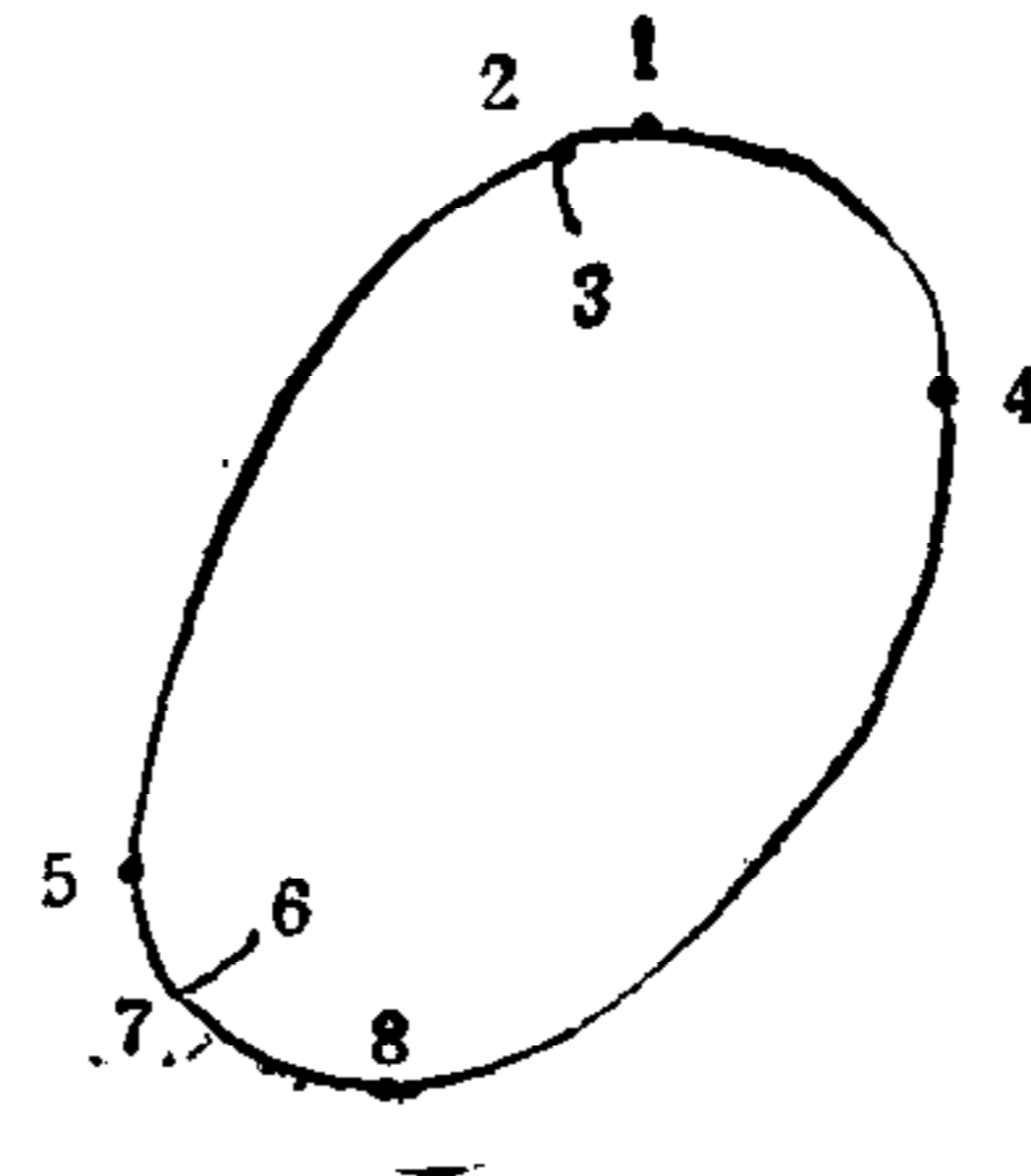


图 2 字符“0”的细化点阵图

$$i_1, i'_1 \in \text{path-node}(n_1, n_2); a(i_1, i'_1) \in B.$$

$$i_1, i'_1, n_1, n_2 \in N.$$

.....

