

基于 Fourier 级数描述器的多种 汉字字形自动生成*

潘志庚 马小虎 张明敏 石教英

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 计算机在电子印刷、广告、包装等领域应用的迅速发展迫切需要众多的不同风格的汉字字形。本文介绍一种使用 Fourier 级数描述汉字轮廓、对不同字形的风格进行复合以生成多种风格的字形的新方法,所提出的方法还可用于模仿手写体汉字。

关键词 Fourier 级数,汉字字形,轮廓库,手写体汉字仿真。

我国现阶段文字印刷业所采用的字体有宋体、仿宋体、长方宋体、黑宋体、楷体、黑体、黑变体、扁黑体、隶书体、新魏体、行书体等 10 多种,与外文字体相比,相差甚远。^[1]电子出版业在我国的迅猛发展和计算机在广告业等方面的应用,迫切需要品种繁多的各种汉字字体。如在印刷业中,往往使用较细笔划的字符以求得印刷文字的清晰易读,而在广告业中则往往使用较粗的笔划以及不同风格的字体以求醒目。但是由于汉字的个数很多,常用的一、二级汉字就有 6 763 个,且结构复杂。要用手工方法(书法家写样张;扫描录入;去噪声;再从点阵转换为轮廓)设计出一套曲线轮廓汉字集,在时间和成本上都难以承受,因此,借助于计算机,自动生成所需汉字字形的技术势在必行。^[1~3]

针对这个问题,国内已进行了不少研究,如文献[1]中对印刷体生成作了实验性探讨,提出一种智能汉字字形设计方法,对传统的书法规则进行量化,把它们用知识表示出来,使计算机能对规则进行测试和评价,并根据评价的结果对字形进行相应的修改操作;文献[4]给出了从 1 种宋体自动衍生出多种笔划粗细不同的宋体的方法。

以上提及的研究工作主要从 2 方面解决问题。①以文献[1]为代表,根据书法规则研究用计算机快速生成汉字字形的的方法。虽然这种方法与传统的手工方法相比大大提高了效率,但是根据原文作者提供的数据来判断,工作量仍然很可观,另外,在字形编辑过程中对用户的审美观、书法功底均有较高的要求;②以文献[4]为代表,根据现有的一种字形进行变换以改变汉字的某些结构特征(如笔划宽度、笔端形状)。这类方法由于仅以一种字形为基础,所

* 作者潘志庚,1965年生,副研究员,主要研究领域为分布式图形处理,虚拟环境,中文信息处理,多媒体技术。马小虎,1964年生,讲师,主要研究领域为中文信息处理,计算机图形,虚拟环境。张明敏,1968年生,讲师,主要研究领域为计算机图形,图像处理,虚拟环境。石教英,1937年生,教授,主要研究领域为计算机图形,科学计算可视化,多媒体,虚拟环境。

本文通讯联系人:潘志庚,杭州 310027,浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室

本文 1995-04-20 收到修改稿

产生的变体种类有限,风格相对比较单一.为此,我们提出能否对多种字形的不同风格进行合并,以创造出新的字体?例如对宋体和楷体 2 种字形的书写风格进行合并,以形成宋楷合成体(这里使用宋楷合成体这个术语是为了与印刷界已普遍接受的宋楷体区分开来),并且宋楷合成体中宋体或楷体所占比例不同,所合成的字形风格也就不同.基于这一想法,我们提出使用 Fourier 级数来表示汉字的轮廓,对 1 种字体进行处理,根据 Fourier 级数展开式中谐波的变化,生成多种风格的汉字,另外还能把多种字体的风格进行合并,生成多种具有混合风格的汉字字形.

本文第 1 节介绍汉字轮廓表示的 Fourier 模型,把汉字轮廓用 Fourier 级数描述;第 2 节根据 Fourier 级数的数学特性定义一组形状复合操作,并把形状复合操作用于构造多种风格汉字字形;第 3 节介绍手写体汉字的仿真;第 4 节是结论.

