

# 动态汉字库自动生成算法

潘志庚 马小虎 石教英

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

## 摘 要

提出一种使用 Fourier 级数描述器表示汉字轮廓,并通过改变谐波和级数展开式系数得到随机汉字的动态汉字库生成方法。所生成的汉字库中的汉字形状是随机的,在输出时才确定。它可用于模仿手写体汉字,创建不同风格的汉字和设计新的符号。

**关键词:** 动态字库, Fourier 变换, 轮廓库。

## 1 基本概念

随着电子排版和广告业的蓬勃发展,对汉字字形变化的要求越来越大,常用的十多种字体(楷体、黑体、宋体、仿宋体、隶书体、行书体和小姚体等)已不能满足人们的要求,于是开发出圆头体、等线体等多种变体,有的研究者还使汉字的竖笔划和横笔划的宽度发生变化<sup>[1]</sup>。这些字体统称为静态字体,它们的共同点是字形在设计时就固定下来,风格统一。在输出时,如果不进行变换,则同一个汉字在输出时结果完全相同。印刷业中所采用的字体基本上都是静态字体。动态字体<sup>[2]</sup>是一个完全不同的概念,其中的字符形状是在打印输出时确定,而不是在设计时确定的。把动态汉字体中每个汉字的形状组成的集合称为动态汉字库。使用动态字体可生成不同变体,以满足某些特殊要求。

动态字体使得相应字库中的汉字形状在一定范围内任意可变,使用同一种动态汉字库,每次输出相同的汉字所得结果不一样,同一次输出几个相同的汉字所得到的结果也不相同,如图 1 所示。动态字库可满足广告和包装领域中对不同风格字体的需求<sup>[2]</sup>,另外使用动态汉字库可以模仿手写体汉字,生成的手写体汉字可作为测试手写体汉字自动识别



(a) 西文

(b) 汉字

图 1 动态字体例子

系统的输入样张。

本文提出一种自动生成基于 Fourier 变换的动态汉字库的算法,为叙述方便,下面先给出一组定义。

**定义 1.** 把闭合曲线用多边形( $P$ )来逼近的过程称为多边形近似,相应的误差度量有均方误差和最大误差两种。

**定义 2.** 在轮廓描述的汉字字形中,任选轮廓上一点( $c_0$ ),沿轮廓方向遍历,把回到 $c_0$ 点所经历的路径称为一闭合轮廓,用 $C$ 表示。显然 $C$ 是一闭合曲线。

**定义 3.** 汉字轮廓由多个闭合的笔划轮廓组成,笔划轮廓又可分为外轮廓和内轮廓两种。

**定义 4.** 一个汉字 $a$ ,把描述汉字的所有闭合轮廓(设闭合轮廓数目为 $n$ )称为汉字的轮廓描述信息,记为 $I_c(a)$ ,有 $I_c(a) = \{C(n), |n > 0\}$ 。

**定义 5.** 一个汉字 $a$ ,把对应于每个笔划轮廓的字形基本控制信息所构成的集合称为该汉字 $a$ 的动态描述信息,记为 $L_a(a)$ 。

**定义 6.** 一个汉字集 $A$ 的所有动态描述信息所构成的集合称为该汉字集 $A$ 的动态汉字库,记为 $L_d(A)$ ,有 $L_d(A) = \{L_d(a), |a \in A\}$ 。

## 2 动态汉字描述

动态字库中的字符在每次输出时都要重定义,输出结果各不相同。事实上,手写体也是一种动态字体。根据环境与生成系统所交换的信息类型,可把动态字库主要可分为以下两类:

1) 随机动态字体。字体的动态特性由外部的随机函数决定,例如描述字符的每根直线段或曲线段是随机的,它们的位置、长度或宽度由随机数控制。

2) 参数控制的动态字体。字符的形状由一组易调节的参数控制。例如横笔划的高度、竖笔划的宽度和基本笔划的形状等。

Jacques Andre 等人<sup>[2]</sup>使用 PostScript 语言<sup>[3]</sup>中的字库字典保存字符横向和纵向扩展参数,它的扩展参数动态修改,从而保证每次生成的西文字符的形状各不相同。这种方法生成的字形变化单一,不适于模仿手写体。为此,本文提出一种基于 Fourier 级数的动态字库生成方法。

