

数控皮革切割机控制软件开发

葛瑞广, 史伟民, 杨亮亮

(浙江理工大学机械与自动控制学院, 杭州 310018)

摘 要: 针对皮革采用手工切割或半自动切割效率低、皮革利用率低等问题,利用 Visual C++6.0 开发了数控皮革切割机的控制软件,实现了样品的快速排样、快速切割,并能输出裁片的排版图、裁片数量及生产效率。应用结果表明,所开发的数控皮革切割机控制软件界面友好、运算效率高。

关键词: 数控皮革切割机; 软件开发; 效率

中图分类号: TP311 **文献标识码:** A

0 引 言

在机械加工过程中,皮革切割的常用方式有手工、半自动和数控 3 种,手工切割由于切割质量差、材料浪费大、生产效率低下等因素基本已被淘汰;半自动切割在一定程度上降低了工人的劳动强度,但是功能相对比较简单,只适合较规则零件的切割,有些类型的切割机还要使用切割模具,虽然切割的质量较好,但不适合于单件、小批量和大工件生产。相对于手工和半自动切割,数控切割已成为皮革切割行业的发展趋势。数控切割的优点在于可以有效地提高切割效率、切割质量以及极大地减轻操作者的劳动强度。^[1]

基于上述情况,进行了数控皮革切割机的控制软件开发。

1 数学模型与方法

1.1 数控皮革切割机的特点

数控皮革切割机采用振动刀切割技术,无需刀模。切割机头集成多组加工工具,可以在一个工作单元内进行交互式的切割、冲孔、划线等,能够完成高难度、样式复杂等刀模无法实现的样板切割,大大

拓展了鞋样设计师的设计空间,制造出手工开料无法仿制的新样式。

1.2 鞋样图样的绘制及读取

设计使用 AutoCAD 来绘制鞋样的二维图样,然后将绘制好的图样保存为 DXF 格式文件。

DXF 文件的结构共分为 5 个部分:

a)标题(HEADER):用来设置与图形相关联的变量。

b)表格(TABLES):定义线、层等指定项的符号表条目。

c)块(BLOCKS):描述了图形中组成每个块的实体。

d)实体(ENTITIES):定义了每个图元实体的种类以及这些种类的具体信息,包括本研究中要用到的相关几何数据,如圆(圆心、半径)、直线(起点、终点)等。

e)结束(EOF):表示文件结束。^[2]

由于研究中只需要图形中图元的坐标信息,因此在读取 DXF 文件时可以略去文件中与几何信息无关的内容,如状态、颜色、线型等信息,而只需要从文件中读取 CIRCLE(圆)的圆心和半径,LINE(直线)的起点和终点,ARC(圆弧)的圆心、半径、起点

和终点, SPLINE(B 样条曲线)的控制点等坐标信息。

1.3 图元的处理:直线插补

图元中包含各种数据,本文为了统一,将不是直线的图元全部插补为直线,从而使得 Visual C++ 6.0 对任意图形的处理变为对多边形的处理。

a)圆弧的插补

在圆弧的弧线上从起始点开始每隔一定角度 θ 取一个点,每两个点之间用直线连接就完成了直线插补,见图 1。其相应的求插补点坐标的函数是:

$$x_2 = \gamma \cos (\Phi + \theta) = x_1 \cos \theta - y_1 \sin \theta$$
$$y_2 = \gamma \sin (\Phi + \theta) = x_1 \sin \theta + y_1 \cos \theta$$

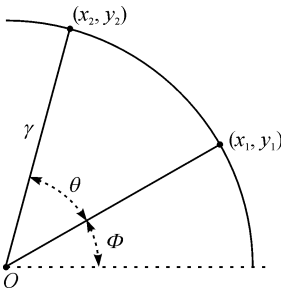


图 1 圆弧的直线插补

b) 三次 B 样条曲线(SPLINE) 的插补^[3-4]

