

# 面向联机书写指导的触摸笔迹信息前置处理\*

覃冰梅, 戴永, 樊亮

(湘潭大学信息工程学院, 湖南湘潭 411105)

**摘要:** 为了使联机文字书写指导系统对用户书写过程产生的指导意见客观性更强, 针对不规范书写行为, 将触摸书写的笔迹噪声信息分为白色、黑色和抖动三种类型。白色噪声由线性插值算法消除, 黑色噪声采用阈值去重算法消除, 抖动噪声则通过基于关键点求解的虚拟平滑算法消除。实验结果表明, 该方法为文字书写指导系统进行实时书写分析提供了真实、有效和可信的数据环境。

**关键词:** 书写指导; 前置处理; 噪声; 线性插值; 虚拟平滑

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2012)09-3365-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.043

## Pre-processing of handwriting information for online writing guidance

QIN Bing-mei, DAI Yong, FAN Liang

(College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan Hunan 411105, China)

**Abstract:** In order to make the guidance more objective on users' handwriting, which was from the online writing guidance system, and for non-standard writing behavior, touch writing noise was divided into white, black and shake. The corresponding processing methods included linear interpolation to eliminate white noise, threshold duplicate removed to eliminate black noise, and virtual smooth based on key point calculation to eliminate shake noise. The test result shows that this method provides a real, valid and reliable data environment for writing guidance system in real-time analysis.

**Key words:** handwriting guidance; pre-processing; noise; linear interpolation; virtual smooth

以触摸屏作为书写材质有三种基本用途:a)作为手写字符识别和手绘图形识别输入工具<sup>[1-3]</sup>,相应的技术为手写或手绘模式识别技术;b)作为电子白板<sup>[4]</sup>,相应的技术为手绘真迹显示与手绘模式识别结合技术;c)作为文字书写教具<sup>[5,6]</sup>,相应的技术为文字书写过程分析技术。对于手绘真迹显示,由于没有后续处理环节,不需要获取用于后续处理的相关笔迹信息,因而基本不需要进行严格的前置处理。对于手绘模式识别,为了使分类算法有较好的鲁棒性,前置处理的目的是为了凸显笔迹的不变性结构,因而前置处理的内容通常较多,力度也较大。对于文字书写教具,基于文字模板的指导系统无须严谨的前置处理;而自由式书写的指导系统则对前置处理有其独特要求,基本宗旨是前置处理既要尽可能保留可供指导的笔迹结构信息,又要去掉对分析或产生书写指导意见无参考价值的噪声,确保系统产生指导意见是源于可信数据环境。比较三方面用途的处理要求,显然,用于文字书写指导的前置处理与其他用途的前置处理有着重大的不同,严密、成熟的手写手绘模式识别输入的前置处理技术用于文字书写指导的前置处理有很大局限性。随着无纸化学习观念的不断普及、深入人心,以触摸屏代替纸质文字书写练习本已是大势所趋。基于触摸屏的文字书写指导过程实现一般包括笔迹信息获取、前置处理、笔画基元特征抽取、笔画分析、笔画关系分析、部件关系分析、书写质量评价、书写结果打分等众多工作环节,其中前置处理是笔迹信息获取后处理过程的最基础环节。该环节工作质量

的好坏,将直接影响笔画基元特征抽取的正确性、鲁棒性等,进而影响后续各环节的工作质量及系统的书写指导质量。

### 1 噪声分析

受客观和主观因素的影响,在触摸屏上书写文字难免出现噪声。图1是一位二年级学生在触摸习字系统中练字结果的部分有典型意义的截图,图2是与截图对应的未进行前置处理的真迹点阵放大图。图2(a)表明图1(a)文字笔画中笔迹点分布非常稀疏,出现相邻两点之间距离过大的现象,造成此现象主要是因为用户书写时行笔过快或飘笔。图2(b)表明图1(b)文字笔画中笔迹点疏密不均,两个笔画在落笔点附近出现笔迹点聚集而第二个笔画在提笔点附近出现相邻笔迹点距离较大的现象,造成此现象主要是因为用户在落笔处书写行笔过慢或顿笔而在收笔时过快或飘笔;图2(c)表明图1(c)文字笔画中存在笔迹点偏离主干位置的现象,这是因为书写时笔尖与触摸屏硬碰硬产生抖动所致,抖动时笔力不均,时快时慢,导致出现飘笔,此外也有可能是由于书写者对文字结构不熟悉致使使用笔力度不均。图2(d)表明图1(d)文字笔画中笔迹点分布均匀,但仍然存在笔迹点偏离主干位置现象。

