

# 等线体和圆头体曲线轮廓字形的 自动生成系统<sup>①</sup>

武港山 叶晓璐 蔡士杰 陆波

(南京大学计算机科学与技术系)

**【摘要】**本文叙述了等线体和圆头体汉字曲线轮廓字形的自动生成系统。该系统从黑体汉字曲线轮廓字形中自动抽取骨架单线体,结合等线体和圆头体汉字构字规则自动生成多种笔划粗细规格的等线体和圆头体汉字曲线轮廓字库,具有成本低、速度快、质量好等优点。

## 一、引言

随着计算机软、硬件技术的发展和应用领域的拓宽,对汉字字形的计算机表示方法的要求也不断变化。不仅已从点阵表示发展到向量轮廓表示乃至曲线轮廓表示,而且对字体品种包括笔划粗细规格数等也均提出了越来越高的要求。

计算机用的曲线轮廓字库的制作是一个非常复杂的过程。一般做法是:先由写字师傅写好字模,再扫描输入到计算机中并转换成点阵字形表示,然后使用专用软件跟踪出字形轮廓。要想得到高质量的字形描述,一般均使用交互式手工操作,来弥补字形在点阵化时丢失的信息。对于字符数非常大的汉字库来说,这样的制作方法周期长、成本高。一个熟练的操作员一天做不了几个字。为了满足日渐增大的对多种字体、以及对多种字体的多种笔划粗细规格的要求,必须寻求用计算机自动生成汉字字形的方法<sup>〔1〕〔2〕</sup>。

等线体和圆头体是两种常用的汉字字体。根据它们在正文标题、标语、广告等不同应用场合出现的大小不同,常需要使用不同粗细的字体。本文介绍了作者开发的一个字形自动生成系统,它以黑体的骨架单线体为依据,自动、高效、高质量地生成各种宽度的等线体和圆头体曲线轮廓字库。

## 二、几个术语

①本文1994年3月12日收到

②本文得到国家自然科学基金(69273041)资助

### ①单线体

本文中的单线体是从黑体曲线轮廓数据中抽取出来的字形笔划走向及字形间架结构信息的一种描述。它是通过黑体笔划的中心线抽取实现的，抽取工作包括笔划轮廓侧边线识别，笔锋消去，侧边线的相似移动变换等步骤，最后获得单线体。<sup>[5]</sup>单线体中的基本单位是单线笔划，它是对应的黑体字笔划的中心线。每个笔划由直线段和曲线段组成，曲线用三次 Bezier 方法描述。单线体本身也可用于在绘图仪等描画设备上输出汉字。

### ②等线体

等线体是接近于黑体的一种字体。它的特点是笔划的宽度基本相同，同一笔划粗细均匀。每一笔划两端用直线段封口。

### ③圆头体

圆头体与等线体的主要区别是其悬空端均用半圆封口，且笔划的转折处用圆弧过渡。

### ④曲线轮廓字形

曲线轮廓字形是用一组封闭轮廓来表示的字形描述。每一封闭轮廓中可能包含有若干直线段和曲线段。曲线可以是二次或三次曲线。常用二次 B 样条、三次 Bezier 等方法描述，本文中使用的三次 Bezier 曲线描述方法。曲线轮廓字形的 BNF 形式描述为：

```
曲线轮廓字形 ::= { < 封闭轮廓 > }
  封闭轮廓   ::= { < 曲线段 > }           (相邻两段首尾相接，末段尾与首段之
  首相接)
  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
```

## 三、系统设计思想

为了开发一个有价值的汉字字形自动生成系统，下列几点设计思想是非常重要的：

### ①保证字形质量，提高自动化程度

汉字字数多，为每个字付出少量修改工作都将为整个字库付出大量的时间和精力。因此自动生成系统必须尽量减少或避免人工干预，即解决好各个环节的问题，生成高质量字形。

### ②降低原始数据制备成本

可以说，汉字字形是一种艺术<sup>[3]</sup>，它既有一些字与字之间风格上的共同规律，又有每一字本身的特点。自动生成高质量汉字字形必须有合适的原始数据作依据，包括间架结构和笔锋等。原始数据制备成本必须低，否则失去自动生成的优点。为此，鉴于等线体、圆头体与黑体在间架等结构上的一致性，以及作者已拥有黑体曲线轮廓字库的条件，确定从黑体字形中自动抽取间架单线体，并结合等线体和圆头体的构字规则来用于生成等线体

