

基于仿生模式识别的手写体汉字识别方法的研究

王建平 李帷韬 王金玲 罗国军

(合肥工业大学电气与自动化工程学院, 合肥 230009)

摘要 为了提高机器识别汉字的容错性和准确性,运用仿生模式识别手写体汉字,并以机器“认知”取代机器对特征样本的“区分”,研究了手写体汉字的识别方法。该方法先采用双权重椭圆形神经元对汉字的横、竖、撇、捺4类基本笔段进行覆盖;然后通过分析笔段神经元间的拓扑性质来合成具有容错表征方式的6种汉字笔划类型;接着模仿人类汉字形码输入法,通过统计具有冗余容错形状的笔划神经元类型、数量、位置和相合相交数量,建立了手写体汉字特征知识的数据结构表;最后模仿人学习、记忆及对比判断的能力,先验地建立了标准印刷汉字的样本知识库和容错匹配方法。通过对 SCUT-IRAC 手写体汉字库中的简单和较复杂手写体汉字识别进行的仿真实验结果表明,该方法具有接近人类识别汉字的容错性和准确性。

关键词 仿生模式识别 神经元 特征知识 容错性

中图分类号: TP391.43 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)07-1261-09

Research on Handwritten Chinese Characters Recognition Based on Biomimetic Pattern Recognition

WANG Jian-ping, Li Wei-tao, WANG Jin-ling, Luo Guo-jun

(School of Electric Engineering and Automation, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract Applied Biomimetic Pattern Recognition to replace “differentiation” of characteristic sample by machine “cognition”, a novel method of handwritten Chinese characters recognition is presented. Double weights elliptical neurons are used to cover four basic kinds of handwritten Chinese characters stroke segment. The topological property among the stroke segment neurons is analyzed. Six styles of Chinese characters stroke with fault tolerance are combined. Imitated typing methods of human Chinese characters font code, the style, number, position and number of joint and crossover of stroke neurons which have redundant fault tolerant shapes are counted. A kind of characteristic knowledge data-base table of handwritten Chinese characters and the sample data-base of standard printed Chinese characters and fault tolerant matching rules are built. Simple and more complex handwritten Chinese characters in SCUT-IRAC HCLLIB are tested. The method is proved to be close to human fault tolerance and veracity.

Keywords biomimetic pattern recognition, neuron, characteristic knowledge, fault tolerance

1 引言

近年来脱机手写体汉字的识别已经有了很大的发展。但是由于受手写体汉字书写风格因人而异等因素的影响,使得脱机手写体汉字识别难以接近人类识别汉字的准确性、灵活性和容错性。很多的研

究报道了进行脱机手写体汉字识别的特征提取和采用最近邻分类器^[1]以及神经网络分类器^[2,3]识别的方法。这些方法以如何用先验知识自定义规则将一类已知特征样本在有限特征空间中进行最佳划分作为目标,其是以机器的有限“区分”来识别手写体汉字,而不是模仿人类认字过程中的“认知”方式。

汉字的识别心理研究表明^[4],人类对汉字的认

收稿日期:2006-04-12;改回日期:2006-06-06

第一作者简介:王建平(1955~),男,教授,博士。主要研究方向为智能测控技术、机器视觉与图像识别系统等。发表学术论文50多篇,出版学术著作2本。E-mail: wanggw@mail.hf.ah.cn

知机理是由整字属性、分层结构和笔划多种途径复合而成的。人类认识手写体汉字的过程是,根据每个汉字的由若干基本笔划复合连接交叉所形成的相对不变的拓扑结构,通过“认知”手写体汉字的基本笔划形状、数量、位置和相合相交数量等信息来灵活容错地比较判断识别各类手写体汉字。

汉字国标(GB2312-80)一、二级字库的 6 763 个汉字的统计结果表明^[5],包含横笔划的汉字占 99.8%,包含竖笔划的汉字占 99.85%,包含撇笔划的占 93.5%,包含捺笔划的占 76.5%,4 种笔划在汉字中出现的频率为:横笔划占 39.51%,竖笔划占 33.94%,撇笔划占 16.77%,捺笔划占 9.78%。汉字的基本笔划形状可归结于横、竖、撇、捺(点归入撇或捺)、折 5 种^[6]。考虑到机器能直接“认知”提取的基本几何笔划,折钩笔划可用 4 种基本笔划复合而成。