书写笔画的笔迹点分布不均匀和不规整性可归纳为三类问题:

a)点与点之间距离过大,称之为白色噪声,一般由飘笔书写导致。噪声大小取决于书写速度与系统对笔迹的采样频率的匹

**收稿日期:** 2012-02-12; **修回日期:** 2012-03-22      **基金项目:** 湖南省高校科技创新平台开放基金资助项目(09K040);湖南省重点学科资助项目

**作者简介:** 覃冰梅(1986-),女(壮族),广西贵港人,硕士研究生,主要研究方向为模式识别(qinbingmei@163.com);戴永(1956-),男,教授,研导,主要研究方向为人工智能、模式识别;樊亮(1985-),男,硕士研究生,主要研究方向为模式识别。

配度,匹配度高噪声小;反之噪声大,说明书写时飘笔严重。

b) 笔迹点出现聚集现象,称之为黑色噪声,主要原因为行笔过慢或顿笔,致使同一非笔画结构交叉笔迹点多次无益采样。

c) 笔迹点偏离主干位置,称之为抖动噪声,其可由客观或主观因素引起。

白色噪声分为可消除和不可消除两大类。可消除是指未采集到的笔迹点可通过软件按预测笔迹重构;不可消除是指未采集到的笔迹点无法预测其笔迹进行重构。黑色噪声的主要危害是增加笔迹数据的冗余度及加大笔迹结构的复杂度。抖动噪声根据抖动大小分为可消除和不可消除两大类。可消除是指抖动幅度小,不需要产生指导意见;不可消除是指抖动幅度大,形成新笔段,它是笔形分析产生指导意见的依据。三类噪声处理的好坏直接影响笔迹走向及结构的分析,进一步影响书写指导意见的合理性。

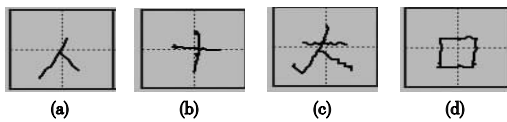


图1 触摸习字系统中练习结果的部分截图

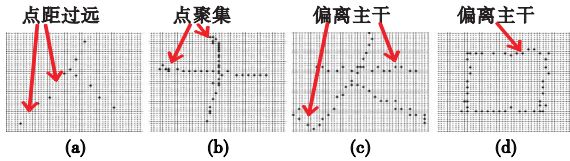


图2 真迹点阵放大图

## 2 笔迹信息获取

### 2.1 笔迹信息采集

面向书写指导的笔迹信息采集为实时跟踪获取,只能一次性采集。嵌入式系统  $\mu\text{OS}$  按固定的时间间隔  $T$  对当前触摸笔所在的位置进行坐标采集,由此得到具有时间先后顺序的二维坐标点集。用  $P$  表示采集到的点集,  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  是通过  $n$  次采样获得,  $p_i (1 \leq i \leq n)$  为触摸屏在第  $i$  次采样采集到的笔尖触摸点对应的二维坐标  $(x_i, y_i)$ 。