和圆头体的方案，使原始数据的制备成本大幅度降低，并保证生成字形的质量。

### ③提高新生成字形的可用性

许多应用、特别是广告应用中，要求按照使用汉字的大小来选择笔划的粗细，以保证美观性。传统的字形设计方法很难为一种字体设计出很多套不同的笔划粗细规格的字库来。本系统应能按指定宽度来生成等线体和圆头体字库。使所生成字形的可用性大大提高，反过来也降低了每套字库的制备成本。

通过单线体生成等线体或圆头体理论上是可行的。因为：从我们前面的定义可以看出等线体和圆头体在字形的骨架形状上同黑体是一致的。都有端正大方，简洁醒目的特点。不同之处主要在于笔划的粗细，笔端的形状。因此把组成单线体的笔划根据等线体或圆头体的特征生成相应的等线体或圆头体笔划轮廓，然后，把它们依照在单线体中的位置组合起来，求交之后生成的字体就是高质量的等线体或圆头体。

## 四、笔划侧边的两种生成方法

在等线体和圆头体中，每一笔划的轮廓有四个部分：始端、末端、二根侧边线。侧边线与笔划中心线走向一致。本系统中使用等距法来生成等线体的侧边线，而使用相似法来生成圆头体侧边线。

### 4.1 等距法

#### ①基本原理

一般情况下，侧边曲线上的一个点  $C'$  可以有相应的笔划中心线上的一点  $C$  与之对应。线段  $CC'$  与中心线在点  $C$  处的切线垂直，且线段  $CC'$  的长度为笔划宽度的一半。我们称  $C'$  为取样点  $C$  的一个映射点，按照这一规则，在中心线上依次找出一序列的点作为取样点  $\{C_i\}$ ，求出对应它们的在中心线两侧的二个映射点序列  $\{C_i\}$  和  $\{C'_i\}$ 。将两序列映射点分别拟合而得的曲线即为二侧边线。

对于中心线的直线段部分，可以只求其两个端点的映射点；对于曲线段部分，则按参数  $t$  来找取样点。 $t$  的步长与生成曲线的质量及所需的计算时间均有关。因此需要选择一个折衷的步长。

#### ②弯段算法

在中心线曲线部分的曲率均较小，且所需生成的笔划宽度也较小时，使用上述方法可以获得较好的侧边曲线。如果曲线某部分的曲率半径小于所需生成的笔划宽度的一半时，使用上述方法求出的内侧边映射点序列的位置会出现紊乱。原因是相邻两线段  $C_i C'_i$  与  $C_{i+1} C'_{i+1}$  相交于线段上而不是在它们的延长线上(图 1)，这会造成拟合而得的曲线质量下降。解决这一问题的办法是对所得映射点进行分析和取舍、舍去废点、保留有效点参加侧边线的拟合。

设  $C_m$  为中心线某曲线段的一个曲率极大点。作直线  $l_m$  过  $C_m$  且与曲线在  $C_m$  处的切线垂直。对任一映射点  $C'_i$ ，如果它与取样点  $C_i$  在直线  $l_m$  的同侧，则为有效映射点；反之，如  $C'_i$  与  $C_i$  在  $l_m$  的异侧，则为废映射点。这一分析工作从  $i=m$  开始，向递增和递减两个方向分别进行，直到遇上第一个有效点为止。这就是说，对应于曲率极大点  $C_m$  的废点只可能发生在  $C'_m$  附近的一连续序列中。

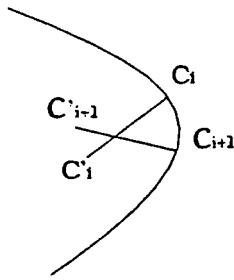


图 1 映射点的紊乱现象

### ③拟合与后处理

如果一曲线段的映射点中无废点，则同一侧的映射点序列可参加拟合成一条侧边曲线段。否则，则应在曲率极大点的映射点处分组拟合成不光滑连接的两段曲线。一曲线段的曲率极大点可能不止一个，上述处理方法对每一个这样的点均适用。