### 2.1 基本思想

基于 Fourier 变换的闭合曲线描述器<sup>[4]</sup>最早由 Zahn 提出,在这种方法中,以曲线的长度为参数,构造曲线的参数方程,然后定义它的 Fourier 级数展开,并以一组展开参数作为其 Fourier 描述,同时,由 Fourier 描述可以重构或合成图形。

一个汉字的轮廓由多个笔划轮廓组成,在轮廓法描述中,汉字的笔划轮廓由一条或多条闭合曲线组成,把闭合曲线用多边形近似,当多边形的边数足够多时,可以达到所需的精度。设得到的多边形顶点为 $P_1, P_2, P_3, P_4, \dots, P_K$ ,起点与终点重合,有 $P_1 = P_K$ , $P_i$ 的坐标为 $(x_i, y_i)$ 。在使用 Fourier 级数描述时,假定有一分子沿笔划轮廓作周期性运动,周期为 $T$ ,则



$x(t) = x(nT + t)$ ,  $y(t) = y(nT + t)$ , 对  $x(t)$  和  $y(t)$  作 Fourier 级数展开有

$$\begin{cases} x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(2\pi nt/T) + b_n \sin(2\pi nt/T)), \\ y(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (c_n \cos(2\pi nt/T) + d_n \sin(2\pi nt/T)), \end{cases} \quad (1)$$

其中 Fourier 展开系数可用下面的式求得<sup>[4]</sup>( $c_n, d_n$  和  $c_0$  的求值公式与上面类似, 只要用  $\Delta y_i$  代  $\Delta x_i$  即可):

$$\begin{cases} a_n = (L/(2\pi^2 n^2)) \sum_{i=1}^K (\Delta x_i / \Delta l_i) (\cos(2\pi n l_i / L) - \cos(2\pi n l_{i-1} / L)), \\ b_n = (L/(2\pi^2 n^2)) \sum_{i=1}^K (\Delta x_i / \Delta l_i) (\sin(2\pi n l_i / L) - \sin(2\pi n l_{i-1} / L)), \\ a_0 = (1/L) \sum_{i=1}^K (x_i - l_{i-1} \Delta x_i / \Delta l_i) (l_i - l_{i-1}) + (1/2) (\Delta x_i / \Delta l_i) (l_i^2 - l_{i-1}^2), \end{cases} \quad (2)$$

其中  $L$  是轮廓周长,  $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$ ,  $\Delta y_i = y_{i+1} - y_i$ ,  $\Delta l_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}$ ,  $l_i = \sum_{j=1}^i \Delta l_j$ .

另外, 式(1)中的  $x(t)$  可改写成如下<sup>[5]</sup>:

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(2\pi nt/T + \alpha n), \quad (3)$$

$$|A_n|^2 = a_n^2 + b_n^2 = (k_1/n^4) \left( k_2 + \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K k_{ij} \cos n\theta_{ij} \right). \quad (4)$$

其中  $k_1, k_2, k_{ij}$  和  $\theta_{ij}$  仅与  $x_i$  和  $t_i$  有关, 与  $n$  无关, 当  $n$  增大时,  $|A_n|^2$  逐渐趋向零<sup>[4]</sup>. 因此, 常取前  $N$  项进行简化计算, 前  $N$  项的级数展开可以描述轮廓的基本形状, 有

$$\begin{cases} X_N(t) = a_0 + \sum_{n=1}^N (a_n \cos(2\pi nt/T) + b_n \sin(2\pi nt/T)), \\ Y_N(t) = c_0 + \sum_{n=1}^N (c_n \cos(2\pi nt/T) + d_n \sin(2\pi nt/T)). \end{cases} \quad (5)$$

由于仅取前  $N$  项, 所以  $X_N(t)$  与  $X(t)$ ,  $Y_N(t)$  与  $Y(t)$  之间存在误差, 把实际误差  $\varepsilon$  定义为

$$\varepsilon = \max[\sup_t |X(t) - X_N(t)|, \sup_t |Y(t) - Y_N(t)|]. \quad (6)$$

式中的  $\sup_t |X(t) - X_N(t)|$  意指对所有的  $t$  值, 求  $|X(t) - X_N(t)|$  中的最大者.