### 2.2 笔迹信息重构

设  $v_i (i = 2, 3, \dots, n)$  表示笔尖从第  $i-1$  笔迹点到第  $i$  笔迹点移动的速度,  $\mu\text{OS}$  设置的  $T$  考虑了人们的一般书写速度,用直线线段拟合两点之间的路径,则两点的直线间距为

$$g(p_i, p_{i-1}) = v_i T \quad (1)$$

式(1)表明,相邻两笔迹点之间的书写速度越快,  $g(p_i, p_{i-1})$  越长。速度不等,  $g(p_i, p_{i-1})$  不同。取

$$g(p_i, p_{i-1}) = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (2)$$

用相邻两点之间的像素点数目表达  $g(p_i, p_{i-1})$ , 结合式(1)(2)可知,  $v_i$  越高,  $g(p_i, p_{i-1})$  越长, 反之越短。  $v_i$  不均匀使得  $g(p_i, p_{i-1})$  长度不等。  $g(p_i, p_{i-1})$  越短, 笔迹结构越接近真实笔迹,  $g(p_i, p_{i-1})$  越长笔迹越失真。令  $\gamma$  为过度飘笔阈值, 当  $g(p_i, p_{i-1}) \geq \gamma$  时, 说明  $p_i$  和  $p_{i-1}$  两点之间出现的白色噪声不可消除, 书写指导系统给出指导意见“书写过快”, 并进入相应的后续工作模块; 否则进入笔迹重构。笔迹重构是指当  $g(p_i, p_{i-1}) < \gamma$  时对空白笔迹点进行直线插值处理, 从而消除  $v_i$  对后续笔迹信息分析的影响。

直线插值模型为以下四组表达式:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{|x_i - x_{i-1}|}{\eta} - 1 & \text{当 } |x_i - x_{i-1}| \% \eta = 0 \text{ 时} \\ \frac{|x_i - x_{i-1}|}{\eta} & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$$f(y) = \begin{cases} \frac{|y_i - y_{i-1}|}{\eta} - 1 & \text{当 } |y_i - y_{i-1}| \% \eta = 0 \text{ 时} \\ \frac{|y_i - y_{i-1}|}{\eta} & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} y = k_x \cdot x + b_x \\ x = x_{i-1} + \text{sgn} \cdot \lambda \cdot \eta \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} x = k_y \cdot y + b_y \\ y = y_{i-1} + \text{sgn} \cdot \lambda \cdot \eta \end{cases} \quad (6)$$

当  $|x_i - x_{i-1}| \geq |y_i - y_{i-1}|$  时, 用式(3)求两点之间插入点的数目, 根据式(5)计算各个插入点的坐标值; 否则, 用式(4)求两点之间插入点的数目, 根据式(6)计算各个插入点的坐标值。插值模型中  $k_x = (y_i - y_{i-1}) / (x_i - x_{i-1})$ ,  $b_x = y_{i-1} - k_x \cdot x_{i-1}$ ,  $k_y = (x_i - x_{i-1}) / (y_i - y_{i-1})$ ,  $b_y = x_{i-1} - k_y \cdot y_{i-1}$ ;  $\lambda$  表示在相邻两点之间插入的第  $\lambda$  个点,  $\eta$  表示插点的步长;  $\text{sgn}$  表示坐标变换符号, 即当  $x_i - x_{i-1} > 0 (y_i - y_{i-1} > 0)$  时,  $\text{sgn} = 1$ , 当  $x_i - x_{i-1} < 0 (y_i - y_{i-1} < 0)$  时,  $\text{sgn} = -1$ , 否则  $\text{sgn} = 0$ 。

用  $P'$  表示直线插值重构后的点集, 设点集  $P$  插入了  $m$  个点, 则  $P' = \{p'_1, p'_2, \dots, p'_\alpha\}$ , 其中  $\alpha = n + m$ 。

算法1 笔迹直线插值重构。

输入:  $P$ ;

