

# 一种琥珀体汉字字形的自动生成方法\*

陆波 蔡士杰 顾进

(南京大学计算机科学与技术系, 南京 210093)

**摘要** 本文介绍了一种以圆头体字形特征为基础, 使用覆盖规则自动生成一种琥珀体曲线轮廓汉字字形的方法。

**关键词** 字形设计, 琥珀体, 圆头体, 变体, 曲线轮廓。

曲线轮廓表示是计算机汉字3种表示中的最佳形式。使用曲线轮廓表示的汉字, 可在缩放、旋转、错切等几何变换中丝毫不改变字形质量, 因而比点阵表示和矢量轮廓表示更适用于各种使用汉字的计算机应用, 尤其是电子出版和广告设计等。

但是, 曲线轮廓汉字库数据的制备难度却很大。目前的一般做法是先由写字师傅书写字模, 再使用扫描仪将字模数字化输入计算机, 最后由操作员在软件工具支持下交互地描绘字形轮廓从而生成曲线轮廓字形数据。由于汉字字体品种多, 字数庞大, 故上述方法制备曲线轮廓汉字库的成本高、周期长, 对交互描绘字形及操作员的素质要求也很高, 因此研究曲线轮廓汉字字形的自动生成技术很有必要。

琥珀体(图1(a))是常用的汉字字体之一, 因其美观、活泼的造型而在标题和广告场合中有广泛的应用。与许多字体不同的是琥珀体汉字中的笔画较粗, 在本该重迭的地方保持部分笔划完整, 而另一些笔画上则有弧形缺口, 这使得琥珀体的书写难度更大。因此, 研究琥珀体曲线轮廓字形的自动生成技术更有意义。

本文介绍一种自动生成琥珀体曲线轮廓字形的方法。该方法以构架单线体为原始数据, 通过生成一种圆头体和一种扩圆体, 并对它们进行一定的覆盖处理最终生成琥珀体。

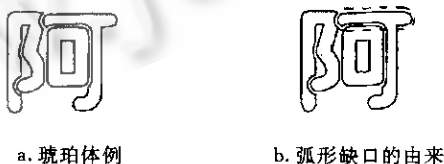


图1 琥珀体及其弧形缺口

\* 本文1994-07-18收到, 1994-10-24定稿

本文得到国家自然科学基金的资助。作者陆波, 女, 1972年生, 主要研究领域为计算机图形学, CAD。蔡士杰, 1944年生, 教授, 主要研究领域为计算机图形学, CAD, 人机交互。顾进, 女, 1969年生, 主要研究领域为计算机图形学。

本文通讯联系人: 蔡士杰, 南京 210093, 南京大学计算机科学与技术系

## 1 几个定义

为了叙述自动生成技术的方便,先对涉及的有关概念给出在本文中的定义(它们的常规定义是众所周知的)。

### ① 单线体

此处,单线体是黑体汉字的构架。其基本单位是单线笔画。单线笔画是从相应黑体笔画中抽取出来的中心线<sup>[1,2]</sup>。

### ② 圆头体

本文中的圆头体由单线体自动生成。每一圆头体笔画轮廓的两侧边线与单线体对应笔画等距离,转折处用圆弧过渡,两端以半圆弧封口(用 Bezier 曲线近似表示)。

### ③ 扩圆体

扩圆体是圆头体的轮廓按指定距离向外扩展的结果。

### ④ 琥珀体

此处,琥珀体由圆头体和它的扩圆体相互作用而得。凹缺部分均为用扩圆体轮廓按指定规则切割圆头体的部分。

### ⑤ 基于笔画的曲线轮廓汉字字形

基于笔画的曲线轮廓汉字字形由一组笔画轮廓组成。每一笔画轮廓由若干直线段和曲线段按逆时针方向,顺序连接,且最后一段的终点与第一段的始点重合,形成封闭区域。

### ⑥ 基于区域的曲线轮廓汉字字形

基于区域的曲线轮廓汉字字形由基于笔画的曲线轮廓汉字字形的所有笔画轮廓间经求交并重组轮廓而得。其轮廓线走向仍按左侧为笔画内,右侧为笔画外的原则组织。

## 2 覆盖规则

汉字有偏旁、部首的划分即笔画是分组组织的。因此,在自动生成琥珀体时按组间与组内分别确定覆盖规则。首先要对单线体笔画进行分组。

### ① 笔画分组规则

a. 两笔画之间若存在相交、相接或相切关系之一(图 2),则它们同属一个笔画组。

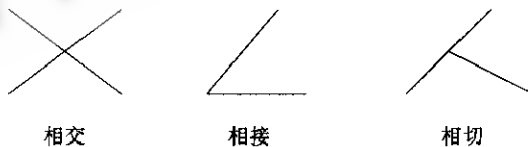


图2 两笔画同组的3种关系

b. 一笔画若和某笔画组中的任一笔画存在上述 3 种关系之一,则它也属于该笔画组。

图 3 给出了 2 个汉字的笔画分组实例。

### ② 笔画端分类规则

每一笔画均有始端与终端,统称为笔画端。其它部分则称为笔画身。笔画端有 3 种类型:

a. 自由笔画端:与其它笔画无任何关系的笔画端。

- b. 受约束笔画端:与另一笔画的端点重合的笔画端.
- c. 被截笔画端:位于另一笔画的笔画身上的笔画端.

例如,图 4(a)中笔画端 1、2、4 为自由笔画端,而笔画端 3 为被截笔画端. 在图 4(b)中,笔画端 1、2、3 全部为受约束笔画端.

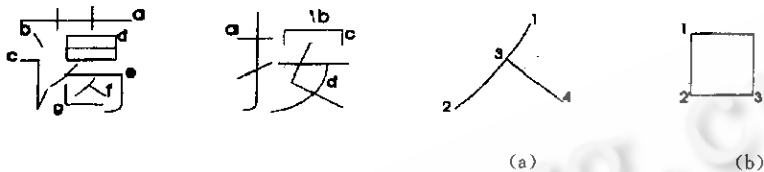


图 3 笔画分组实例

图 4 笔画端分类例

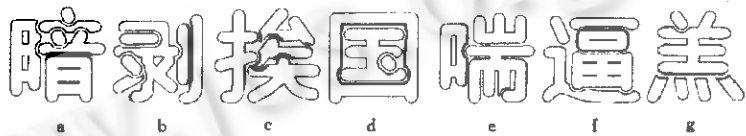


图 5

### ③ 覆盖规则

覆盖规则是当两笔画相关时判别哪一个笔画优先级高的规则. 所谓相关,是指两笔画轮廓(包括笔画端之间、笔画身之间,以及笔画端与笔画身之间)的最小距离(分离时为正,相交时为负)小于指定的尺寸. 此时,以优先级高的笔画对应的扩圆体覆盖另一笔画的圆头体. 下面从保证笔划的完整性、字形的美观性出发,列出一般规则.

规则 1: 同一笔画组内有直接相交、相接或相切关系的两笔画间无覆盖关系.

规则 2: 若两笔画不同组但互相平行,且它们在垂直于笔画走向的方向上相关,则笔画短的优先级高(图 5(a)(b)).

规则 3: 若不同组的两笔画不平行,但其笔画身相关,则笔画明显短的优先级高,否则按先后出现的顺序,后出现的优先级高.

规则 4: 若同一组内有两个以上相互平行且依次在垂直方向相关的笔画,则最外两笔画优先级低,中间各笔划以平等方式互相覆盖.

规则 5: 若一笔画的自由端与另一笔画的非自由端(包括受约束端和笔画身)相关,则该自由笔画端所在的笔画优先级高(图 5(c)).

规则 6: 若两笔画的自由端相关,但笔画互相不平行,则离交点远的自由笔画端所在的笔画的优先级高.

规则 7: 若两笔画的自由端方向相对且笔画相关,则按由内向外的方向,内部的优先级高.

规则 8: 若两笔画组的非自由笔画端处相关,则当两笔画组明显大小不同时,小者优先级高,否则,按先后次序,后出现的优先级高.

规则 9: 若一汉字仅由一笔划组构成,或者笔划组中各笔划之间均不相关,则将笔划组拆开,即不分组,以笔划为单位彼此计算相关性.

### ④ 若干特殊情况

上述规则为生成琥珀体的一般性覆盖规则. 此外, 有些特别的笔画组需作特殊处理, 如: 规则 10: 若笔画组“口”内部有另外的笔画组(图 5(d)), 按“让内不让外”的规则确定优先级, 即其内部笔画组比它优先级高, 而它又比其外部笔画优先级高.

规则 11: 若笔画组“口”内部无另外的笔画组, 则:

- (1) 如果它在一个汉字里最早出现(图 5(e)), 那么, 它比其外部笔画的优先级低.
- (2) 如果它不是最先出现(图 5(f)), 那么, 它的优先级比其外部笔画的高. 遇笔画端时例外.