$$(m_1) M_{1m_1} \rightarrow a(j_1, n_2)M_{1f}; (m_1) f_1(n_1, n_2) = 1 \text{ 或 } f_1(n_1) = 1, f_1 \in H;$$

$$M_{1m_1}, M_{1f} \in V_N; a \in V_T; A(M_{1m_1}) = A(a(j_1, n_2)) \cup A(M_{1f});$$

$$j_1 \in \text{path-node}(n_1, n_2); a(j_1, n_2) \in B.$$

$$j_1, n_1, n_2 \in N.$$

$$(m_1 + 1) s \rightarrow \phi.$$

$$(m_1 + 1) f_1(n_1, n_2) = 0 \text{ 或 } f_1(n_1) = 0, f_1 \in H.$$

产生式中  $a$  是具有属性的基元符号,  $a( )$  括号中的符号表示基元弧的两个端点. 符号“ $\cup$ ”是表示基元之间的属性合并的符号.

从产生式可以看出, 语义部分增加函数规则使得文法简化为最简单的文法——有限状态文法, 函数中的自变量选取体现了设计者的思想——模型. 还有一个更重要的改进在于: 从前很多人做过属性文法的工作, 在基元合并问题上, 文[3]中已经做得比较完善了, 但对合并范围没有准确的估计和限制. 这里提出的产生式中, 函数的自变量选取限制了基元合并范围, 这点比文[3]的工作有所改进.

### 3. 手写数字的有限状态的属性自动机

与上述文法相对应的属性自动机为

$$A = (\Sigma, Q, \delta, q_0, H, q_f),$$

其中,  $\Sigma$  是具有属性的字母表, 其中的元素用序对  $(a(n_i, i_1) \cdots a(j_1, n_j); A(a(n_i, i_1)) \cdots a(j_1, n_j) \cdots A(a(j_1, n_j)))$  表示;  $Q$  是具有参考属性的状态的有限集;  $H$  是给定的函数集,  $q_0$  是初始状态,  $q_f$  是终止状态,  $\delta$  是  $Q \times \Sigma \times H$  到  $Q$  的映射.

在图 2 中, 如果自动机状态处于状态  $q$ , 当输入序对  $(a(n_i, i_1) \cdots a(j_1, n_j), A(a(n_i, i_1) \cdots a(j_1, n_j)))$  满足条件

$$f(n_i, n_j) = 1 \text{ 或 } f(n_i) = 1$$

时, 转移到新的状态  $q'$ , 当

$$f(n_i, n_j) = 0 \text{ 或 } f(n_i) = 0$$

时, 转移到  $\phi$ , 这是属性自动机的转移与一般自动机不同之处. 当输入一串具有属性的符号, 读入最后一个序对时, 自动机的状态转移到终止状态  $q_f$ , 则认为该串符号被自动机接受.

下面举例说明有限状态的属性自动机的转移情况。例如数字“0”。其字符点阵图形(细化后)如图 2 所示。字符“0”的自动机为

$$A = (\Sigma, Q, \delta, q_0, H, q_f),$$

其中

$$\Sigma = \{(a(1, 2)a(2, 5), A(a(1, 2)a(2, 5))), \\ (a(5, 7)a(7, 8), A(a(5, 7)a(7, 8))), \\ (a(8, 4), A(a(8, 4))), \\ (a(4, 1), A(a(4, 1)))\}.$$

上式中  $a(i, j)$  表示从点  $i$  到点  $j$  的基元弧,  $i, j = 1, 2, \dots, 8$ .