输出:  $P'$ 。

注释:  $p_{i\lambda} (x_{i\lambda}, y_{i\lambda})$  表示在第  $i$  点之后第  $i+1$  点之前插入的第  $\lambda$  个点坐标值,  $\text{num}$  表示两点之间插入点数目

a)  $i \leftarrow 2, j \leftarrow 1, p'_j \leftarrow p_{i-1}, j++$ ;

b)  $i > n$ ? 是则转 f); 否则  $\lambda \leftarrow 1$ ;

c)  $|x_i - x_{i-1}| < |y_i - y_{i-1}|$ ? 是则  $\text{num} \leftarrow f(y)$ , 转 e); 否则  $\text{num} \leftarrow f(x)$ ;

d)  $\lambda > \text{num}$ ? 是则  $p'_j \leftarrow p_i, j++, i++,$  转 b); 否则由式(5)求出  $p_{(i-1)\lambda} \cdot \lambda, p'_j \leftarrow p_{(i-1)\lambda}, j++, \lambda++,$  转 d);

5)  $\lambda > \text{num}$ ? 是则  $p'_j \leftarrow p_i, j++, i++,$  转 b); 否则由式(6)求出  $p_{(i-1)\lambda} \cdot \lambda, p'_j \leftarrow p_{(i-1)\lambda}, j++, \lambda++,$  转 e);

f) 结束。

经过插点处理后的点集变成了点距基本均匀的离散点集, 消除了白色噪声, 即排除了速度对笔迹信息的影响, 从而可以根据点的数目来估算笔迹的长度或抖动的幅度, 按照笔迹点坐标变化分析书写过程中出现的黑色、抖动噪声及笔画的书写结构等。

## 3 黑色与抖动噪声处理

### 3.1 黑色噪声消除

笔迹点集中出现相同点源自两种情况: a) 笔迹结构存在交点; b) 由于书写过慢或顿笔造成的黑色噪声。由于笔迹点形成具有有序性, 笔画结构交点的基本特征是相同坐标的笔迹点的位置索引有一定的差值, 而黑色噪声的基本特征为相同坐标的笔迹点位置索引差值很小。根据这一结构特点, 设位置索引差值阈值为  $\zeta$ , 黑色噪声处理方法为: 当点集  $P'$  中存在  $p'_i = p'_j$  且  $j - i \leq \zeta$  时, 则将  $p'_j$  删除, 其中  $0 < i < j < \alpha$ 。设黑色噪声处理后的点集为  $P''$ , 去重处理后  $P'$  删除了  $q$  个点, 则  $P'' = \{p''_1, p''_2, \dots, p''_\beta\}$ , 其中  $\beta = \alpha - q$ 。

### 3.2 抖动噪声处理

经过直线插值重构和去重处理后的笔迹信息点集已接近于真实笔迹,影响笔迹分析效果的因素主要是抖动噪声。由于面向书写指导不能改变书写的真实笔迹,因此对抖动噪声要根据方向序列码和关键点进行虚拟平滑。关键点在笔迹结构分析中起着举足轻重的作用,其包括起点、终点以及可以将笔迹分段的转折点。借鉴文献[7],设噪声门限值为 $\delta$ , $P''$ 中所有点到由该集合两端点连接直线的最大距离为 $h$ ,如果 $h \leq \delta$ ,则认为 $P''$ 中没有转折点;否则由由两端点连接直线距离最大的点就是笔迹的一个转折点,以此转折点可以将 $P''$ 划分为两个子点集,再以递归法求两个子点集中的转折点,即可求得 $P''$ 的所有转折点。如图3所示,如点集中所有点到由两端点 $A$ 和 $D$ 的连接直线的最大距离 $h_1 > \delta$ ,其对应的点 $B$ 就是点集中的转折点,以 $B$ 为划分点,将点集划分为两个子点集,再以递归方法求两个子点集的转折点就可以求得图中点集的所有转折点。

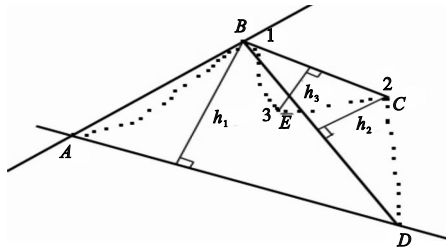


图3 转折点的确定

用容器 $K$ 保存 $P''$ 的转折点位置索引,求 $P''$ 的所有转折点位置索引可由算法2完成。

#### 算法2 求笔迹的所有转折点位置索引集

输入: $P''$ ;