规则 12: 若两个笔画构成“人”形状或 4 个笔画构成“宀”形状并且它们是在最后出现的, 则这些笔画的优先级均低于与之有覆盖关系的“一”笔画(图 5(g)).

规则 13: 若 4 个笔画构成“宀”形状, 但不是在一个字的最后出现, 则将后 3 个笔画“宀”当作一个整体连通, 其优先级低于与之有覆盖关系的其他笔画, 而第一个笔画“宀”的优先级高于与之有覆盖关系的其他笔画.

规则 14: 任一笔画均不能因覆盖而断笔. 若会出现断笔, 则必须调整优先级高的笔画或笔画组的轮廓, 使其回缩必要的尺寸, 以保证不使被覆盖笔画断笔.

### 3 主要算法

#### ① 圆头体的生成算法

以单线体到圆头体的自动生成中, 第 1 步是二侧边的自动生成, 包括复合笔画非平滑连接点处外侧边的圆弧连接, 第 2 步是两个半圆弧封口的生成, 最后是轮廓的组织.

##### i) 侧边线的相似法生成算法

单线笔画作为圆头体笔画的中心线, 可用 BNF 描述如下

```

单线笔画 ::= { <曲线段> }
曲线段 ::= <直线段> | <Bezier 曲线段>
直线段 ::= <点> <点>
Bezier 曲线段 ::= <点> <点> <点> <点>
点 ::= <X> <Y>
X ::= 整数
Y ::= 整数

```

每一侧边线均为中心线的相似图形. 设中心线由  $n$  段曲线段组成, 圆头体笔画的宽度为  $W$ , 则一侧边线的生成算法如下:

- (1) 取第一曲线段.
- (2) 若该笔画为直线段, 转(3), 否则转(4)
- (3) 将该直线段向指定一侧沿垂线方向移动  $W/2$ . 然后转(5).
- (4) 设 Bezier 曲线的 4 个控制点为  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ , 则在折线  $ABCD$  的指定侧求得  $A'$ 、 $B'$ 、 $C'$ 、 $D'$  4 点(图 6), 满足:
  - a)  $A'B' \parallel AB, B'C' \parallel BC, C'D' \parallel CD$
  - b)  $AA' \perp A'B', DD' \perp D'C'$
  - c)  $AA' = DD' = BC$  与  $B'C'$  间距离  $= W/2$

d) A'B'与C'D'无交点,除非B'=C'

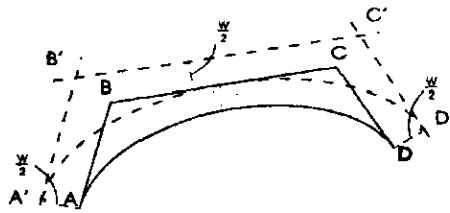


图 6 Bezier 曲线相似法

(5)若还有曲线段,则转(2),否则一条侧边线的分段生成完成.

分段生成后,原平滑连接点对应的两侧边段仍保持光滑连接,而非光滑连接点处对应的两侧边段则呈断开状,此时须以相切圆弧连接的圆心为原连接点.

ii) Bezier 曲线的分段

为使上述 Bezier 曲线相似法保证质量,下列情况时,Bezier 曲线(ABCD)要使用中点分割法分成两段 Bezier 曲线:

- a. B、C 两点位于 AD 两侧
- b.  $\angle BAD > 90^\circ$
- c.  $\angle CDA > 90^\circ$

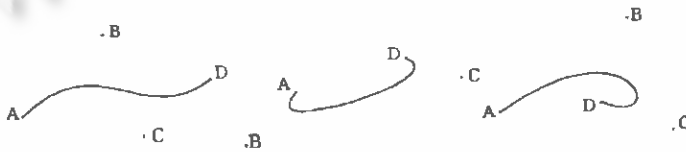
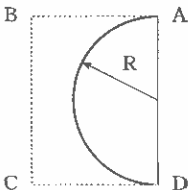


图 7 使用分割的情况

iii) 笔画端半圆弧曲线段的生成



圆头体的笔画端用半圆弧表示,近似地用 3 次 Bezier 曲线表示,如图 8 所示,其中

$$|AB| = |CD| = \frac{4}{3}R$$

② 覆盖算法

图 8 半圆弧的 Bezier 近似

设 a 为一圆头体笔画轮廓,b 为确定为覆盖它的另一笔画的扩圆体笔画轮廓,覆盖结果为由轮廓 c 包围的区域,则

$$\text{区域 } c = \text{区域 } a - \text{区域 } b$$

$$c = (a \text{ out } b) + (b \text{ in } a)^{-1}$$

其中(a out b)是轮廓线 a 上的部分,它位于封闭轮廓 b 的外部.(b in a)<sup>-1</sup>是轮廓 b 上位于封闭轮廓 a 内部的部分且始末顺序颠倒后的曲线.故 c 仍按逆时针走向组织.