$$Q = \{q_0(1), q_1(5), q_2(8), q_3(4), q_4(1), \phi\},$$

$$H = \{F_2(1, 5) = 1, F_2(5, 8) = 1, F_2(8, 4) = 1, F_2(4, 1) = 1\},$$

$$q_f = \{q_4(1), \phi\}.$$

状态转移过程为

$$\delta[q_0, (a(1, 2)a(2, 5), A(a(1, 2)a(2, 5)))] = \begin{cases} q_1, & \text{计 } F_2(1, 5) = 1; \\ \phi, & \text{计 } F_2(1, 5) = 0; \end{cases}$$

$$\delta[q_1, (a(5, 7)a(7, 8), A(a(5, 7)a(7, 8)))] = \begin{cases} q_2, & \text{计 } F_2(5, 8) = 1; \\ \phi, & \text{计 } F_2(5, 8) = 0; \end{cases}$$

$$\delta[q_2, (a(8, 4), A(a(8, 4)))] = \begin{cases} q_3, & \text{计 } F_2(8, 4) = 1; \\ \phi, & \text{计 } F_2(8, 4) = 0; \end{cases}$$

$$\delta[q_3, (a(4, 1), A(a(4, 1)))] = \begin{cases} q_4, & \text{计 } F_2(4, 1) = 1; \\ \phi, & \text{计 } F_2(4, 1) = 0; \end{cases}$$