当中心线由多段曲线或直线段组成但连接处光滑时，分段求得的侧边线简单连接即可。否则，就要进行求交运算等处理方法来避免最终侧边线的自相交情况。

## 4.2 相似法

### ①基本原理

由于笔划的等宽性，第一侧边线可以看作是对应中心线的相似图形。其中直线段部分可通过垂直平移笔划宽度的一半而得；曲线段部分则可通过移动四个控制点来获得相似曲线。

如图 2 所示，原曲线的四个控制点为 A、B、C 和 D，作分别与 AB、BC、CD 的距离为笔划宽度一半的三根同侧平行线  $l_1, l_2, l_3$ ，它们之间最多可能有两个交点。设 A' 为 A 在  $l_1$  上的投影，D' 为 D 在  $l_3$  上的投影，B' 和 C' 分别为离 A' 和 D' 最近的交点（它们可能重合），则四点 A'、B'、C'、D' 形成的 Bezier 曲线为原曲线之相似曲线。

### ②中心线的简单化分割

相似法比较适用于中心线曲线段为简单曲线的情况。下列两种情况之一均需要用二分法将曲线段一分为二：

- (1) B、C 两点在线段 AD 的两侧，即曲线段为 S 形曲线。
- (2) 角  $BAD > 90^\circ$  或角  $ADC > 90^\circ$ 。

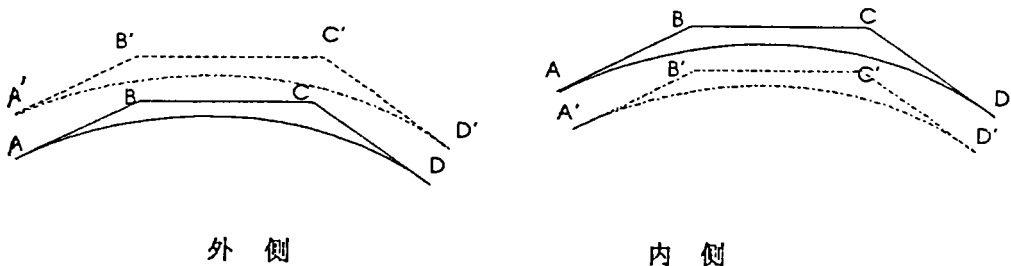


图 2 相似法求侧边线

## 五、笔划端边与转折处理

### 5.1 等线体的端边处理

等线体的笔划宽度是完全均匀的，也有人倾向于在两端略微粗一点。因此等线体的端边可以直接用直线段连接同一端的两侧边线端点，也可以让该两端点向反方向各移动一定位置再连成直线段来获得。

### 5.2 等线体的笔划转折处理

等线体的笔划转折处理和相邻笔划的公共端点处原则上按相应侧边线以求交方式连接。交点可能在侧边线上（内侧），也可以在延长线上（外侧）。

当两段相邻的中心线夹角比较小时，按上述方法连接而得的外侧转折点离中心线转折点太远。这时要插入一直线段来避免此现象。插入的直线段与中心线转折点处到外侧边交点之间的连线垂直，且与转折点间的距离为笔划宽度的一半（图3）。

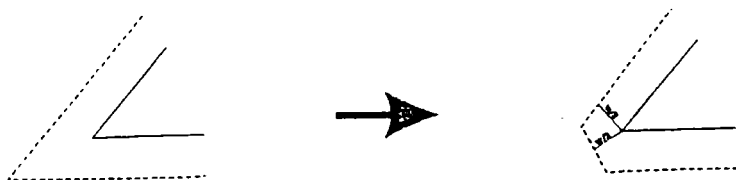


图3 等线体转折的特殊处理

### 5.3 圆头体的笔划端边处理

按照圆头体的构字规则，其笔划端边应该是半圆弧。为了描述的一致，本系统使用三次 Bezier 曲线来近似表示半圆弧。该曲线的四控制点中的首、末两点即为两侧边线的同方向端点，按二分法原理可反求出第二、三两控制点为分别位于两侧边端点处的切线上，且与对应端点距离为笔划宽度的三分之二（图4）。为了不致使笔划的悬空端变长，中心线先要缩短宽度的一半。