1 用 Fourier 级数描述汉字轮廓

1.1 Fourier 描述模型

为了有效地对 2 种或多种汉字字形的风格进行合并,必须找到一种合适的字形描述方法.经过研究和分析,我们选用了 Fourier 描述模型.一方面,该描述方法易于提取形状特征;另一方面,使用该方法后,易于找到 2 个待合并形状的一一对应关系.下面先简单介绍 Fourier 描述模型.

Fourier 变换闭合曲线描述器^[5]首先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,并以一组展开系数作为其 Fourier 描述,同时由 Fourier 描述器重构或合成图形.

设 r 是闭合曲线,它可用单变量的周期函数 $f(t)$ 描述,若其周期为 T ,那么有 $f(t) = f(t + nT)$ ($n = 1, 2, \dots$). 函数 $f(t)$ 可展开成 Fourier 级数^[6]

$$f(t) = \mu_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(2\pi nt/T) + b_n \sin(2\pi nt/T)) \quad (1)$$

其中系数的定义如下

$$\begin{cases} \mu_0 = (1/T) \int_0^T f(t) dt \\ a_n = (2/T) \int_0^T f(t) \cos(2\pi nt/T) dt \\ b_n = (2/T) \int_0^T f(t) \sin(2\pi nt/T) dt \end{cases} \quad (2)$$

把式(1)写成幅度和相角形式,有

$$f(t) = \mu_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin((2\pi nt/T) + \psi_n) \quad (3)$$

其中 A_n 和 ψ_n 是 n 次谐波的幅度和相角,有

$$\begin{cases} A_n = (a_n^2 + b_n^2)^{1/2} \\ \psi_n = \text{tg}^{-1}(b_n/a_n) \end{cases} \quad (4)$$

可把 (A_n, ψ_n) 当成是 (a_n, b_n) 的极坐标,式(2)中的 $\{\mu_0, a_n, b_n\}$ 和式(3)中的 (A_n, ψ_n) 是 Fourier 描述器提取的区域边界的形状特征.在一定条件下, (A_n, ψ_n) 具有平移、旋转、缩放、

起点不变等性质^[7],如果 2 条边界曲线 r, r' 具有相同的形状、起点,而方向、大小不同,那么它们的 (A_n, ψ_n) 相同.通常,随着 n 的增加, A_n 下降,因此常取前 N 项作为某一闭合曲线所表示区域结构的特征描述

$$f(t) = \mu_0 + \sum_{n=1}^N A_n \sin((2\pi nt/T) + \psi_n) \quad (5)$$

用 Fourier 描述器描述边界曲线的方法由 Zahn 发明^[5];Kush 等人^[6]研究了一种获取链编码轮廓的 Fourier 级数展开的简单方法,并把它应用于模式识别;Ghosh 等人^[8,9]使用基于 Fourier 边界描述方法构造了几何形状代数系统;Person 等人^[10]把 Fourier 描述器用于手写数字和机械零件的形状识别,在对 500 个手写数字的识别中,正确识别率为 89.4%.下面介绍把 Fourier 级数描述用于汉字字形设计的方法.

1.2 汉字轮廓边界的 Fourier 级数描述

汉字的描述主要有 3 种方法,即点阵法、向量法和轮廓法,其中轮廓法是生成高质量低成本汉字的有效方法,^[2]在轮廓法表示中,1 个汉字的轮廓由 1 个或多个连通区轮廓组成,每个连通区轮廓由闭合曲线定义.假定有一分子沿连通区轮廓以恒速周期性运动,那么可把边界曲线上的任何点 (x, y) 看成是时间的函数,有

$$\begin{cases} x(t) = x(nT + t) \\ y(t) = y(nT + t) \end{cases} \quad (6)$$

其中 T 为周期.根据式(1),可把上面的式(6)进行 Fourier 级数展开,有

$$\begin{cases} x(t) = \mu_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(2\pi nt/T) + b_n \sin(2\pi nt/T)) \\ y(t) = \xi_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (c_n \cos(2\pi nt/T) + d_n \sin(2\pi nt/T)) \end{cases} \quad (7)$$

为了导出式(7)中的系数 μ_0, a_n 和 b_n ,我们先对闭合连通区轮廓用多边形近似,如果边数足够多,那么可以达到所需的精度.设多边形的顶点为 P_1, P_2, \dots, P_K ,有 $P_1 = P_K$.

