

◎产品、研发、测试◎

眼镜脚套的参数化模型及折弯算法

周宏明,李峰平,薛伟

ZHOU Hong-ming, LI Feng-ping, XUE Wei

温州大学 工业工程学院, 浙江 温州 325035

School of Industrial Engineering, Wenzhou University, Wenzhou, Zhejiang 325035, China

E-mail: wzulfp@126.com

ZHOU Hong-ming, LI Feng-ping, XUE Wei. Research on parametric modeling and curving algorithm of eyeglasses' temple. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(12): 86-88.

Abstract: To solve the problem of curving eyeglasses' temple automatically, this article analyzes the basic structure and feature of eyeglasses' temple according to the theory of features modeling, and defines the data structure by CSG. Lastly, the parametric modeling and curving algorithm of eyeglasses' temple are set up, which provides a method of theory and technology for eyeglasses' CAD.

Key words: eyeglasses' temple; feature modeling; parametric modeling; curving algorithm

摘要: 针对眼镜脚套自动折弯这一问题, 根据特征造型的基本原理, 分析了眼镜脚套的基本结构和特征表示, 采用 CSG 定义了数据结构, 并以此为基础, 建立了脚套参数化模型和折弯算法, 为眼镜的计算机辅助设计提供了理论和技术基础。

关键词: 眼镜脚套; 特征造型; 参数化模型; 折弯算法

文章编号: 1002-8331(2007)12-0086-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391.72

1 前言

脚套是眼镜的重要部件, 无论从功能的角度还是从款式角度, 脚套设计在整镜设计中举足轻重。目前市场上眼镜脚套的种类有几十种, 款式达上千种之多。脚套折弯在眼镜设计中经常要遇到, 由于脚套形状比较复杂, 边界通常是不规则的封闭曲线。采用手工方法进行脚套折弯设计需要时间长, 形成的设计图形不准确, 存在较大的误差。脚套的自动折弯是由用户输入折弯参数, 由系统来完成设计工作, 这样可以大大提高效率和准确程度。本文从脚套折弯的实际出发, 根据特征造型的基本原理, 建立描述脚套的特征数据结构和参数化模型(即曲线参数化模型), 针对曲线模型, 提出折弯参数化的数学算法。

2 特征造型

特征是设计和制造零、部件的基本几何体, 以 CSG 和 BRep 表示为基础, 源于产品的模块化设计思想。特征是参数化的几何体, 由面、环、边、点和中心线等几何要素组成, 通过改变特征的尺寸, 可以用有限的特征构造出无限的零部件形状。一般来说, 特征信息应包括形状信息, 描述一定工程意义的几何信息; 精度信息, 反映零件几何变动量的信息集合; 材料信息, 与零件选用材料相关的信息集合; 技术信息, 反映零件的性能、作用、加工要求等方面的信息; 管理信息, 描述零件在设计生产过程中的非加工信息, 包括搬运、储存等。其中, 形状是产品设计制造人员考虑问题的焦点, 通常也是其它信息的载体^[1]。

3 脚套的特征表示

特征的表示方法有两种: 显式和隐式。例如, 对于长方体特征, 其显式表示包括四个侧面、两个底面的几何细节及边界细节; 隐式表示可用一条棱线、长度、宽度、高度等来描述。但从设计和加工的要求出发, 特征的表示常用总体表示形式。

特征的总体表示主要包括特征标识、特征名、位置与方向、几何尺寸、几何要素、轮廓线、主参数等, 信息结构表达如下:

```
struct FEATURE { // 特征
    int ID; // 特征标号
    char name[20]; // 特征名
    float x, y; // 特征位置
    float a, b; // 特征方向
    struct DIMENSION *t_dimension; // 几何尺寸指针
    struct PROFILE *profile; // 特征轮廓线指针
    float *mp; // 特征主参数组指针
};
```

根据眼镜脚套设计的具体情况, 脚套的特征表示采用特征标识、特征名、位置、轮廓线和长度, 即 $D=\{ID, Name, (x_1, y_1), Pr, L_i\}$, 信息结构表达如下:

```
struct JT_FEATURE { // 脚套特征
    int ID; // 特征标号
    char Name[20]; // 特征名
    float x_1, y_1; // 特征位置
    struct PROFILE *Pr; // 特征轮廓线指针
};
```

基金项目: 温州市科技公关计划(the Key Technologies R&D Program of Wenzhou, China under Grant No.G2004068)。

作者简介: 周宏明(1969-), 男, 博士生, 副教授, 主要从事系统工程、CAD/CAM 和工业工程等方面的研究; 李峰平, 讲师; 薛伟, 教授。

```
float L1; // 特征主参数数组指针
};
```

特征标识 ID 是一个正整数,是特征在零件 CSG 树上的唯一标识。特征名 Name 是一个字符串,唯一表示特征的类型;它与特征标识不同,特征名用于判断特征类型,特征标识用于表示特征在零件中的位置。位置(x,y)指特征原点或局部坐标系相对于零件全局坐标系的位置。轮廓线 Pr 表示脚套的边界曲线。