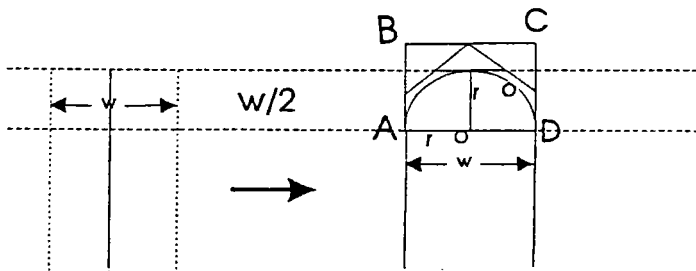


图4 圆头体端边曲线的生成

### 5.4 圆头体的笔划转折处理

在圆头体中，笔划转折与二笔划的公共端点处均要求圆弧连接。因此，有公共端点的两笔划先形成各自的端边再通过求交可获得转折处的过渡曲线。而非光滑连接的同一笔划中心线各段可各自独立形成半圆弧曲线端边再通过求交形成过渡曲线。

## 六、字形自动生成系统的实现

### 6.1 笔划宽度的自动调节

为了保证一个字形的美观与清晰，其笔划宽度应随着该字笔划数的多少以及复杂程度来调节。本系统除了按笔划数的多少确定笔划的四级宽度以外，对互相平行的笔划在它们的垂直位置实行重迭检查，为发现重迭或间隙过小时则进一步调整有关笔划的宽度。

### 6.2 从基于笔划的轮廓表示转为基于区域的轮廓表示

上述方法生成的等线体和圆头体汉字字形是一种基于笔划的轮廓表示，即每一封闭轮廓对应一个笔划。笔划之间有重迭部分，它们必须转换为基于区域的轮廓表示。转换的方法是先对所有笔划轮廓进行两两求交处理，再按一定规则判定被交点划分出的子曲线的有效性。凡有效的子曲线依次连接成封闭轮廓，最后获得基于区域的曲线轮廓表示。图 5 给出了基于笔划的和基于区域的两种轮廓表示。

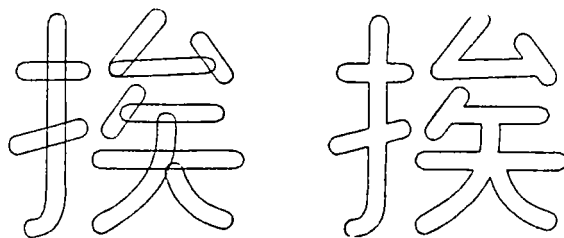


图 5 基于笔划的和基于区域的曲线轮廓表示

### 6.3 实现环境与运行情况

本系统在 AT&T 286 微机上用 MS-C 开发而成。程序量为 7000 行语句左右。

本系统已投入运行，成功地生成了三套等线体和四套圆头体。所生成的字形大多数不必修改，仅小部分需在一个修字程序辅助下交互修正。各步骤所化时间如下表所示：

字库	生成时间(小时)	求交时间(小时)	修字时间(人天)
一套圆头体(6763 个汉字)	48	24	8
一套等线体(6763 个汉字)	72	24	8

## 七、结论

我们通过从黑体字形中自动抽取笔划中心线组成的单线体作为基础，结合两种字体构字规则，自动生成了等线体和圆头体曲线轮廓字库。在生成笔划侧边线时将等距法用于等线体、将相似法用于圆头体。对笔划的一般部分，两者效果基本一致。对转折处则分别保证了两种体的不同要求。如果程序开发成本为 P，用来生成了 n 套字库，为每一套字库付

出了运行和修改成本为  $T$ ，则每一套字库的制作成本为  $T+P/n$ 。从上面的表格可知  $T$  很小， $P$  也不大，且随着  $n$  的增大  $P/n$  不断减小，相对于手工方式，自动生成的成本微不足道。