本文从计算机图形学的角度出发,先把手写体汉字图像转化为由横、竖、撇、捺、折基本笔划在不同位置组成的图形;然后模仿文献[6]中人类归纳的汉字形码输入法,采用仿生模式识别方法赋予机器“认知”汉字图形简单笔段、笔划的笔段组合和笔划相合相交结构的能力,最后以汉字笔划在汉字图形中分布的最佳覆盖为目标,获取基本笔段类型、笔划形状、笔划数量、笔划位置和笔划相合相交数量等信息,同时模仿人类识字心理过程,对笔划变形进行冗余合成表征,以提高机器“认知”手写体汉字的容错性。

2 笔段提取和整合

众所周知,汉字的结构组成基元是笔划,笔划中的一部分称为笔段,笔划是由笔段构成的,因此汉字的结构信息就可以由笔段的拓扑结构得到。得到汉字笔划信息的过程包括笔段提取、笔段整合和笔段合成。设 $f(x, y)$ 为一幅 256 灰度级手写体汉字 $N \times M$ bit 图像,其二值化后的图像的像素点的值为

$$F(x, y) = \begin{cases} 1 & (x, y) \text{ 是黑像素} \\ 0 & (x, y) \text{ 是白像素} \end{cases}$$

$$(x = 1, 2, \dots, N; y = 1, 2, \dots, M)$$

采用六边缘点跟踪法^[7]提取汉字笔划的平均宽度,记为 \bar{W} 。二值化过程是先对该手写体汉字图像笔划宽度归一化处理,然后进行细化,并转换为 m 维连通的细化集合,最终将其归一成大小为 40×40 的二值化手写体汉字图像。

2.1 笔段提取^[8]

首先规定横、竖、撇、捺 4 种笔划方向编码 C_i ($i = 0, 1, 2, 3$) 分别代表要提取的 0° 、 90° 、 45° 和 135° 的 4 个方向笔划,而笔划方向游程为笔划点在某个方向上的最大延续长度;然后求取每个笔划点的方向游程 $L_{(x,y)}(C_i)$,并找出笔划方向的编码 C 为 4 个方向中与最优势方向对应的编码,即

$$L_{(x,y)}(C) = \max \{ L_{(x,y)}(C_i) \}$$

$$(i = 0, 1, 2, 3, C \in C_i) \quad (1)$$

对图像中每个点计算其方向游程后,可分别得到 4 幅与原图像对应的横、竖、撇、捺笔段的子图像。

2.2 笔段整合

笔段整合时,首先滤除方向子图像中的短小笔段:

设一个笔段 S 的起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}$,若笔段长度 $d_1 = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2} \leq \bar{W}$,则将其删除。其中,笔划宽度的阈值为 T_1 ,若实际平均宽度 $\bar{W} \geq T_1$,则笔划宽度阈值取 $T_1 = 8$ 。

定义 1 人类识字时是把一个笔划的断缺和错位的笔段视为同一笔划,在 4 幅方向子图像中,由于笔段提取时造成笔段呈现错位或错位断裂的状况,因此需要对被提取出来的形变手写体汉字笔段进行整合,笔段整合规则如下:

(1) 横笔段整合

设一个横笔段 H_1 的起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_1)\}$,另一个横笔段 H_2 的起止点坐标为 $\{(x_3, y_2), (x_4, y_2)\}$,若两个横笔段错位的行间距 $d_2 = |y_2 - y_1| \leq 2$,则将第 2 个横笔段平移至第 1 个横笔段所在的行,整合后的横笔段 \hat{H}_1 起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_4, y_1)\}$ 。

(2) 竖笔段整合

设一个竖笔段 V_1 的起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_1, y_2)\}$,另一个竖笔段 V_2 的起止点坐标为 $\{(x_2, y_3), (x_2, y_4)\}$,若两个竖笔段的列间距 $d_3 = |x_2 - x_1| \leq 2$,且其行间距 $d_4 = |y_2 - y_1| \leq 2$ 小于阈值 4,则将第 2 个竖笔段平移至第 1 个竖笔段所在的列,并补充齐两个竖笔段之间所缺的像素点,整合后的竖笔段 \hat{V}_1 起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_1, y_4)\}$ 。

(3) 撇笔段和捺笔段整合

设一个撇、捺笔段 $S_1^{45^\circ}$ 、 $S_1^{135^\circ}$ 的起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2)\}$,另一个撇、捺笔段 $S_2^{45^\circ}$ 、 $S_2^{135^\circ}$ 的起止点坐标为 $\{(x_3, y_3), (x_4, y_4)\}$,若两个撇、捺笔