相应的属性自动机状态转移图如图 3 所示。

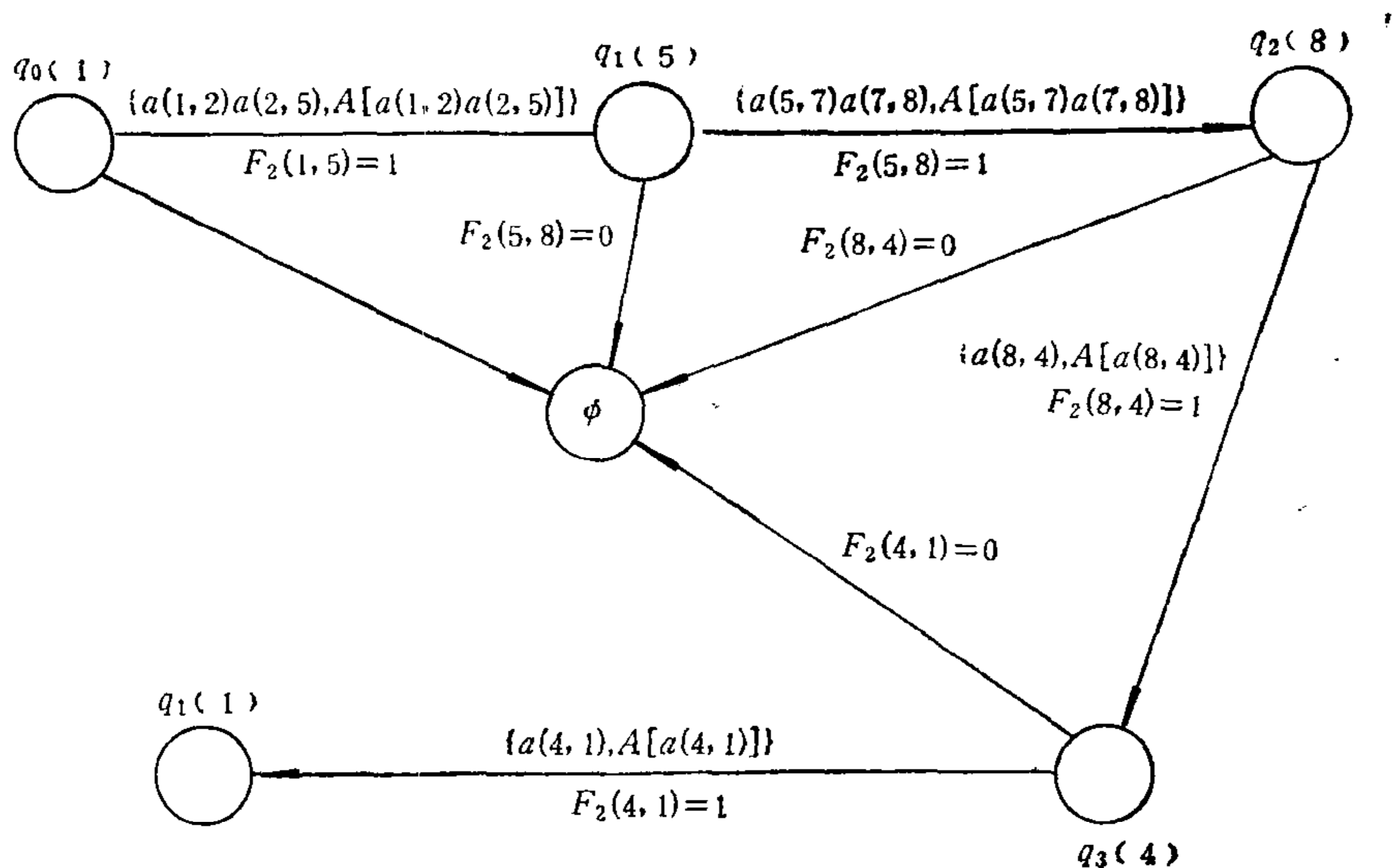


图 3 字符“0”的自动机状态图

#### 4. 总体属性向量 (TAV) 的生成算法

从上面的讨论结果看,有限状态属性自动机输出是带有属性的基元弧串,对不同的样本字符,基元串的个数不等,这样属性向量维数不确定,给样本学习和分类带来很大困难,即使通过串的代换、删除及插入操作使得串个数相等,但这些操作付出了误差代价,同时考虑到基元的四种属性(曲线向量、总长度、角度变化总量、对称性)在属性距离表达式中,加权量难以确定.这里提出一种将基元串合并、再分解为固定维数的新的带属性的基元串的方法.经过这样的处理过程后的总体属性向量 TAV (total attributed vector) 能够用于样本学习了.