输出: $K$ 。

注释: $dm(s, e)$ 是求 $P''$ 中第 $s$ 点和第 $e$ 点之间的点到由 $p''_s$ 和 $p''_e$ 组成直线的最大距离, $getln(s, e)$ 是求 $dm(s, e)$ 对应点的位置索引。

a)  $s \leftarrow 1, e \leftarrow \beta$ ;

b)  $dm(s, e) > \delta$ ? 是则  $k \leftarrow getln(s, e)$ , 将 $k$ 存入 $K$ , 转到 c) 和 d) 递归求出转折点位置索引; 否则转 e);

c)  $s \leftarrow 1, e \leftarrow k$ , 用递归法求 $P''$ 中第 $s$ 点和第 $k$ 点之间的转折点;

d)  $s \leftarrow k, e \leftarrow \beta$ , 用递归法求 $P''$ 中第 $s$ 点和第 $k$ 点之间的转折点;

e) 将 $K$ 内元素进行升序排序, 结束。

求出笔迹的转折点位置索引集后, 将1和 $\beta$ 存入 $K$ , 并将 $K$ 内元素进行升序排序, 即可求出笔迹的关键点位置索引集。在 $K$ 的基础上凸显可产生指导意见的关键点, 进一步对 $P''$ 进行虚拟平滑。虚拟平滑是指在保留实际笔迹的基础上, 为实现某单一逻辑需求而进行的平滑处理, 处理结果另存, 不用于笔迹显示, 不作为强制性公共数据。虚拟平滑通过方向序列码和方向计数器实现。方向序列码分为 $x$ 和 $y$ 方向序列码, 表示点集在 $x$ 和 $y$ 方向上的坐标值单调变化情况。设相邻两个关键点的位置索引值是 $k_i$ 和 $k_{i+1}$ , 它们之间所夹点构成的子点集为 $Q_i = \{p''_{k_i}, p''_{k_{i+1}}, \dots, p''_{k_{i+1}}\}$ , 将 $Q_i$ 进行 $x, y$ 坐标分离可获得相应的 $x, y$ 坐标集合, 用 $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{k_{i+1}-k_i+1}\}$ 表示 $Q_i$ 分离出的 $x$ 或 $y$ 坐标集,  $Z$ 对应的方向序列码可表示成如式(7)所示的向量。

$$D = [d_1, d_2, \dots, d_{k_{i+1}-k_i+1}] \quad (7)$$

$$\text{其中: } d_j = \begin{cases} 1 & z_{j+1} > z_j \\ 0 & z_{j+1} = z_j, 1 \leq j \leq k_{i+1} - k_i \\ -1 & z_{j+1} < z_j \end{cases}$$

对两个关键点之间的子点集 $Q_i$ 进行虚拟平滑, 使得其对

应的方向序列码的元素值相同。由于虚拟平滑后方向序列码的元素值相同, 因此可以用方向计数器来表示虚拟平滑后的方向序列码。方向计数器是一个数对, 其包含方向属性和统计个数。用 $c = (fl, cn)$ 表示由 $D$ 虚拟平滑后所得的方向计数器, 其中统计个数 $cn = k_{i+1} - k_i, fl \in \{1, 0, -1\}$ 是方向属性, 表示 $D$ 经过虚拟平滑后的统一值, 其值由 $\sum_{j=1}^{k_{i+1}-k_i} d_j$ 的大小决定。设有方向门限值为 $\varepsilon$ , 当 $\sum_{j=1}^{k_{i+1}-k_i} d_j > \varepsilon$ 时,  $fl = 1$ , 表示在 $cn + 1$ 个点的范围内, 坐标值逐渐增大; 当 $\sum_{j=1}^{k_{i+1}-k_i} d_j < -\varepsilon$ 时,  $fl = -1$ , 表示在 $cn + 1$ 个点的范围内, 坐标值逐渐减小; 当 $-\varepsilon \leq \sum_{j=1}^{k_{i+1}-k_i} d_j \leq \varepsilon$ 时,  $fl = 0$ , 表示在 $cn + 1$ 个点的范围内坐标值保持不变。设关键点的个数是 $sn$ , 用容器 $CX, CY$ 来保存 $P''$ 的 $x, y$ 方向计数器,  $flx_i$ 和 $fly_i$ 分别表示某子点集的 $x$ 和 $y$ 方向计数器的方向属性, 则对 $P''$ 进行虚拟平滑处理的具体实现算法如下。