本研究读取的是三次 B 样条曲线的控制点。从读取的 $n+1$ 个控制点 $P_i(i=0,1,\cdots,n)$ 中每次取相邻的 4 个控制点,可构造出一段三次 B 样条曲线,其相应的基函数是:

$$N_{i,4}(k) = [N_{1,4}(k) \ N_{2,4}(k) \ N_{3,4}(k) \ N_{4,4}(k)]$$
$$N_{1,4}(k) = (1/6)(-k^3 + 3k^2 - 3k + 1)$$
$$N_{2,4}(k) = (1/6)(3k^3 - 6k^2 + 4)$$
$$N_{3,4}(k) = (1/6)(-3k^3 + 3k^2 + 3k + 1)$$
$$N_{4,4}(k) = (1/6)(k^3); k \in [0,1]$$

三次 B 样条曲线基函数的矩阵表示为:

$$\mathbf{N}_{i,4}(k) =$$
$$(1/6)[k^3 \quad k^2 \quad k \quad 1] \begin{vmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (1)$$

相邻两段三次 B 样条曲线可表示为:

$$M_{i,4}(k) = N_{1,4}(k)P_{i-1} + N_{2,4}(k)P_i +$$
$$N_{3,4}(k)P_{i+1} + N_{4,4}(k)P_{i+2}$$
$$M_{i+1,4}(k) = N_{1,4}(k)P_i + N_{2,4}(k)P_{i+1} +$$
$$N_{3,4}(k)P_{i+2} + N_{4,4}(k)P_{i+3}$$

故第 i 段三次 B 样条曲线可写成:

$$M_{i,4}(k) = \sum_{j=1}^4 N_{j,4}(k)P_{i+j-2}$$

对应的矩阵式是:

$$\mathbf{M}_{i,4}(k) =$$
$$(1/6)[k^3 \quad k^2 \quad k \quad 1] \begin{vmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \end{vmatrix},$$
$$i = 1,2,\cdots,n-2;k \in [0,1] \quad (2)$$

三次 B 样条曲线段的几何性质:

由式(2) 可知,三次 B 样条曲线段的端点具有如下一些性质:

曲线段起点($k=0$)

$$\mathbf{M}(0) = (1/6)(P_{i-1} + 4P_i + P_{i+1})$$
$$\mathbf{M}'(0) = (1/2)(P_{i+1} - P_{i-1})$$
$$\mathbf{M}''(0) = (P_{i+1} - P_i) + (P_{i-1} - P_i)$$

曲线段终点($k=1$) 时

$$\mathbf{M}(1) = (1/6)(P_i + 4P_{i+1} + P_{i+2})$$
$$\mathbf{M}'(1) = (1/2)(P_{i+2} - P_i)$$
$$\mathbf{M}''(1) = (P_{i+2} - P_{i+1}) + (P_i - P_{i+1})$$

由上述顶点性质可以得出曲线的起点 $\mathbf{M}(0)$ 落在 $\triangle P_0P_1P_2$ 的中线上,离 P_1 顶点 $1/3$ 处。而该点的切线向量 $\mathbf{M}'(0)$ 与 $\triangle P_0P_1P_2$ 的底边 P_0P_2 平行,其长度为底边 P_0P_2 的一半。该点的二阶导数 $\mathbf{M}''(0)$ 与中线 P_1M_1 重合,且长度为 P_1M_1 的两倍,终点 $\mathbf{M}(1)$ 处的情况相类似,只是由 $\triangle P_1P_2P_3$ 控制,见图 2(a),两段 B 样条曲线连接见图 2(b)。

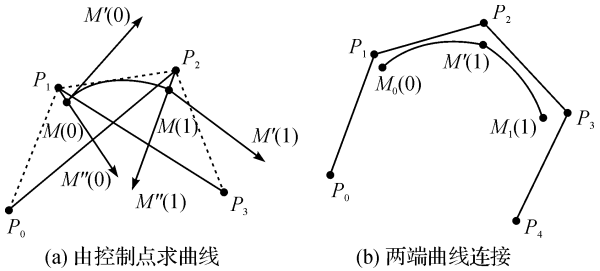


图 2 三次 B 样条曲线

1.4 多边形的位置关系判断算法

1.4.1 延长线分割法^[5-6]