在数字字符中,基元弧是长度不大,近似直线的简单弧线,但基元弧串就不一定是近

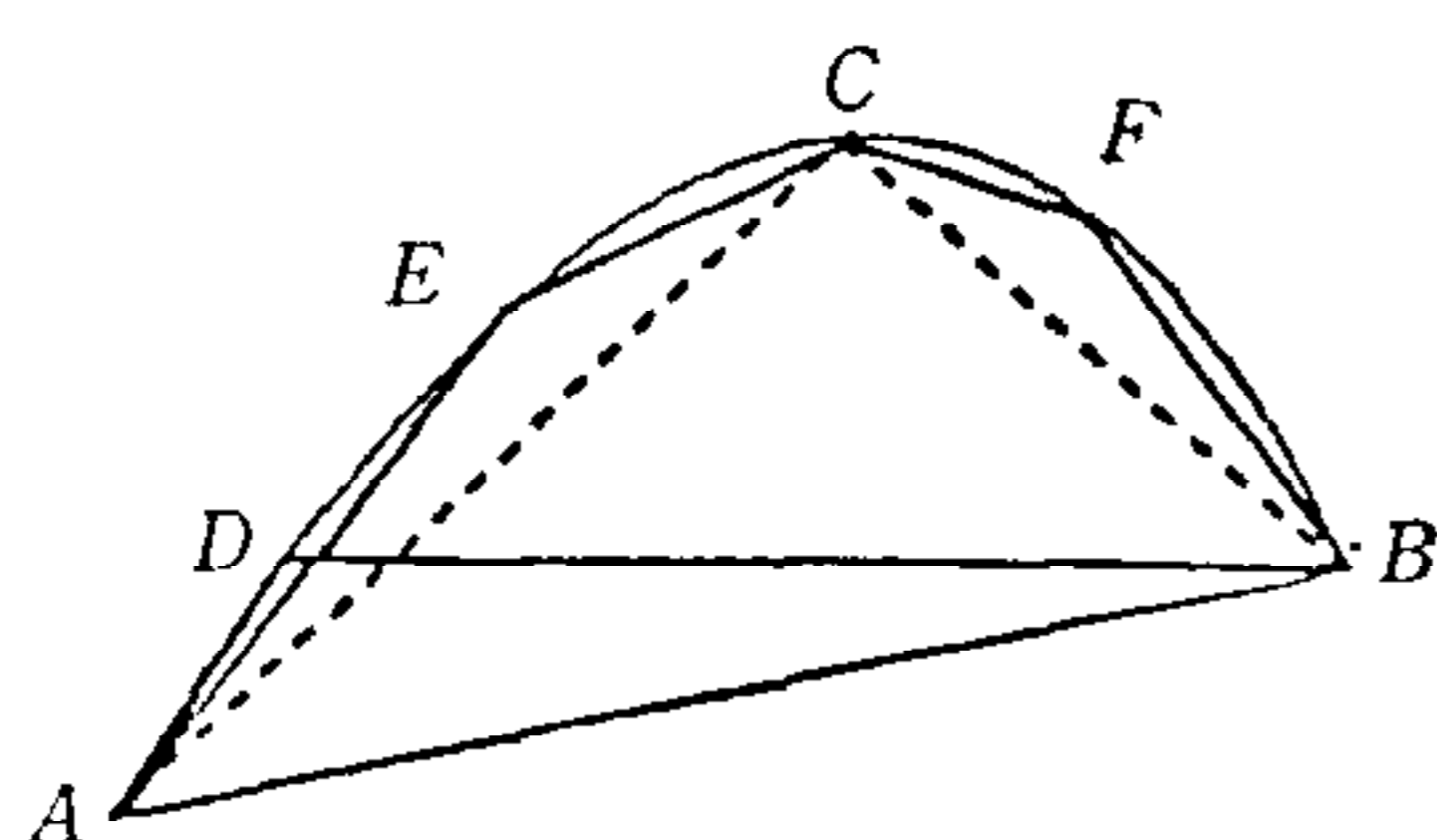


图 4

似直线的简单弧了.为了把基元弧串用一组新的基元串来表示,首先需要把基元弧串合并成一个弧,这个弧的起点是起始基元弧的起始点,终点是最后一条基元弧的终点.

基元弧合并的方法参见文献[2].

合并后的曲线用一组新的基元串来表示,先看下面的性质:

对任一简单弧线  $\widehat{AB}$ , 连接  $AB$  线段, 在弧  $\widehat{AB}$  上找一点  $C$ , 使得  $C$  点至直线  $AB$  的距离最大, 连接  $AC$ ,  $BC$ .  $\forall D \in \widehat{AB}$ ,  $D \neq C$ , 连接  $AD$ ,  $DB$ , 则有

$$\widehat{AB} - \overline{AC} - \overline{BC} < \widehat{AB} - \overline{AD} - \overline{DB}.$$

这个性质说明了  $AC$  和  $BC$  最佳逼近  $\widehat{AB}$ , 若对  $\overline{AC}$  和  $\overline{BC}$  再作同样的分割逼近, 如图 4, 则  $\overline{AE} + \overline{EC} + \overline{CF} + \overline{FB}$  基本上逼近  $\widehat{AB}$ , 并无多少误差.