#### 算法3 虚拟平滑

输入: $P'', K$ ;

输出: $CX, CY$ 。

注释: $mg(C)$ 是对计数器集合 $C$ 进行合并操作,  $c_i(fl_i, cn_i)$ 和 $c_{i+1}(fl_{i+1}, cn_{i+1})$ 中, 当 $fl_i = fl_{i+1}$ 时, 则将两计数器合并成 $c_j(fl_i, cn_i + cn_{i+1})$ 。

a)  $i \leftarrow 1$ ;

b)  $i \geq sn$ ? 是则转 c); 否则由式(7)求子集 $Q_i = \{p''_{k_i}, \dots, p''_{k_{i+1}}\}$ 的 $x, y$ 方向序列码 $DX_i$ 和 $DY_i$ , 由 $\sum_{j=1}^{k_{i+1}-k_i} d_j$ 求出方向属性 $flx_i$ 和 $fly_i, CX_i \leftarrow (flx_i, k_{i+1} - k_i), CY_i \leftarrow (fly_i, k_{i+1} - k_i), i++$ , 转 b);

c)  $mg(CX), mg(CY)$ , 结束。

$CX, CY$ 分别保留了笔画中各相邻两个关键点之间的方向计数器值, 根据 $CX$ 和 $CY$ 就可以判断转折点类型属性, 由此分析笔画的走向及结构。转折点的类型是根据相邻两个方向计数器的方向属性判定。转折点的类型及形态结构如表1所示。

表1 转折点的类型及形态结构

| 类型   | 形状 | tempx   | tempy   | 备注              |
|------|----|---------|---------|-----------------|
| 左极点  | <  | < -1, 1 |         |                 |
| 右极点  | >  | < 1, -1 |         |                 |
| 上极点  | ^  |         | < -1, 1 |                 |
| 下极点  | v  |         | < 1, -1 |                 |
| 左上拐点 | ┐  | < -1, 0 |         | $y_{i+1} > y_i$ |
| 左下拐点 | └  | < 0, 1  |         | $y_{i-1} < y_i$ |
| 右上拐点 | ┌  | < 1, 0  |         | $y_{i+1} > y_i$ |
| 右下拐点 | ┘  | < 0, -1 |         | $y_{i-1} < y_i$ |

触摸屏的坐标系是以左上角作为原点, 越往右 $x$ 坐标值越大, 越往下 $y$ 坐标值越大。tempx表示相邻两个 $x$ 方向计数器方向属性, tempy表示相邻两个 $y$ 方向计数器方向属性,  $p_i$ 表示转折点坐标。结合方向计数器和转折点的类型就可以判断笔迹的走向及结构, 从而分析书写结果给出合理的指导意见。

### 4 实验及结果分析

实验触摸屏为三星7寸触摸屏, 嵌入式处理器为32 bit ARM920T, 书写用笔为一般的无墨迹签字笔, 飘笔阈值 $\gamma$ 为10, 插点步长 $\eta$ 为2, 索引插值阈值 $\zeta$ 为3, 噪声门限值 $\delta$ 为5, 方向门限值 $\varepsilon$ 为3, 书写幅面为 $80 \times 80$ 像素矩形域。以图4(a)为书写图1文字的同一个用户写的另外一个“大”, 书写的三条笔画分别用 $P_{横}, P_{撇}, P_{捺}$ 表示, 原始笔迹点列入表2。图4(b)表明, 书写横时笔尖移动速度快,  $P_{横}$ 中的点分布较稀疏;