段的列间距 $d_5 = |x_3 - x_2|$ 和行间距 $d_6 = |y_3 - y_2|$ 均小于阈值 2, 则将第 2 个撇、捺笔段平移至第 1 个撇、捺笔段所在的方向上, 并补充齐两个撇、捺笔段之间所缺的像素点, 整合后的撇笔段 $\hat{S}_1^{45^\circ}$ 起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_1 - 2, y_4)\}$, 捺笔段 $\hat{S}_1^{135^\circ}$ 起止点坐标为 $\{(x_1, y_1), (x_1 + 2, y_4)\}$ 。

3 手写体汉字仿生模式识别

3.1 仿生模式识别方法^[9]

王守觉院士从人类认识事物的角度出发, 发展了一套全新的模式识别理论体系。在文献[9]中提出了“仿生模式识别”的概念, 作为“仿生模式识别”的实现手段, 提出了“多权值神经网络”算法。仿生模式识别“认识”事物的实现过程是利用多权值高阶神经网络通过建立高维空间封闭超曲面来完成对事物最佳覆盖的过程。一个多权值神经元性能的通用表达式为

$$Y = f[\varphi(W_1, W_2, \dots, W_m, X) - \theta] \quad (2)$$

式中, W_1, W_2, \dots, W_m 为 m 个权值矢量; X 是输入矢量; φ 为由多权值矢量神经元决定的计算函数(多个矢量输入, 一个标量输出); θ 为多权值神经元的激活阈值; f 为非线性转移函数。

这里用双权值突触高阶神经元数学模型对封闭超曲面 $\varphi(W_1, W_2, \dots, W_m, X) = 0$ 进行描述。一个双权值突触高阶神经元具有两个权值: 方向权值和核心权值, 其所采用的基本的计算模型如下:

$$Y = f\left\{\sum_{j=1}^n \left[\frac{w_j(x_j - \hat{w}_j)}{|w_j(x_j - \hat{w}_j)|} \right]^Q |w_j(x_j - \hat{w}_j)|^P - \theta\right\} \quad (3)$$

式中, Y 为神经元的输出, f 为神经元的激励函数, θ 为神经元的激活阈值, x_j 为第 j 个输入端输入 ($j=1, 2, \dots, n$), n 为空间的维数, w_j 和 \hat{w}_j 为由第 j 个输入端接至神经元的方向权值和核心权值, Q 为决定单项正负号方法的参数, P 为幂参数。其中, 神经元的方向权值和核心权值的取值方法参见文献[9]。

3.2 手写体汉字仿生模式识别

由于手写体汉字的笔划具有很大的形变, 致使笔划难以提取和表征。但由于椭圆与汉字笔划外形较为接近, 因此可以用一组关联的双权值椭圆形神经元对汉字笔划进行覆盖, 并可通过设定每个笔段的双权值椭圆形神经元来表征各个笔段。由式(3)可得, 手写体汉字笔段的双权值椭圆形神经元激励

函数的具体参数可设定如下:

激励函数取

$$f(\varphi) = \begin{cases} 1 & \varphi < 0 \\ 0 & \varphi \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, 激活阈值 θ 取笔段长度, x_j 为手写体汉字笔段像素点输入(其中 $j=1, 2, \dots, n$), w_j 为 x_j 的方向权值, 长半轴长取笔段长度的一半加 2, 短半轴长取 2, 核心权值 \hat{w}_j 为神经元的中心点, 这里取笔段的中点; 参数 Q 取 0; 幂参数 P 取 2。

由于每个笔段被上述一个双权值椭圆形神经元所覆盖, 这样对笔段的研究就转为对由双权值椭圆形神经元构建的神经网络的研究。

4 手写体汉字笔划的提取和笔划相合相交数量的获取

4.1 汉字笔划的笔段合成及其容错形状

由于人类识字时会把不同的笔段组合成另一类定型的笔划, 而把同一类型笔划的不同形变视为同类笔划, 因此, 需要将原本属于一个笔划的若干个笔段进行合成。对于手写体汉字的形变, 则需要通过先验归纳来建立各类型笔划的容错形状。

经对 SCUT-IRAC HCCLIB 手写体汉字图像样本的字体类型统计分析(华南理工大学电子与通信工程系无线电新技术研究室模式识别与人工智能研究组收集整理, 含国标一级字库 3755 个汉字和 94 个常用符号、标点、英文字母等), 汉字笔划类型可归纳为表 1 中的笔划类型以及其等同的容错笔划形状。并规定若一个笔段在其方向上的长度大于 $1/3$ 归一化图像大小, 则属于长笔段, 否则为短笔段。

4.2 汉字笔划的神经网络合成

汉字笔划是由提取的笔段合成的, 而每个笔划又是由每个笔段的双权值椭圆形神经元之间的关联关系决定的, 这样对笔划的提取就转为对各笔段双权值椭圆形神经元和神经元位置的拓扑结构分析。