根据 Pijush K Ghosh<sup>[5]</sup>提出的平面图形复合操作, 可以对两个用 Fourier 级数展开式描述的形状进行加法( $\oplus$ )、乘法( $\otimes$ )或两者兼有的混合运算, 有

$$C_1 \oplus C_2 = (x_1(t), y_1(t)) \oplus (x_2(t), y_2(t)) = (x_1(t) + x_2(t), y_1(t) + y_2(t)), \quad (7)$$

$$C_1 \otimes C_2 = (x_1(t), y_1(t)) \otimes (x_2(t), y_2(t)) = (x_1(t) * x_2(t), y_1(t) * y_2(t)). \quad (8)$$

图 2 是复合操作的结果.

## 2.2 随机汉字生成

### 1) 谐波 $N$ 变化

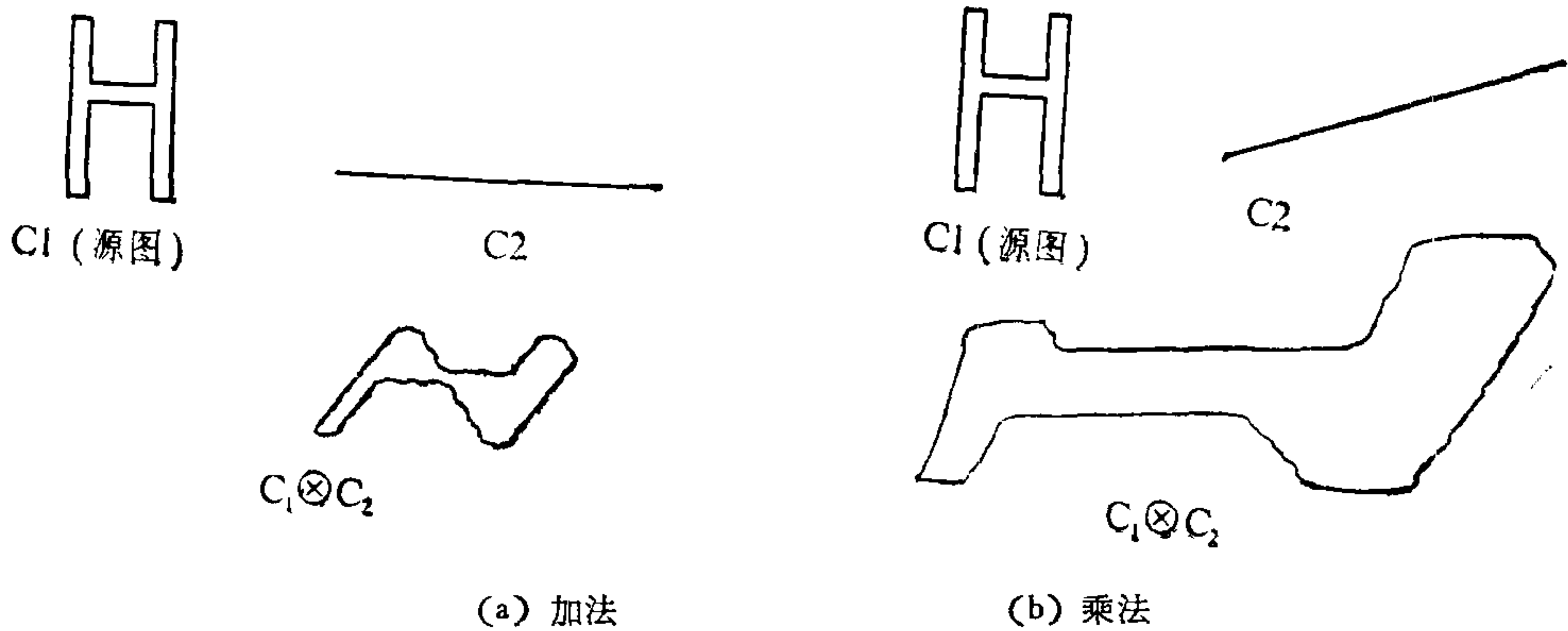


图 2 复合操作

有了上面推导,可以使用式(5)来重新生成轮廓描述汉字,随着 $N$ 的不同,汉字的形状有变化,从而形成多种风格。

### 2) 调节 $a_n, b_n, c_n$ 和 $d_n$

系数  $a_n, b_n, c_n$  和  $d_n$  的数目很大(当 $N$ 取 10 时,参数为 40 个),它们有效地控制了生成汉字的字形形状,只要对它们进行微小调节,即可产生相应变化。