要用到的参数定义如下:

v : 遍历速度; K : 表示连通区轮廓边界的顶点数; L : 轮廓的周长; (x_i, y_i) : 顶点 P_i 的 x, y 坐标; Δx_i : 顶点 P_{i+1} 和顶点 P_i 的横坐标差,有: $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$; Δy_i : 顶点 P_{i+1} 和顶点 P_i 的纵坐标差,有: $\Delta y_i = y_{i+1} - y_i$; Δl_i : 第 i 条边(连接 P_i 和 P_{i+1} 的线)的长度,有 $\Delta l_i^2 = x_i^2 + y_i^2$; l_j :

前面 j 条边的长度和,有 $l_j = \sum_{i=1}^j \Delta l_i$; Δt_i : 遍历第 i 条边的时间,有 $\Delta t_i = \Delta l_i / v$; t_j : 遍历前面 j

条边的时间,有 $t_j = \sum_{i=1}^j \Delta t_i = l_j / v$; T : 周期,有: $T = t_K = (1/v) \sum_{i=1}^K \Delta l_i = L/v$.

对式(7)中的 $x(t)$,对时间求导,有

$$x'(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (-(2\pi n/T) a_n \sin(2\pi nt/T) + (2\pi n/T) b_n \cos(2\pi nt/T)) \quad (8)$$

另外,根据文献[6],时间导数 $x'(t)$ 本身也是周期为 T 的函数,它也可表示成以下的 Fourier 级数

$$x'(t) = \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n \cos(2\pi nt/T) + \beta_n \sin(2\pi nt/T)) \quad (9)$$

其中 $\alpha_n = (2/T) \int_0^T x'(t) \cos(2\pi nt/T) dt$
 $\beta_n = (2/T) \int_0^T x'(t) \sin(2\pi nt/T) dt$

有 $\alpha_n = (2/T) \sum_{i=1}^K \Delta x_i / \Delta t_i \int_{t_{i-1}}^{t_i} \cos(2\pi nt/T) dt$
 $= (1/n\pi) \sum_{i=1}^K \Delta x_i / \Delta t_i (\sin(2\pi nt_i/T) - \sin(2\pi nt_{i-1}/T))$
 $\beta_n = (2/T) \sum_{i=1}^K \Delta x_i / \Delta t_i \int_{t_{i-1}}^{t_i} \sin(2\pi nt/T) dt$
 $= (1/(n\pi)) \sum_{i=1}^K \Delta x_i / \Delta t_i (\cos(2\pi nt_i/T) - \cos(2\pi nt_{i-1}/T))$

使式(8)和式(9)的系数相等,有

$$a_n = (T/(2n^2\pi^2)) \sum_{i=1}^K \Delta x_i / \Delta t_i (\cos(2\pi nt_i/T) - \cos(2\pi nt_{i-1}/T))$$

$$b_n = (T/(2n^2\pi^2)) \sum_{i=1}^K \Delta x_i / \Delta t_i (\sin(2\pi nt_i/T) - \sin(2\pi nt_{i-1}/T))$$

另外,Fourier 级数中的系数 μ_0 有值

$$\mu_0 = (1/T) \sum_{i=1}^k ((x_i - (\Delta x_i / \Delta t_i) t_{i-1})(t_i - t_{i-1}) + (1/2)(\Delta x_i / \Delta t_i)(t_i^2 - t_{i-1}^2))$$

对式(6)中的时间 t 用 l/v 替换(对计算 a_n, b_n 和 μ_0 的公式中的时间 t 按相同方法处理),有

$$x(l) = \mu_0 + \sum_{n=0}^{\infty} (a_n \cos(2\pi nl/L) + b_n \sin(2\pi nl/L)) \tag{10}$$

同理,可求得 b_n, c_n 和 ζ_0 .

根据前面的式(4),当 n 很大时, A_n 趋于 0,可进行近似计算,取 Fourier 级数展开的前 N 项,有

$$\begin{cases} X_N(t) = \mu_0 + \sum_{n=1}^N (a_n \cos(2\pi nt/T) + b_n \sin(2\pi nt/T)) \\ Y_N(t) = \zeta_0 + \sum_{n=1}^N (c_n \cos(2\pi nt/T) + d_n \sin(2\pi nt/T)) \end{cases} \tag{11}$$

使用式(11),即可重构边界(在计算时,可用 L 代替 T),并且随着谐波 N 值的增大,重构图形与原始图形的逼近程度越来越好(如图 1 所示).