使用延长线分割法将所有的多边形(A、B...)分解为凸多边形(A_i、B_i...(其中 $i=1,2,\cdots$))。

为了便于说明,本文引入主依附边的概念,所谓顶点的主依附边是指对于一定的多边形顺序(逆时针或者顺时针),以该顶点为弧头的边。因此由概念可知,对于本文中的二维平面简单多边形,一个顶点只会有一个主依附边,延长主依附边见图 3(a)。同时为了算法和程序的实现,多边形的直线方程也需要作一些改动。对于两条直线,设第一条线段的表达

式为: $F(i) = (1-i)P_0 + iP_1$,其中 $i \in [0,1], P_0(i = 0)$ 和 $P_1(i = 1)$ 分别为该线段的起点和终点。当 $i > 1$ 时, $F(i)$ 代表线段 P_0P_1 正向延长线上的点,当 $0 \leq i \leq 1$ 时, $F(i)$ 代表线段 P_0P_1 上的点,当 $i < 0$ 时 $F(i)$ 代表线段 P_0P_1 的反向延长线上的点。同样的方式,第二条线段的表达式设为 $F'(j) = (1-j)P'_0 + jP'_1(j \in [0,1]), P'_0、P'_1$ 分别为线段的起点和终点。令 $F(i) = F(j)$,即: $(1-i)P_0 + iP_1 = (1-j)P'_0 + jP'_1$

或者是

$$(1-i)\begin{Bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{Bmatrix} + i\begin{Bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{Bmatrix} = (1-j)\begin{Bmatrix} x'_0 \\ y'_0 \end{Bmatrix} + j\begin{Bmatrix} x'_1 \\ y'_1 \end{Bmatrix}$$

通过解此方程可以判断两个线段或者两个线段的延长线是否相交:a) 方程无解,说明两条线段平行;b) 方程有解,并且 $i \in [0,1], j \in [0,1]$ 同时成立,说明这两条线段相交;c) 方程有解,但 $i \notin [0,1]$ 且 $j \in [0,1]$ 或者 $i \in [0,1]$ 且 $j \notin [0,1]$ 成立,其中一条线段与另外一条线段的延长线相交;d) 方程有解,但 $i \notin [0,1]$ 且 $j \notin [0,1]$,说明两条线段的延长线相交。本文利用上述方法的第三种情况来判断一条线段是否与另外一条线段的延长线相交,若相交,求出交点的坐标即可完成分割。分割后的多边形如图3(b)所示。

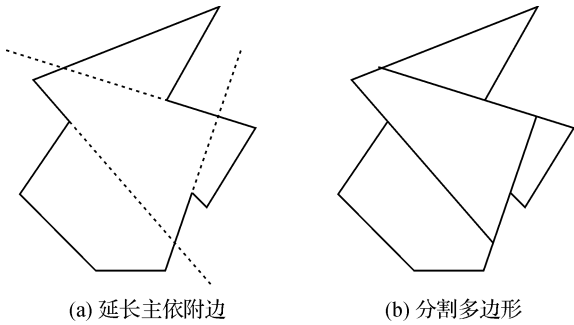


图3 延长线分割法

1.4.2 求解临界多边形^[7-8]

求解凸多边形 $(A_i、B_j(其中 i = 1,2,\cdots,j = 1,2,\cdots))$ 之间的临界多边形 NFP_{ij} 。

多边形 B 相对于多边形 A 的临界多边形(用 NFP 表示)的定义为:将多边形 A 固定不动,多边形 B 沿着多边形 A 的边界绕行一周,同时保证多边形 B 上至少有一点和多边形 A 的边保持接触,但是两个多边形不能重叠、旋转和翻转,见图4(a)。在这个过程中,多边形 B 上的一点留下的轨迹就是多边形 B 相对于多边形 A 的临界多边形 NFP_{AB} ,如图4(b)所示。

通过临界多边形判断两个多边形 A 和 B 的位置关系的方法为:首先选取一个参考点 P (一般选择纵坐标最小的那个顶点),通过参考点 P 和 NFP_{AB} 的关系来判断多边形 A 和 B 的关系: P 在 NFP_{AB} 外面,则多边形 A 和 B 不相交; P 在 NFP_{AB} 内部,则多边形 A 和 B 重叠; P 在 NFP_{AB} 边界上,则多边形 A 和 B 正好接触但不重叠。