神经网络合成时, 将 4 幅覆盖横、竖、撇、捺笔段的双权值椭圆形神经元子图像叠加, 并根据叠加图像判断两个笔段是否合成为一个笔划。汉字笔划神经元合成和相合相交关系判断规则定义为:

定义 2 汉字笔划神经元合成规则

规定笔段双权值椭圆形神经元 Y 的首部是指椭圆长轴的起点; 前部是指从椭圆长轴的起点至长轴的 $1/4$ 长度处之间的椭圆部分; 中部是指从椭圆

表 1 笔划的笔段合成及其容错形状

Tab. 1 Stroke segments combination and fault tolerant shapes of stroke

笔划类型	笔划名称	笔划形状	笔划的笔段合成及其容错形状
1. 横	横	—	⑤、①、③+⑤、③、④
2. 竖	竖		⑥、②、③、④、⑥+③
3. 撇	竖撇	ノ	⑥+③、⑥
	横撇	一ノ	③+⑤、⑤
	撇	ノ	③、①
4. 捺	点	・	④、①、②
	捺	㇏	④、⑧+①、⑧、⑧+③、①、②
5. 右折	横勾	㇇	⑤+③、⑤+②
	横折勾	㇇	⑤+⑥+④、⑤+⑥+①、⑤+⑥、①+⑥+④、①+⑥+①、①+⑥
	横撇	㇇	①+⑦、①+②+⑦、③+⑦、③+②+⑦
	横折	㇇	⑤+⑥、⑤+②、①+⑥、①+②
	右竖勾	㇇	⑥+④、⑥+①、⑥
	弯勾	㇇	④+⑦+④、④+⑦、②+⑦+④、②+⑦+②、②+③、②+③+④、②+③+②
	竖折	㇇	⑥+⑤、⑥+①、②+⑤、②+①
	竖折勾	㇇	⑥+⑤+②、⑥+⑤+④、⑥+①+②、⑥+①+④、②+⑤+②、②+⑤+④、②+①+②、②+①+④
6. 左折	左竖勾	㇇	⑥+③、⑥+①、⑥
	撇折	㇇	③+⑧、③+①、③+④、②+③+①、②+③+④
	斜勾	㇇	⑧+②、⑧、⑧+③ ④+⑤+②、⑥+⑤+④、④+⑤+④、⑥+⑤+②

注:①②③④⑤⑥⑦和⑧分别表示短横、短竖、短撇、短捺、长横、长竖、长撇和长捺。

长轴的 1/4 长度处至长轴的 3/4 处之间的椭圆部分;轴线是指椭圆的长轴。

若笔段神经元 Y_1 的前部和笔段神经元 Y_2 前部相交,且神经元类型符合表 1 中所列举的笔段组合中的某一种,则神经元 Y_1 和 Y_2 所覆盖的笔段需要合成,合成后的新笔段用 $S = Y_1 \cup Y_2$ 表示。

根据定义 2 重复对图像进行笔划合成,直至图像中无满足定义 2 中条件的两两笔段,则笔划合成结束,最终被合成的笔划为 $S_{v,u}$ (其中笔划类型 $v = 1, 2, \dots, 6$, 笔划数量 $u = 1, 2, \dots, k$)。

4.3 汉字笔划相合相交结构类型判别

分析汉字的笔划拓扑结构形式可知,其本质可以分为相合和相交^[7]两类笔划组合结构类型。所谓相合,即指那些笔划间相连聚合而不相穿透在一起的笔划组合结构形式。所谓相交,即指那些笔划间相互穿透,全部交织在一起的笔划组合形式。本文根据表 1 笔划类型包含的形式,规定了笔划相合相交组合结构类型及其容错形状如表 2 所示。

定义 3 汉字笔划神经元相合相交类型的判别规则

(1) 若笔划神经元 S_1 的首部越过笔划神经元 S_2 中部轴线的距离为 1 或 2,则神经元 S_1 和 S_2 所覆盖的笔划构成一个相合关系。

(2) 若笔划神经元 S_1 的中部越过笔划神经元 S_2 中部轴线的距离大于等于 3,则神经元 S_1 和 S_2 所覆盖的笔划构成一个相交关系。

根据定义 3 对图像进行笔划相合相交关系判断,统计笔划相合和相交数量。

4.4 手写体汉字的特征知识获取

经过上述步骤的笔划合成和相合相交关系判断,就可得到笔段、笔划、相合和相交的统计数量值,从而建立识别手写体汉字的特征知识库。

定义 4 设被识别手写体汉字笔划合成前有 n 个笔段神经元 Y_p ($p = 1, 2, \dots, n$),根据最终得到的笔划合成和笔划相合相交类型判别结果:

(1) 将未参与合成的笔段神经元归为表 1 中的

表 2 笔划相合相交结构类型及其容错形状

Tab. 2 Joint and intersection structure style and fault tolerant shapes of stroke

笔划相合和相交类型	类型名称	类型形状	笔划的相合相交结构类型及其容错形状
1. 笔划相合	上相合	⊥	①+②、⑤+⑥、⑤+②
	下相合	⊥	①+②、⑤+②、⑤+⑥、①+⑥
	左相合	┌	③+①、①+⑥
	右相合	┐	①+⑥
2. 笔划相交	正相交	+	⑤+⑥、①+②、⑤+②、①+⑥、⑤+⑦、⑤+⑧、①+⑧、①+③
	斜相交	×	③+④、⑦+⑧

注: ①②③④⑤⑥⑦和⑧分别表示短横、短竖、短撇、短捺、长横、长竖、长撇和长捺。

容错笔划类型, 并统计归类后的各类型笔段数量;

(2) 将合成后的笔划神经元归为表 1 中的容错笔划类型, 并统计归类后的各类型笔划数量;

(3) 将被识别手写体汉字图像进行水平二等分, 再分别统计上下子图像中未参与合成的横笔段神经元数量;

(4) 将被识别手写体汉字图像进行垂直二等

分, 再分别统计左右子图像中未参与合成的竖笔段神经元数量;

(5) 根据表 2 所规定的笔划相合相交结构类型及其容错形式, 并按照定义 3 中对笔划神经元进行相合相交结构类型判别, 再统计笔划神经元相合相交结构的数量;

(6) 获取手写体汉字特征知识的数据结构表。

表 3 手写体汉字的特征知识数据结构表

Tab. 3 Characteristic knowledge database table of handwritten Chinese characters

未合成笔段标识符	笔段类型	笔段位置数量	笔段数量	合成笔划标识符	笔划类型	笔划数量	笔划相合相交数量
0	1	XX	xx	1	1	xx	00
0	2	YY	xx	1	2	xx	00
0	3		xx	1	3	xx	00
0	4		xx	1	4	xx	00
0	5		00	1	5	xx	00
0	6		00	1	6	xx	00
0	7		00	1	7	xx	xx
0	8		00	1	8	xx	xx

注: XX 表示上和下子图像中未参与合成的横笔段类型的数量, YY 表示左和右子图像中未参与合成的竖笔段类型的数量, xx 表示笔划统计数量值。

5 手写体汉字的识别

由定义 4 建立 GB-2312 仿宋体标准印刷汉字特征知识的数据结构表的样本库, 与获取的被识别手写体汉字特征知识的数据结构表进行匹配。

定义 5 印刷体与手写体变形的笔段整合、笔划组合、笔段位置数量以及笔划相合相交存在着差

异性, 其制定的容错性匹配方法如下:

①完全一致性方法

IF 被识别手写体与印刷体汉字两者的特征知识数据结构表中笔段和笔划数量;

AND 每个位置笔段数量;

AND 笔划相合相交数量完全一致;

THEN 手写体汉字被成功匹配识别。

②撇捺容错性方法

IF 被识别手写体与印刷体汉字两者的特征知识数据结构表中笔段和笔划类型3(撇)或4(捺)数量均相差 $\leq \pm 1$, 其他笔段和笔划数量完全一致;

AND 未参与合成的横竖位置笔段数量相差均分别 $\leq \pm 1$;

AND 笔划相合相交数量相差均分别 $\leq \pm 1$;

THEN 手写体汉字被成功匹配识别。

③笔划形状组合容错性方法

IF 被识别手写体与印刷体汉字两者的特征知识数据结构表中笔段与笔划类型数量之和相等;

AND 未参与合成的横竖位置笔段数量均分别相差 $\leq \pm 1$;

AND 笔划相合相交数量相差均分别 $\leq \pm 1$;

THEN 手写体汉字被成功匹配识别。

④笔段位置数量容错性方法

IF 被识别手写体与印刷体汉字两者的特征知识数据结构表中笔段和笔划数量完全一致;

AND 未参与合成的横竖位置笔段数量相差均分别 $\leq \pm 1$;

AND 笔划相合相交数量完全一致;

THEN 手写体汉字被成功匹配识别。

⑤笔划相合相交数量容错性方法

IF 被识别手写体与印刷体汉字两者的特征知识数据结构表中笔段和笔划数量;

AND 每个位置笔段数量完全一致;

AND 笔划相合相交数量相差均分别 $\leq \pm 1$;

THEN 手写体汉字被成功匹配识别。

6 实验与仿真

识别步骤如下:

(1) 将手写体汉字经过笔段提取和整合处理, 先通过式(3)和(4)设定4幅覆盖横、竖、撇、捺笔段

的双权值椭圆形神经元子图像, 然后叠加为一幅覆盖每个笔段的双权值椭圆形神经元合成图像。

(2) 将笔段神经元合成为表1规定的笔划神经元, 然后对每个可能发生形变的神经元分别构造容错神经元, 并均视为同类型笔划的神经元, 同时将合成后的笔划和未合成的笔段神经元的类型和数量分类统计出来。

(3) 分别统计上下(左右)子图像中未参与合成的横笔段(竖笔段)神经元的数量。

(4) 根据表2, 按照定义3统计合成后的笔划神经元的相合相交数量。

(5) 根据定义4获取手写体汉字特征知识的数据结构表。

(6) 根据定义5匹配方法进行匹配, 若手写体汉字与某个印刷体汉字样本的特征知识的数据结构表满足上述匹配方法中的任一条, 则认为匹配成功, 识别完成。否则为不匹配, 拒绝识别。

为验证本文方法的识别效果, 在 SCUT-IRAC HCCLIB 手写体汉字图像样本数据库选取连笔较少的100个手写体汉字作为对象, 对应 GB-2312 仿宋体标准印刷汉字集建立样本库, 对本文方法进行了验证实验。其中, “白”、“毕”和“礼”3个汉字实验结果如图1~图6所示。

根据定义4得到的印刷体和手写体汉字“白”的特征知识数据结构如表4所示。

分别根据定义5匹配方法④, 被识别手写体汉字和印刷体汉字“白”匹配成功, 识别完成。

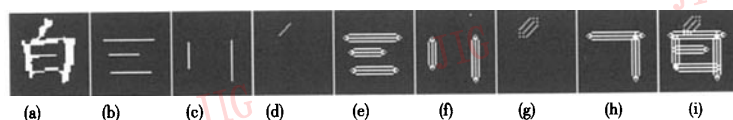


图1 印刷体汉字“白”的实验结果

Fig. 1 Experiment result of printed “白”

(a) 为印刷体汉字原图, (b) ~ (d) 为提取得到的横、竖、撇笔段, (e) ~ (g) 为被双权值椭圆形神经元覆盖的横、竖、撇笔段, (h) 为根据定义2合成的笔划以及根据表1给出的长横+长竖=横折, (i) 为笔划神经元覆盖叠加图

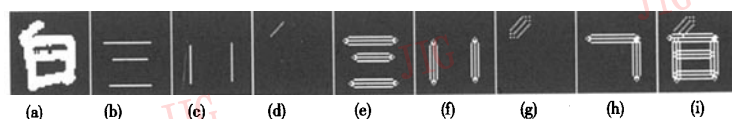


图2 手写体汉字“白”的实验结果

Fig. 2 Experiment result of handwritten “白”

(a) 为手写体汉字原图, (b) ~ (d) 为提取得到的横、竖、撇笔段, (e) ~ (g) 为被双权值椭圆形神经元覆盖的横、竖、撇笔段, (h) 为根据定义2合成的笔划以及根据表1给出的长横+长竖=横折, (i) 为笔划神经元覆盖叠加图

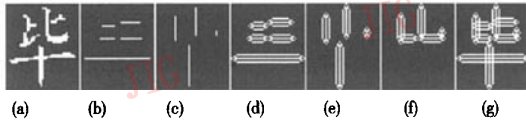


图 3 印刷体汉字“毕”的实验结果

Fig. 3 Experiment result of printed “毕”

(a) 为印刷体汉字原图, (b), (c) 为提取得到的横和竖笔段, (d), (e) 为被双权值椭圆形神经元覆盖的横和竖笔划, (f) 为根据定义 2 合成的笔划以及根据表 1 给出的短竖 + 短横 = 竖折和短竖 + 短横 + 短竖 = 竖折勾, (g) 为笔划神经元覆盖叠加图

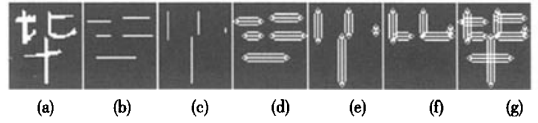


图 4 手写体汉字“毕”的实验结果

Fig. 4 Experiment result of handwritten “毕”

(a) 为手写体汉字原图, (b), (c) 为提取得到的横和竖笔段, (d), (e) 为被双权值椭圆形神经元覆盖的横和竖笔划, (f) 为根据定义 2 合成的笔划以及根据表 1 给出的短竖 + 短横 = 竖折和短竖 + 短横 + 短竖 = 竖折勾, (g) 为笔划神经元覆盖叠加图