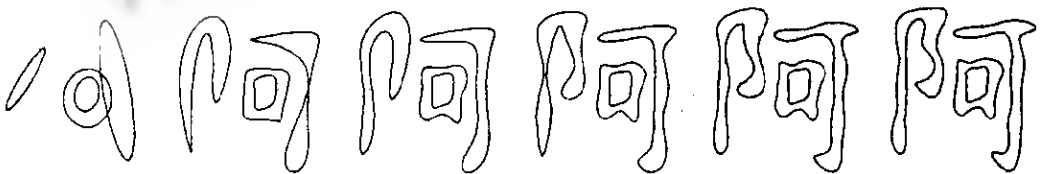


图 1 根据 Fourier 级数描述所生成的汉字(从左到右: $N=1, 3, 5, 7, 9, 11$)

1.3 使用 Fourier 描述器生成风格各异的汉字字形

根据上面的介绍把汉字轮廓用 Fourier 级数描述后,在生成时只要用式(11)计算即可.并且随着 N 的不同,可产生一组不同风格的汉字字形,而且这些汉字字形是用传统的字形变换技术无法生成的.下面是用 Fourier 级数描述汉字形状并输出一个汉字的步骤(假定对用 Bezier 描述的汉字轮廓库中的汉字进行):

步骤 1:把轮廓库中的汉字轮廓分解成多个连通区轮廓(C_1, C_2, \dots, C_m);

步骤 2:对每个连通区轮廓 C_i 做步骤 3~7;

步骤 3:对 C_i 轮廓用多边形近似,设顶点为 P_1, P_2, \dots, P_K ;

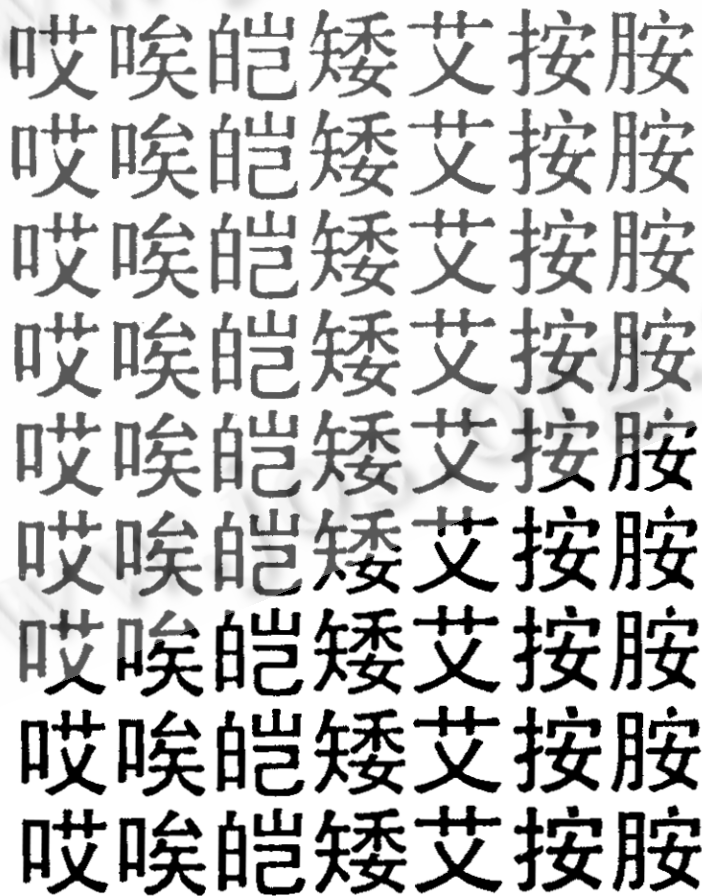
步骤 4:计算辅助性参数 $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta l_i, l_i$ 和 L 等;