对复杂曲线分割方法是: 连接  $\overline{AB}$ , 则  $\overline{AB}$  必定与  $\widehat{AB}$  相交, 设交点为  $C$ , 则  $\widehat{AC}$  和  $\widehat{BC}$  为简单弧线, 可以继续用上面的二分法进行分割逼近, 逼近结果为

$$\overline{AF} + \overline{FD} + \overline{DG} + \overline{GC} + \overline{CH} + \overline{HE} + \overline{EI} + \overline{IB} \rightarrow \widehat{AB}.$$

#### 5. 归一化 TAV

在本文叙述的手写数字识别系统中, 归一化没有作为预处理的步骤之一, 是因为原数字字符点阵经归一化后再细化, 会出现许多毛刺, 给特征抽取带来很大困难, 甚至影响识别结果. 若将原字符点阵先细化, 再归一化, 则必须再细化一次. 由于细化过程本身就耗时间, 因此在预处理过程中细化两次必然影响识别速度.

本系统把归一化过程放在特征抽取之后, 避免了上述矛盾.

设原字符点阵大小为  $n_x \times n_y$ , 欲将原字符点阵归一化为大小  $32 \times 48$  的点阵. 由上面讨论可知, TAV 的分量是由细化点阵图形上若干点的坐标和统计特征分量构成. 设未归一化的 TAV 中第  $i$  点的坐标分量为  $(\beta_{ix}, \beta_{iy})$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为点串的总数, 则归一化的 TAV 中第  $i$  点坐标分量  $(\alpha_{ix}, \alpha_{iy})$  为

$$\alpha_{ix} = \frac{32}{n_x} \beta_{ix}, \quad \alpha_{iy} = \frac{48}{n_y} \beta_{iy}.$$

至于统计特征分量,若是横向笔划穿插次数,则将其乘以比例系数  $\frac{48}{n_y}$ ,得归一化横向笔划穿插次数;若是纵向笔划穿插次数,则将其乘以比例系数  $\frac{32}{n_x}$ ,得归一化纵向笔划穿插次数;若是粗外围面积分量,则将其乘以比例系数  $\frac{32}{n_x} \frac{48}{n_y}$  得归一化粗外围面积分量。

## 6. 手写数字的细分类

在实际应用中,模式类通常被划分为群 (group), 每个群又由几个在结构上相似但属性不同的模式类构成. 在这种情况下,对每个群构造一个属性文法,把群内模式之间的区分任务交给基于属性的统计分类. 在一种极限情况下,由于结构的相似性,所有模式类在模式识别问题上可以形成一个单群,那么这时分类问题就是不依赖于文法而全部依赖属性的差别来进行群内区分,这就是传统的统计模式识别方法. 另一种极限情况是:任何两个模式类之间不存在结构相似性,那么每个模式类用非属性文法描述,模式区分仅仅依赖于传统的文法分析,句法识别规则对模式粗分类有帮助,但对群内模式分类则不然. 假定由属性文法产生的每个串表达了由属性文法描述的某群内各个模式类. 尽管未知模式的串可以通过结构判别规则来判别,但在没有进一步的基于属性的统计分类下,未知模式仍不能被确定为群内某个模式类. 简言之,串结构对群间分类是有用的,但对群内分类则没有多大帮助.

用属性文法进行模式分析时,句法规则首先用来描述一群结构相似的模式类,而语义规则用来抽取相关属性,利用这些属性进行群内统计分类. 换言之,属性文法的推断过程是统计分布推断的先导.

由上面的讨论可知,采用有限状态的属性文法及其相应的自动机实现了手写数字的特征抽取和粗分类. 粗分类的结果是把大量样本划分为结构上相似但属性不同的群. 凡是通过某字符模式的属性自动机的样本字符不一定是该数字字符,比如“7”有可能通过为“1”设计的自动机,这时显然“7”和“1”具有相同的串结构,但串中的基元属性不同,利用属

表 1(a)

手写数字		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
总样本数		2086	2101	2064	1961	2083	2047	1959	2077	1703	1980
通过自动机的样本		2073	2091	2016	1951	2006	2007	1931	2070	1686	1941
正确样本	数目	2068	2053	1994	1906	1990	1967	1928	2012	1678	1908
	百分比	99.14	97.72	96.61	97.20	95.54	96.09	98.42	96.87	98.53	96.36
拒识样本	数目	18	48	70	55	93	80	30	65	25	72
	百分比	0.86	2.28	3.39	2.80	4.46	3.91	1.53	3.13	1.47	3.64
误识样本	数目	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	百分比	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
识别率		99.76	98.18	98.91	97.69	99.20	98.01	99.84	97.20	99.53	98.30