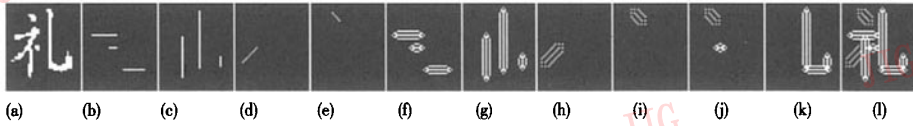


图 5 印刷体汉字“礼”的实验结果

Fig. 5 Experiment result of printed “礼”

(a) 为印刷体汉字原图, (b) ~ (e) 为提取得到的横、竖、撇、捺笔段, (f) ~ (i) 为被双权值椭圆形神经元覆盖的横、竖、撇、捺笔划, (j) 为横笔划类型的容错捺笔划和捺笔划类型的容错横笔划形状, (k) 为根据定义 2 合成的以及根据表 1 给出的长竖 + 短横 + 短竖 = 竖折勾, (l) 为笔划神经元覆盖叠加图

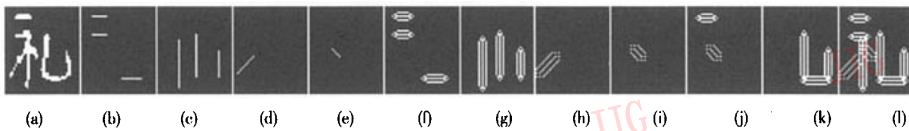


图 6 手写体汉字“礼”的实验结果

Fig. 6 Experiment result of handwritten “礼”

(a) 为手写体汉字原图, (b) ~ (e) 为提取得到的横、竖、撇、捺笔段, (f) ~ (i) 为被双权值椭圆形神经元覆盖的横、竖、撇、捺笔划, (j) 为捺笔划类型的容错横笔划和横笔划类型的容错捺笔划形状, (k) 为根据定义 2 合成的以及根据表 1 给出的长竖 + 短横 + 短竖 = 竖折勾, (l) 为笔划神经元覆盖叠加图

表 4 印刷体和手写体汉字“白”的特征知识数据结构表

Tab. 4 Characteristic knowledge data-base table of printed and handwritten “白”

未合成笔段标识符	笔段类型	笔段位置数量	笔段数量	合成笔划标识符	笔划类型	笔划数量	笔划相合相交数量
0	1	11/02	02/02	1	1	00/00	00/00
0	2	10/10	01/01	1	2	00/00	00/00
0	3		01/01	1	3	00/00	00/00
0	4		00/00	1	4	00/00	00/00
0	5		00/00	1	5	01/01	00/00
0	6		00/00	1	6	00/00	00/00
0	7		00/00	1	7	00/00	00/00
0	8		00/00	1	8	00/00	01/01

注:xx/yy 表示印刷体和手写体汉字的笔段、笔划统计数量值。

根据定义 4 得到的印刷体和手写体汉字“毕”的特征知识数据结构如表 5 所示。

分别根据定义 5 匹配方法⑤, 被识别手写体汉

字和印刷体汉字“毕”匹配成功, 识别完成。

根据定义 4 得到的印刷体和手写体汉字“礼”的特征知识数据结构如表 6 所示。

表 5 印刷体和手写体汉字“毕”的特征知识数据结构表

Tab.5 Characteristic knowledge data-base table of printed and handwritten “毕”

未合成笔段标识符	笔段类型	笔段位置数量	笔段数量	合成笔划标识符	笔划类型	笔划数量	笔划相合相交数量
0	1	21/21	03/03	1	1	00/00	00/00
0	2	10/10	01/01	1	2	00/00	00/00
0	3		00/00	1	3	00/00	00/00
0	4		00/00	1	4	00/00	00/00
0	5		00/00	1	5	00/00	00/00
0	6		00/00	1	6	02/02	00/00
0	7		00/00	1	7	00/00	02/01
0	8		00/00	1	8	00/00	01/02

注:表中第 3,4,7,8 列 xx/yy 表示印刷体和手写体汉字的笔段、笔划统计数量值。

表 6 印刷体和手写体汉字“礼”的特征知识数据结构表

Tab.6 Characteristic knowledge data-base table of printed and handwritten “礼”

未合成笔段标识符	笔段类型	笔段位置数量	笔段数量	合成笔划标识符	笔划类型	笔划数量	笔划相合相交数量
0	1	11/20	02/02	1	1	00/00	00/00
0	2	10/10	01/01	1	2	00/00	00/00
0	3		01/01	1	3	00/00	00/00
0	4		01/01	1	4	00/00	00/00
0	5		00/00	1	5	00/00	00/00
0	6		00/00	1	6	01/01	00/00
0	7		00/00	1	7	00/00	00/00
0	8		00/00	1	8	00/00	01/01