使用平面图形的复合操作,可以很容易地改变  $a_n, b_n, c_n$  和  $d_n$  的值。如果把随机生成的图形加到或乘到已有的字形描述上,那么每次都可以产生各不相同的字形。另外,还可以对两个手写体汉字进行插值,中间得到一组混合风格的字形,结果如图 3(a) 所示,中间体仍类似于手写体。同样,还可以对一种手写体汉字和一种印刷体汉字进行插值。

## 3 算法实现及输出样张

根据第二节的讨论,下面给出生成动态随机字库以及输出随机字库中汉字的算法。

### 算法 1. 生成动态随机汉字库

本算法执行结果为自动生成动态随机汉字库  $L_d(A)$ 。

步骤 1. 对汉字集  $A$  中的每个汉字执行步骤 2。

步骤 2. 根据汉字的轮廓信息,对汉字的每个笔划轮廓  $C(i)$  执行步骤 3。

步骤 3. 用多边形(顶点  $P_1, P_2, \dots, P_K$ ) 逼近  $C(i)$ ,误差度量方法用最大误差法,当 Bezier 描述的曲线段的拱高<sup>[6]</sup>小于特定常数时,即用起点和终端所连成线段代替曲线段,否则对 Bezier 曲线段进行划分。

步骤 4. 计算  $L, l_i, \Delta l_i, \Delta x_i$  和  $\Delta y_i$  参数,参数的含义如第二节所述。

步骤 5. 根据式(2)计算  $a_0, a_n, b_n, c_0, c_n$  和  $d_n$ ,把这些信息加到  $I_d(a)$  中。在对汉字  $a$  的多个笔划轮廓处理完后,即生成汉字  $a$  所对应的完整  $I_d(a)$ 。

### 算法 2. 动态随机汉字库中汉字的输出

动态随机汉字库中汉字的输出与一般汉字库中汉字的输出不同。下面以复合操作 $\oplus$ 为例来说明,算法描述如下:

步骤 1. 取出指定汉字  $a$  的动态字形描述信息  $(a_0, a_n, b_n, c_0, c_n, d_n)$ 。

步骤 2. 选择 Fourier 级数展开式中的谐波  $N$ .

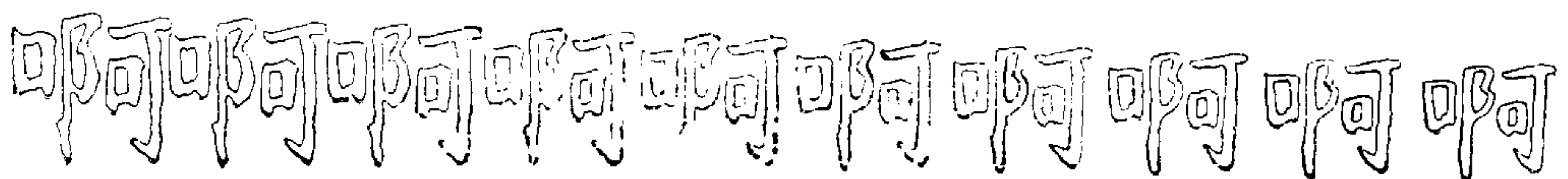
步骤 3. 用随机数发生器生成随机平面图形  $C_r$ .

步骤 4. 根据式(2)计算对应于  $C_r$  的 Fourier 级数展开式中的系数.

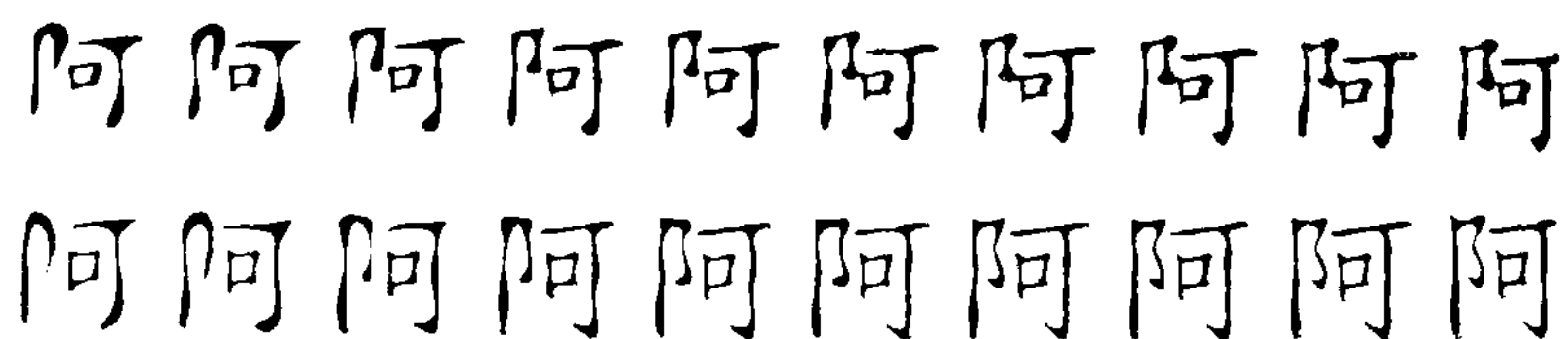
步骤 5. 用式(5)计算汉字  $a$  中每个笔划轮廓和随机形状的  $X_N(t)$  和  $Y_N(t)$ , 并根据式(7)进行加法(其中  $t$  从 0 到  $L$  变化,  $L$  为汉字  $a$  笔划轮廓的周长).