步骤 5:计算系数 $\mu_0, a_n, b_n, \zeta_0, c_n, d_n$;

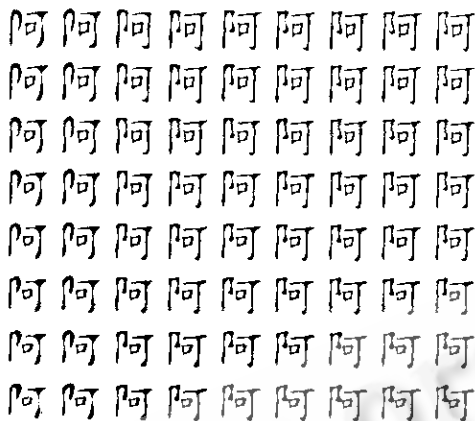
步骤 6:用式(11)计算 $X_N(t)$ 和 $Y_N(t)$ 的值, t 在 $0 \sim L$ 之间变化;

步骤 7:在屏幕上输出 $X_N(1), Y_N(1), \dots, X_N(L)$ 和 $Y_N(L)$,重构汉字(重构的汉字为轮廓描述,必要时可进行填充).

用上述方法生成的汉字可转换成向量或 Bezier 曲线描述,得到的汉字可进行无级变倍和任意旋转.^[3]



(a)黑体和宋体合并



注：谐波 N 从 3~10 变化(左→右)；宋体所占百分比从 90%~20%，楷体所占百分比从 10%~80%(上→下)
(b) 宋体和楷体合并



(c) 2 个手写体汉字合并
图 2 2 种风格的汉字合并



图 3 3 种风格的汉字合并

2 不同汉字字形的合成

用 Fourier 描述器中谐波 N 的变化可生成多种风格的汉字,由于 N 很小时(如 $N < 3$)汉字不易辨认,而 N 很大时(如 $N > 25$),汉字形状变化很小,所以单纯根据 N 的变化来生成不同字形的方法有一定限制.本文要研究的主要问题是能否对现有汉字字体的风格进行合并,以生成不同风格的字体,如把楷体风格与宋体风格进行合并,生成“宋楷合成体”,同样有“黑宋合成体”、“黑楷合成体”……,假设已有 n 种字体,那么可增加 $n(n-1)/2$ 种新字体,把新增加的字体再作为输入,又可增加若干种字体,…….另外,在进行 2 种字体(A, B)的风格合并时, A 和 B 所占的百分比不同,则合成的结果又不尽相同.因此,从理论上讲,用本文提出的方法,可以衍生出任意多种不同字体.

尽管汉字有多种不同字体,风格各异,但是在任意 2 种(如黑体和宋体)之间却有一点很重要的相同之处,即它们有相同的拓扑结构,即对每一汉字,它在 2 种字体中的拓扑结构基本上是相同的,根据这一点,可对不同字体的 2 个汉字的连通区轮廓用下面的方法进行合并.

设 $C_1(t)$ 和 $C_2(t)$ 是用 Fourier 级数描述的 2 条封闭曲线, 它们的周期相同^[8], 可以定义 2 条曲线的加法操作 (Fourier 加法) \oplus , 有

$$\begin{aligned} C_1(t) \oplus C_2(t) &= (x_1(t), y_1(t)) \oplus (x_2(t), y_2(t)) \\ &= (x_1(t) + x_2(t), y_1(t) + y_2(t)) \end{aligned} \quad (12)$$

另外, 有
$$rC(t) = (rx(t), ry(t)) \quad (13)$$

根据式 (12) 和式 (13), 定义 C_1 和 C_2 之间的线性插值操作为

$$C_r = rC_1 \oplus (1-r)C_2 \quad (14)$$

对于 2 种字体中的汉字, 使用式 (14), 即可以把它们的风格进行合并, r 取不同值 (0~1 之间), 表示 2 种字体各占的百分比, 图 2 是输出例子. 同样, 我们可以把多种字体中的对应汉字进行合并, 图 3 是输出例子.

在对 2 个用 Fourier 级数描述的汉字进行合并时, 由于汉字可能由多个连通区轮廓组成, 必须保证满足以下 3 个要求: (1) 连通区轮廓出现的先后次序一致; (2) 连通区轮廓的初始点存在对应关系; (3) 连通区轮廓中点的跟踪方向要一致.