表 1(b)

自动机		0—1	1—1	2—1	3—3	4—6	5—1	6—1	7—1	8—1	9—2
总样本数		2086	2101	2064	1961	2083	2047	1959	2077	1703	1980
通过自动机的样本		1348	2091	1925	1373	1905	1503	1639	2046	1517	1787
正确样本	数目	1348	2025	1858	1307	1818	1487	1637	1949	1463	1742
	百分比	64.62	96.38	90.02	66.65	87.28	72.64	83.56	93.84	85.91	87.98
拒识样本	数目	738	76	206	654	265	560	322	128	240	238
	百分比	35.38	3.62	9.98	33.35	12.72	27.36	16.44	6.16	14.09	12.02
误识样本	数目	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	百分比	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
识别率		100.00	96.84	96.52	95.19	95.43	98.94	99.88	95.26	96.44	97.48

性不同可以将它们进一步区分开来。

手写数字样本的学习算法采用类似人脑学习和记忆过程的一种学习算法——“弱刺激萎缩”学习算法<sup>[17,19]</sup>。

### 7. 手写数字识别系统的实验结果

本系统对每个数字采用 2000 个左右的样本进行学习,表 1 给出了学习结果。

在表 1(a) 中,给出了 0—9 十个数字的学习样本的分类识别结果。表 1(b) 中 0—1 是指对数字“0”设计的第一个有限状态属性自动机。作者对 0—9 分别设计了 14, 4, 4, 3, 24, 3, 3, 3, 15, 5 个自动机,对每个自动机都有一个分类识别结果。

另外,任取在民间收集的由 22 个不同书写者书写的  $22 \times 50 = 1100$  个 0—9 的数字进行测试,本章最后附出测试结果。统计结果是: 1100 个数字中,拒识 51 个,错误 2 个,因此正确识别率为 95.2%,拒识率为 4.6%,误识率为 0.2%。

## 三、结 束 语

本文针对非限制手写体数字的特点,把统计识别和句法识别方法结合起来。采用句法方法对几个相近的模式类组成的“群”进行第一级识别,同时用语义规则抽取相关属性,以利用这些属性进行群内统计分类的新的技术方案,并实际构造了作为句法识别器的 10 个数字的有限状态属性自动机,自动机的构造充分发挥了人的作用,设计者可通过检验和经验在断地对新的手写字体增加相应的属性自动机,以对识别系统进行改进和完善。这可能是实现系统达到完全实用化的一条有效途径。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 傅京孙著,戴汝为、胡启恒翻译、整理,模式识别及其应用,科学出版社,1983.
- [ 2 ] You, K. C. and Fu, K. S., A Syntactic Approach to Shape Recognition Using Attributed Grammars, *IEEE Trans. SMC*, **SMC-9**(1979), (6).
- [ 3 ] You, K. C. and Fu, K. S., Syntactic Shape Recognition Using Attributed Grammars, *Purdue University*