步骤 6. 根据步骤 5 计算的值进行画图, 其结果为要生成的随机汉字.

输出样张. 本文提出的算法已在 Sun Sparc 工作站上实现, 编程语言为 C 语言. 初始的轮廓汉字库是用文献[7]中的算法生成的, 原始点阵为  $256 \times 256$ . 图形输出功能使用 PostScript Level 2 图形库 PSLib<sup>[3]</sup>. 图 3 是输出样张.



(a) 二种手写体合并



(b) 谐波  $N$  从 3—10 变化



(c) 模仿手写体

图 3 输出样张



## 4 结语

动态随机汉字库可产生具有特殊效果的汉字字形,满足包装业和广告业中对不同字体的要求,另外,它可用于模仿手写体,作为手写体汉字自动识别系统的样本,大大减少收集汉字手写样本的工作量。另外使用本文提出的汉字描述方法可以对两种已知字体进行插值和设计新字体。

### 参 考 文 献

- [1] 严伟荣,蔡士杰. 基于笔划特征的宋体字形衍生方法. 计算机工程专刊,1994.
- [2] Andre Bruno Borghi. Dynamic fonts, in *Raster Imaging and Digital Typography*, J. Andre and R. D. Herch eds., New York: Cambridge Univ. Press, 1989, 198—204.
- [3] 潘志庚. 基于 *PostScript Level 2* 的图形库 *PSLib*. 计算机工程专刊, 1994.
- [4] Frank P Kubl, Charles R Giardina. Elliptic Fourier features of a closed contour, *Computer Graphics and Image Processing*. 1982, 12: 236—258.
- [5] Pijush K Ghosh, Pradeep K Jain. An algebra of geometric shapes. *IEEE Computer Graphics & Application*, 1993, (9): 50—59.
- [6] 马小虎,潘志庚. 高质量 *Bezier* 曲线描述轮廓库自动生成算法. 自动化学报,1994,20(1): 122—125.
- [7] Ma Xiaohu, Pan Zhigeng, Zhang Fuyan. The automatic generation of Chinese outline font based on stroke extraction. *J. of Comput Science & Technol.*, 1995, 10(1): 42—52.

## THE AUTOMATIC GENERATION ALGORITHM FOR DYNAMIC CHINESE FONT

PAN ZHIGENG      MA XIAOHU      SHI JIAOYING

(State Key Lab. of CAD & CG, Zhejiang Univ., Hangzhou 310027)

### ABSTRACT

In this paper we present a method for generating dynamic Chinese font. The outline of Chinese characters is expressed with Fourier descriptor. Dynamic Chinese font is created by modifying harmony and the coefficients of Fourier series. The shape of character in dynamic font is random. It is determined only when the character is rendered. This kind of font may be used to simulate hand written Chinese characters, create character variants and design new symbols.

**Key words:** Dynamic font, Fourier transformation, outline font.



**潘志庚** 1965年生。1990年获南京大学计算机应用硕士学位, 1993年获浙江大学图形学/CAD博士学位。1994年任副研究员, 现为中国图像图形学学会多媒体专委会委员、中国计算机学会用户交互学组成员。研究领域为汉字信息处理、CAD/CG、多媒体和虚拟环境等。近年来发表论文60多篇。



**马小虎** 1962年生。1991年获南京大学计算机应用硕士学位, 现为浙江大学计算机系博士研究生。研究兴趣为汉字信息处理、CG和虚拟环境等, 近年来发表论文10多篇。