注:表中第 3,4,7,8 列 xx/yy 表示印刷体和手写体汉字的笔段、笔划统计数量值。

分别根据定义 5 匹配方法④,被识别手写体汉字和印刷体汉字“礼”匹配成功,识别完成。

7 结 论

为力图使机器实现接近人类识别汉字的灵活性和容错性。文章运用仿生识别模式对手写体汉字的“认识”进行了研究。

(1) 汉字的横、竖、撇、捺 4 类基本笔段可用仿生识别模式的双权值椭圆形神经元所覆盖,这样对笔段的研究就转化为对由双权值椭圆形神经元构建的研究。

(2) 人类识字时具有把几种类型笔段合成视为一种类型笔划的能力,这样对笔划的提取就转化为对各笔段双权值椭圆形神经元和神经元位置的拓扑结构分析。

(3) 模仿人类归纳的汉字形码输入法,这样对汉字的表征就转化为统计笔划类型的笔段合成以及容错形状的神经元类型和数量、未参与合成的横竖笔段神经元位置数量和笔划神经元相合相交的数量,用于建立手写体汉字特征知识的数据结构表。

(4) 仿人学习记忆与对比判断的功能,先验地建立标准印刷汉字的样本知识库,并进行容错匹配识别。

本方法对于简单的书写较为规范的手写体汉字识别效果是令人满意的,但对复杂草书连笔手写体汉字的实验效果还不够理想。需改进提高的方面有:

(1) 更好地提取和整合复杂手写体汉字的笔段,以提高机器“认识”笔段类型的灵活性和准确性。

(2) 解决手写体汉字容错性匹配识别中的重码率。

参考文献 (References)

- 1 Zhang Hui, Zhou Hong-xiang, He Zhen-ya. Feature extraction and recognition of human face based on principal component analysis neural networks [J]. *Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 1996, 9(1):52~57. [张辉,周洪祥,何振亚. 基于主元分析神经网络的人脸特征提取及识别研究[J]. 模式识别与人工智能, 1996, 9(1):52~57.]
- 2 Lin Shang-huang, Kung Sun-yuan, Lin Long-ji. Face recognition/detection by probabilistic decision-based neural network [J]. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1997, 8(1):114~132.
- 3 Intrator N, Reissfeld D, Yeshurun Y. Extraction of facial features for recognition using neural networks [A]. In: *Proceedings of International Workshop on Automatic Face and Gesture Recognition [C]*, Zurich, Switzerland, 1995: 260~265.
- 4 Zhu Xiao-ping, Gu Hong-bin. Contemporary research Chinese characters and words recognition [J]. *Psychological Science*, 1992, 15(1):40~45. [朱晓平,顾泓彬. 汉语字词识别研究的现状[J]. 心理科学, 1992, 15(1):40~45.]
- 5 Bian Zhao-qi, Zhang Xue-gong, et al. *Pattern Recognition [M]*. Beijing: Tsinghua University Press, 2000: 315~329. [边肇祺,张学工等. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社, 2000:315~329.]
- 6 Yang Sen, Zhang Wei-lin, Chen Huai-min. *Computers input coding of Chinese character dictionary [M]*. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1995:581~606,665~673. [杨森,张伟林,陈怀民. 计算机汉字输入编码字典[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 1995:581~606,665~673.]
- 7 Lin Fei. *The study of Handwritten Chinese Characters Recognition [D]*. Hefei: Hefei University of Technology, Marster Dissertatio, 2006:13~14. [蒯菲. 手写体汉字识别的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,硕士学位论文,2006:13~14.]
- 8 Zhao Yu-ming, Jiang Xing-zhi, Shi Peng-fei. Algorithm for off-line handwritten Chinese character segmentation based on extracting and knowledge-based merging of stroke bounding boxes [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, 31(1):23~27. [赵宇明,江兴智,施鹏飞. 基于笔划提取和合并的离线手写体汉字字符切分算法[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(1):23~27.]
- 9 Wang Shou-jue, Qu Yan-feng, Li Wei-jun, et al. Face recognition: biomimetic pattern recognition vs. traditional pattern recognition [J]. *Acta Electronica Sinic*, 2004, 32(7):1057~1061. [王守觉,曲延锋,李卫军等. 基于仿生模式识别与传统模式识别的人脸识别效果比较研究[J]. 电子学报, 2004, 32(7):1057~1061.]