本系统还可作为一个模块结合进某些应用系统，比如广告系统等。用来随机地生成符合某种笔划宽度要求的等线体与圆头体。

如果说琥珀体（图 6）可以看作是两套粗细略有差别的圆头体之间进行复盖处理的结果，那么本文的方法为琥珀体的自动生成奠定了基础。

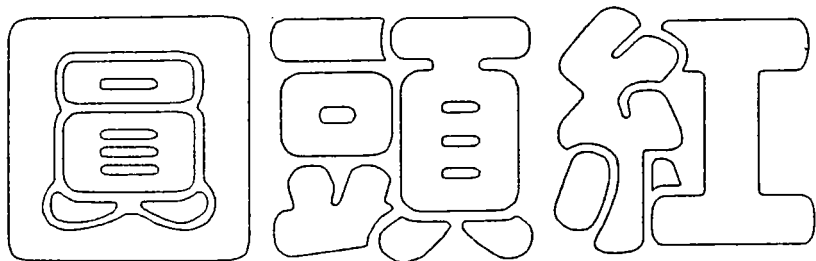
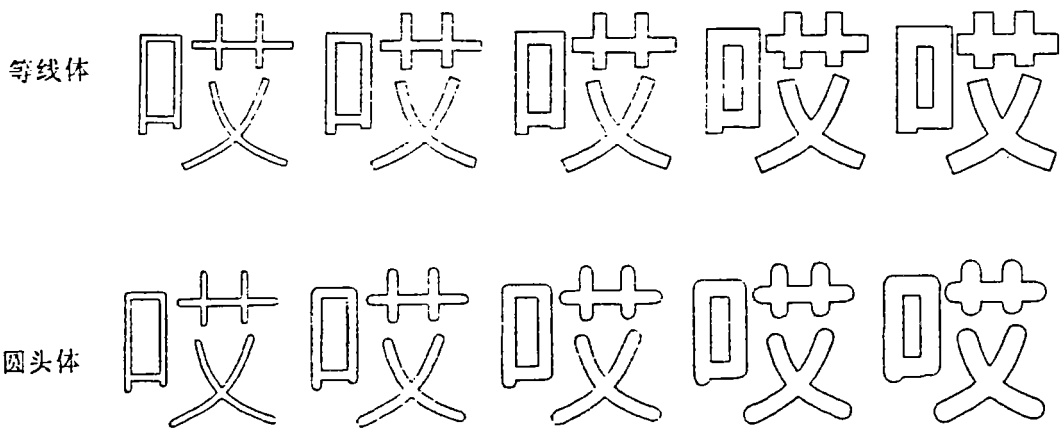


图 6 琥珀体字形例

### 参考文献

- [1] 樊建平, “智能汉字字形设计技术及试验性系统 ICCDS”, 中文信息学报, Vol4, No.3, 1990.
- [2] 董福美, “一个产生高质量汉字的试验性系统”, 计算机学报, 1980 年第 1 期.
- [3] 启功著, 《书法概论》, 北京师范大学出版社.
- [4] Ke Zhong Xie, Ching Y. Suen, “A Practical Approach to Computer Generation of Quality Chinese Characters in Multi fonts and Different Sizes”, Proceedings of the 1985 International Conference on Chinese Computing.
- [5] 岳华等, 汉字黑体字形衍生系统的设计与实现, 中文信息学报, 待发表.

### 附录 各种粗细的圆头体及等线体实例



# An Automatic Curve\_\_outlined Typeface Generating System for DENXIANTI and YUANTOUTI

Wu Gangshan, Yi Xiaolu, Cai Shijie and Lu Bo

(Department of Computer Science and technology, Nanjing University)

## Abstract

This paper describes a method of automatically generating curve outlined Chinese character for the typefaces of DENXIANTI and YUANTOUTI. the method extracts the frame from HEITI typeface, and then generates the curve outline of DENXIANTI and YUANTOUTI characters in many stroke\_\_width classes. It is characterized as a low cost, high speed, and quality method.