在计算 a out b 或 b in a 时,一段 Bezier 曲线最多被交点截成 3 段,其中每一段的新的 Bezier 描述可由代入法求得:

设一 Bezier 曲线段原来由 P<sub>0</sub>、P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>、P<sub>3</sub> 4 个控制点确定

$$P(t) = [t^3 \ t^2 \ t \ 1] \begin{bmatrix} -3 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = TM_B P \quad t \in [0, 1] \quad (1)$$

在其上有和另一轮廓的 2 个交点  $I_1$  和  $I_2$ , 分别对应于参数  $t_0$  和  $t_1$ , 则由这两交点分开的 3 段 Bezier 曲线的第 1 段通过将  $t = t_0 + u$  代入上式而得:

$$\begin{aligned}
 Q_{(u)} &= [t_0^3 u^3 \ t_0^2 u^2 \ t_0 u \ 1] M_B P \\
 &= U M_B \begin{bmatrix} P_0 \\ (1-t_0)P_0 + t_0 P_1 \\ (1-t_0)^2 P_0 + 2(1-t_0)t_0 P_1 + t_0^2 P_2 \\ (1-t_0)^3 P_0 + 3(1-t_0)^2 t_0 P_1 + 3(1-t_0)t_0^2 P_2 + t_0^3 P_3 \end{bmatrix} \\
 &= U M_B \begin{bmatrix} Q_0 \\ Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix} \\
 &= U M_B Q \quad u \in [0, 1]
 \end{aligned}$$

同样, 第 2 段的表示可通过将  $t = t_0 + (t_1 - t_0)u$ , 第 3 段的表示通过将  $t = t_1 + (1 - t_1)u$  分别代入式(1)而得.

#### 4 结 论

本方法已在 386 微机上用 Quick C 语言编程实现, 程序量为 9840 行语句, 运行速度平均约 30 秒/字.

与手工的字形设计结果相比<sup>[3,4]</sup>, 本方法生成的琥珀体多数字形与其相同, 由于手工设计的随意性、灵活性, 人为的调整使所得琥珀体字形精美, 而自动设计虽然一致性好, 但有局限性, 某些字可能不够美观. 对此, 可采用交互方式指定覆盖规则重新生成这些字, 并可利用修改程序对结果作进一步修改直至满意. 但总的来说自动设计的琥珀体字形还是具有较好的可看性和艺术性, 且设计效率大大提高, 成本大大降低.

琥珀体字样例见图 9.

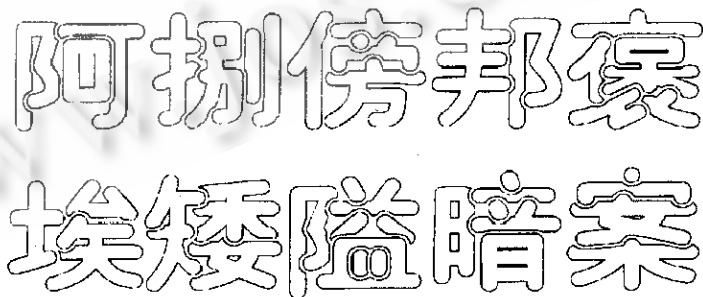


图 9 琥珀体字样

#### 参考文献

- 1 岳华, 蔡士杰等. 汉字黑体字形衍生系统的设计与实现. 中文信息学报, 1994, 8(3): 14-22.
- 2 高晓, 蔡士杰. 一种从黑体到隶书的汉字字形自动变体方法. 软件学报, 1995, 6(9): 542-550.
- 3 倪伟, 陈红. 现代美术字设计. 上海: 上海书店出版, 1992.
- 4 邹家政. 中外美术字. 海南: 海南摄影美术出版社, 1993.

## A METHOD OF AUTOMATICALLY GENERATING HU—PO CHARACTER

Lu Bo Cai Shijie Gu Jin

*(Department of Computer Science, Nanjing University, Nanjing 210093)*

**Abstract** This paper introduces a method of automatically generating curve outline based Hu—Po character, which is on the basis of Yuan—Tou character features, using over—lapping rules.

**Key words** Typeface design, Hu—Po character, Yuan—Tou character, variant, curve outline.