图 4 Fourier 乘法操作例

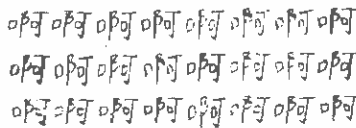


图 5 手写体汉字仿真

除了 Fourier 加法外, 还可以定义 Fourier 乘法, 有

$$\begin{aligned} C_1(t) \otimes C_2(t) &= (x_1(t), y_1(t)) \otimes (x_2(t), y_2(t)) \\ &= (x_1(t) * x_2(t), y_1(t) * y_2(t)) \end{aligned} \quad (15)$$

可用乘法对已有的汉字进行变形, 图 4 是一简单例子.

3 手写体汉字仿真

用 Fourier 级数来描述汉字的轮廓边界方法也可用于进行手写体汉字的仿真. 同一汉字, 不同人书写, 所得到的字形完全不同. 即使同一个人在不同时间或不同环境下书写的字也不完全相同. 在研制手写体汉字识别系统中, 要对系统进行测试, 必须有大量的手写体汉字样本, 收集样本的工作量是巨大的. 使用 Fourier 描述器的边界描述方法, 可以模仿手写体汉字. 具体方法是把一个手写体样本输入, 用 Fourier 级数描述, 加上白色噪音 (随机形状) 即可以生成不同变化的汉字 (如图 5 所示).

4 讨论

本文使用 Fourier 描述器方法来描述汉字的形状, 并通过谐波 N 的变化和形状的几何

变换操作来生成新的字体,大量试验表明所采用的方法是可行的.用本文算法所生成的多种中文变体能安装到我们实现的中文 PostScript Level 2 解释器 ZuPS 中.然而,所采用的方法当连通区轮廓包含的实际笔划太多时,字形合并过程中会出现微小的变形,这种缺陷可通过我们以前提出的把汉字分解成多个笔划^[3,11]、对多个笔划分别进行变换来解决.

参考文献

- 1 樊建平. 智能汉字字形设计技术及其一个试验性系统 ICCDS. 中文信息学报, 1990, 4(3): 1~11.
- 2 马小虎, 潘志庚. 高质量汉字轮廓库自动生成算法. 自动化学报, 1994, 20(1): 121~125.
- 3 马小虎. 使用 Bezier 曲线拟合汉字字形的研究[硕士论文]. 南京大学, 1991.
- 4 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. (10): 692~699.
- 5 Zahn C T. Fourier descriptors for plane closed curves. IEEE Trans. Computer, 1977, C-21(3): 269~272.
- 6 Kush F K, Giardina C R. Elliptic Fourier features of a closed contour. Computer Graphics and Image Processing, 1982, 18(3): 236~258.
- 7 徐建华. 图象处理与分析. 北京: 科学出版社, 1992.
- 8 Ghosh P K, Jain P K. An algebra of geometric shapes. IEEE CG&A, 1993, 1(9): 50~58.
- 9 Ghosh P K. An algebra of polygons through the notion of negative shapes. CVGIP, 1991, 54(1): 119~144.
- 10 Person E, Fu K S. Shape discrimination using Fourier descriptors. IEEE Trans., 1977, 7(SMC): 170~179.
- 11 Ma Xiaohu, Pan Zhigeng, Zhang Fuyan. The automatic generation of Chinese outline font based on stroke. J. of Comput. Sci. & Technol., 1995, 10(1): 42~52.

THE FOURIER DESCRIPTOR BASED AUTOMATIC GENERATION METHOD FOR MULTIPLE CHINESE FONTS

Pan Zhigeng Ma Xiaohu Zhang Mingmin Shi Jiaoying

(State Key Laboratory of CAD & CG Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract The expansion usage of computers in publishing, advertising, packing fields has given rise to great requirement for more Chinese fonts. In this paper, the authors present a new method for combining the styles of various Chinese fonts and generating new fonts. The description method for Chinese character may be used for simulation of hand-written Chinese characters.

Key words Fourier series, Chinese font, outline font, handwritten Chinese character simulation.