- Tech. Rep.*, TR-EE(1978), 18—38, Aug.
- [ 4 ] Tsai, W. H. and Fu, K. S., Attributed Grammars—A tool for Combining Syntactic and Statistical Approaches to Pattern Recognition, *IEEE Trans. SMC*, SMC-10(1980), (12).
- [ 5 ] Tsai, W. H. and Fu, K. S., A Syntactic-Statistical Approach to Recognition of Industrial Objects, Proc. 5th Int Conf. Pattern Recognition, Miami Beach, FL, (1980), 1—4, Proc. 8th. Int. Conf. Pattern Recognition, (1982), 169—171.
- [ 6 ] Tsai, W. H. and Fu, K. S., Error-Correction Isomorphisms of Attributed Relational Graphs for Pattern Analysis, *IEEE Trans. SMC*, SMC-9(1979).
- [ 7 ] Tsai, W. H. and Fu, K. S., A Pattern Deformation Model and Bayes Error-Correcting Recognition System, Proceeding of the International Conference on Cybernetics and Society, (1978), Japan, 3—7.
- [ 8 ] Knuth, D. E., Semantic of Context-Free Languages, *J. Math. Syst. Theory*, 2(1980), 127—146.
- [ 9 ] Tai, J. W., Fu, K. S., Semantic Syntax-Directed Translation for Pictorial Pattern Recognition, *Purdue University, Tech. Rep. TR-EE*(1981), 81—38.
- [10] Tai, J. W., Attributed Parallel Tree Grammars and Automaton for Syntactic Pattern Recognition, Proc. 5th ICPR Miami Beach, Dec. 1980.
- [11] 戴汝为, 模式识别的一类属性文法, 自动化学报, 9(1983), (2).
- [12] 戴汝为, 模式识别的一种语义、句法距离度量, 自动化学报, 10(1984), (1).
- [13] Tai, J. W., A Syntactic-Semantic Approach for Chinese Character Description, *Computer Processing of Chinese and Oriental Language* 1(1984), 186—194.
- [14] 戴汝为, 一种识别线划图形的方法, 自动化学报, 11(1985), (3).
- [15] 戴汝为, 属性文法与变元之间的关系, 自动化学报, 13(1987), (5).
- [16] Q. Mao, JuWei Tai, Defining Dynamic Graphics by a Graphic Language. 计算机学报(英文版), 6(1991), (4).
- [17] 刘迎建、戴汝为、张立清, 基于神经网络的手写汉字特征选择, 全国人工智能和智能计算机学术会议论文集, 电子工业出版社, 1991.
- [18] Tai, J. W., Liu, Y. J., Zhang, L. Q., A New Approach for Feature Extraction and Feature Selection of Handwritten Chinese Character Recognition, Prof. of 2th International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, Elsevier Science Publishers, 1991.
- [19] 刘迎建、戴汝为、张立清, 基于神经网络的手写汉字特征选择, 模式识别与人工智能, 5(1992), (1).

## A NEW METHOD FOR UNCONSTRAINED HANDWRITTEN NUMERALS RECOGNITION

CHENG XIAOQUN TAI JUWEI LIU YINGJIAN

(Institute of Automation, Academia Sinica Beijing 100080)

### ABSTRACT

In this paper, a model-based finite state attribute automaton is proposed from syntactic and semantic recognition point view for the extraction of features. For each typical deformed model, a new finite state attribute grammar and its corresponding automaton is designed. This method combines Top-Down and Bottom-Up control strategy, introduces knowledge in low levels, this cuts down the amount of operations and reduces the uncertainty. An unconstrained handwritten numerals recognition system is realized based on this approach. By testing a set of 1,100 samples, the average recognition rate is 95.2%, rejection rate is 4.6%, substitution rate is 0.2%.

**Key words:** Pattern recognition; primitive; attributed grammar; automata.



**程晓群** 女, 1989年毕业于中国科学技术大学无线电电子学系, 1992年在中国科学院自动化研究所获硕士学位。感兴趣的领域是模式识别、人工智能及人工神经网络。



**刘迎建** 1982年毕业于南京通信工程学院, 现为总参通信部高级工程师、中国科学院自动化研究所在职博士生。目前从事文字识别、笔输入电脑的研究开发工作。有多项成果获奖, 发表论文30余篇。感兴趣的领域是模式识别、人工智能、计算机视觉。



**戴汝为** 男, 1932年12月生, 1955年毕业于北京大学, 现为中国科学院自动化研究所研究员, 学部委员, 国家智能计算机研究中心学术委员会主任。从事模式识别, 人工智能, 思维科学等工作。