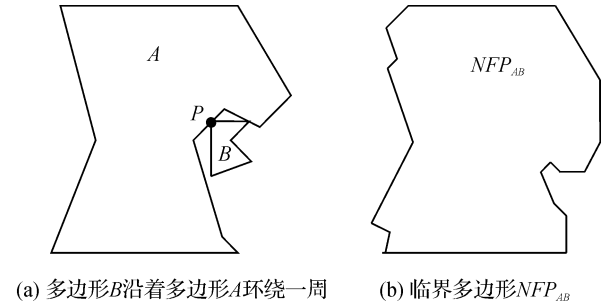


图4 临界多边形

在研究中只需要求解两个二维凸多边形的 NFP 即可;Bonnell已经给出了一种算法^[2]:为了便于计算 NFP ,将多边形 A 的顶点的存储方向定义为逆时针方向,如图5(a)所示, B 的顶点的存储方向定义为顺时针方向,如图5(b)所示。然后将两个多边形的边矢量的起点全部移至原点 $(0,0)$,同时保持边矢量的方向和大小不变,移动后的矢量图如图5(c)所示。然后从其中一个边矢量出发,沿着逆时针的方向将这些边矢量首尾相连(注意边矢量的连接顺序),即可得到两个凸多边形的矢量和,也就是 NFP_{AB} ,如图5(d)。

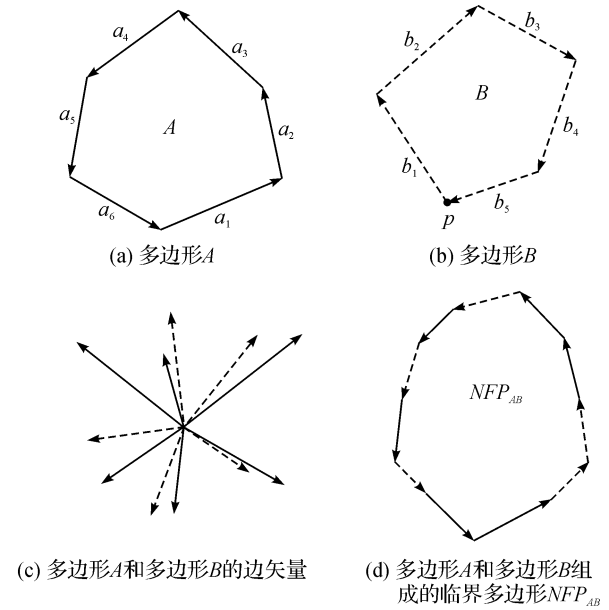


图5 NFP 的求解

1.4.3 将所有的 NFP_{ij} 合并为一个 NFP

使用遍历法合并上一步得到的 NFP_{ij} 。首先遍历 NFP_{ij} 中所有的边矢量并求它们的方向角度,求解方向角度公式为: $angle = atan2(y,x)$ (其中 x 指定两个点横坐标的差, y 指定两个点纵坐标的差)。得到 $angle$ 的取值范围(乘以 $180/PI$ (PI 为圆周率)后的值)为 $(-180,180]$ 。如果存在 $angle$ 等于 180 的边矢量,这个边就作为 NFP 的起始边,否则对比所有 $angle$,值最小的那个边就作为 NFP 的起始边。然后进行逆时针搜索 NFP 的每一个边矢量,方法^[9]如下:

设此时的边矢量为 P_1 ,方向角度为 $angle1$,遍历其他的边矢量 P_2 并根据 1.4.1 中所述方法判断这些边是否与 P_1 相交,如果相交求出交点,然后再判断 P_2 的方向角度 $angle2$ 和 $angle1$ 的大小关系,如果 $angle2 < angle1$,那么 P_2 就是 NFP 的下一个边,否则继续搜索。在搜索的过程中如果有两个或两个以上的边与 P_1 相交,计算出其与 P_1 的交点,判断这些交点和 P_1 的起点之间的距离,距离最小的交点所对应的边就是 NFP 的下一个边。如果距离相等,则对比这些边的 $angle$,最小的 $angle$ 所对应的边就是 NFP 的下一个边。

2 应用实例

本软件已通过控制数控皮革切割机的实例得到验证,所获得的设计结果界面美观大方,操作简单,输入参数以及鞋样文件即可进行鞋样的排列。具体过程是:

- a)将要设置的参数输入界面系统,其中切割的工具具有刀具、铅笔、冲孔 3 种选择,刀具落下的距离根据实际测量进行输入,在对裁片进行旋转时可以设定进行微调或者粗调时旋转的角度,另外为了保护机械可以设定最大超时等待时间和最大速度,见图 6。
- b)选择鞋样以及数量。其中可以选择鞋子的样式、码数以及左右两种鞋子的数量。同时可以选择组成这双鞋子的各种鞋片,见图 7。
- c)对选择的裁片进行排样。排样结果在界面上显示如图 8 所示。排样结束后会弹出排料报告,报告中会说明鞋样的样式,皮革的尺寸以及输出的鞋样裁片的数量以及生产效率。通过这个报告可以清晰地知道这个排版的优劣,排料报告见图 9。



图 6 参数输入界面



图 7 切割样式及裁片选择

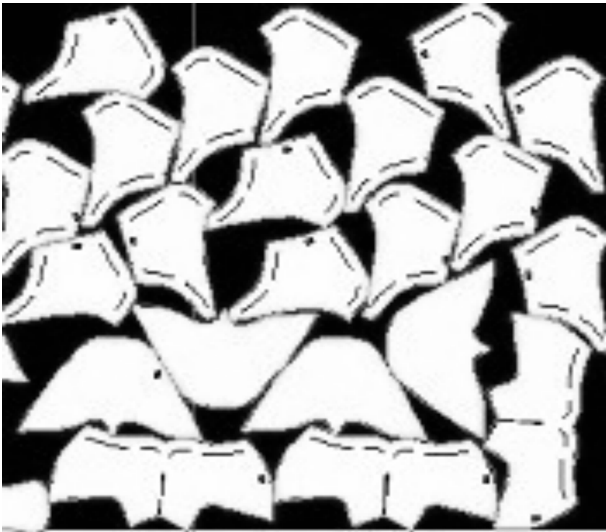


图 8 裁片的排版



图 9 排料报告

3 结 语

经实践证明,所开发的皮革切割控制软件采用的方法简单,容易实现,软件运算效率高,界面友好,在应用中取得良好的效果。

参考文献:

[1] 胡国玉. 基于数控加工图形数据处理方法的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2003.

[2] Carlsson J G. Finding equitable convex partitions of points in a polygon efficiently[J]. ACM Transactions on Algorithms, 2010, 6(4): 1-19.

[3] 白瑞斌. 临界多边形在二维不规则零件排样中的研究与实现[D]. 西安: 西北工业大学, 2002.

[4] 赵燕伟, 田先斌, 杨帆, 等. 数控皮革裁剪的 NURBS 曲线切向跟随插补方法[J]. 制造业自动化, 2009, 31(8): 80-84.

[5] 周培德. 计算几何-算法分析与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 15-23.

[6] Berg M D. Computational Geometry Algorithms and Applications[M]. Berlin: Springer, 1997: 35-70.

[7] 刘胡瑶, 何援军. 基于轨迹计算的临界多边形求解算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006(8): 1123-1129.

[8] 王及忠. 一种新的快速求解 NFP 的方法[J]. 西南交通大学学报, 1993(1): 60-65.

[9] Bennell J A, Dowsland W B. The irregular cutting-stock problem-a new procedure for deriving the no-fit polygon[J]. Computer & Operations Research, 2001, 28(3): 271-287.

Control Software Exploitation of CNC Leather Cutting Mathine

GE Rui-guang, SHI Wei-min, YANG Liang-liang

(School of Machinery and Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at the low efficiency of manual cut and semiautomatic cut and the low utilization of leather, combining the merits, Visual C++6.0 is used to develop CNC leather cutting mathine software, which has already realized the rapid nest and leather-cut as well as using the report to output production efficiency. The applied results indicate that the expoldered control software of CNC leather cutting mathine has friendly interface and high production efficiency.

Key words: CNC leather cutting mathine; software development; efficiently

(责任编辑: 杨元兆)