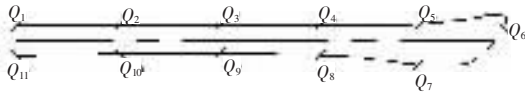


图1 脚套的结构

由于脚套的轮廓线是不规则的曲线,如图1所示,决定曲线形状的是具有特征点 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6, Q_7, Q_8, Q_9, Q_{10}, Q_{11}$,把这些点称为型值点^[2]。脚套的边界是通过这些型值点的一条光滑曲线,利用二次样条法进行拟合,效果很好。因此, Pr 可以描述为:

$$Pr=G(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n) \quad (1)$$

其中 G 表示二次样条法, $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 表示型值点。

根据式(1),可以计算出眼镜脚套边界曲线的方程

$$Pr=F(x, y)$$

因此,轮廓线 Pr 的信息结构可以表达如下:

```
struct PROFILE { // 轮廓线数据结构
    int ID; // 轮廓线标号
    char Name[20]; // 轮廓线名
    void(* spline)(); // 拟合曲线函数指针
    float *Q[2]; // 型值点数组指针
};
```

根据以上的结果,眼镜脚套的数据结构可表示为图2所示的树型结构。

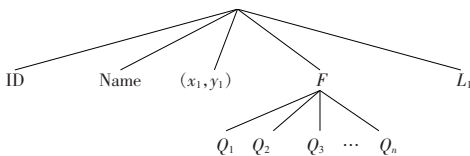


图2 眼镜脚套数据的树型结构

4 参数化驱动

4.1 参数化方案

折弯参数包括折弯的位置、半径和角度,如图4所示,用 L_2, R 和 θ 表示。由于型值点 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 控制折弯前的曲线形状即 $Pr=G(Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n)$,因此,由折弯前的曲线通过折弯参数生成折弯后的曲线,采用“先变换,再生成”的策略:

(1)根据变换规则由折弯前曲线的型值点 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 产生控制折弯后曲线的型值点 $Q_1', Q_2', Q_3', \dots, Q_n'$;

(2)由型值点 $Q_1', Q_2', Q_3', \dots, Q_n'$ 利用二次样条法生成折弯后曲线 $Pr'=G(Q_1', Q_2', Q_3', \dots, Q_n')$,如图3所示。

4.2 折弯算法

脚套的折弯实际上是根据型值点 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ 和折弯参数 L_2, R 以及 θ 求型值点 $Q_1', Q_2', Q_3', \dots, Q_n'$ 的过程。折弯前和折弯后,脚套轮廓线离中心线的距离保持不变,这是折弯算法的基础。因此,折弯算法通过以下三步来实现:

4.2.1 中心线的折弯

如图5所示,折弯前的中心线 P_1P ,折弯后的中心线由直

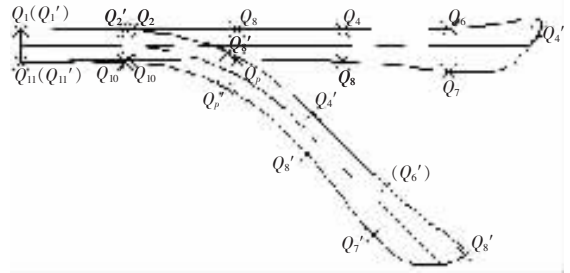


图3 脚套折弯前后的型值点

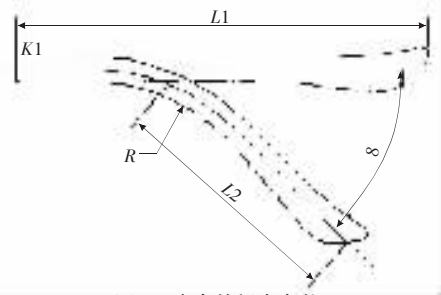


图4 脚套的折弯参数

线 P_1P_2 、圆弧 P_2P_3 和直线 P_3P_4 三段组成,要绘制出折弯后的中心线,只要计算出关键点 P_1, P_2, P_3, P_4, O_1 点的坐标和求出中心线的方程即可。 P_1 点是整个脚套的基准点,假设 $X_{P1}=x, Y_{P1}=y$ 。

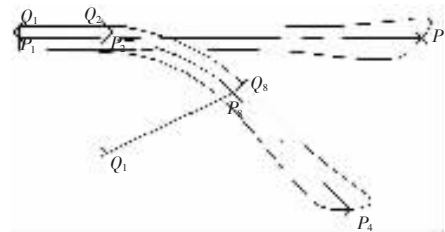


图5 中心线折弯

(1)关键点的坐标

P_2 点的坐标为

$$(X_{P2}, Y_{P2}) = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & L \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

即 $X_{P2}=x+L, Y_{P2}=y$, 其中 $L=L_1-L_2-R \cdot \tan \frac{\theta}{2}$ 。

O_1 点的坐标为

$$(X_{O1}, Y_{O1}) = \begin{pmatrix} X_{P2} \\ Y_{P2} \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -R \end{pmatrix} \quad (2)$$

即 $X_{O1}=X_{P2}, Y_{O1}=Y_{P2}-R$ 。

P_3 点的坐标为

$$(X_{P3}, Y_{P3}) = \begin{pmatrix} X_{O1} \\ Y_{O1} \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & R \sin(\theta) \\ 0 & 1 & -R \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad (3)$$

即 $X_{P3}=X_{O1}+R \cdot \sin(\theta), Y_{P3}=Y_{O1}+R \cdot \cos(\theta)$ 。

P_4 点的坐标为

$$(X_{P4}, Y_{P3}) = \begin{pmatrix} X_{P3} \\ Y_{P3} \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & L_p \cos(\theta) \\ 0 & 1 & -L_p \sin(\theta) \end{pmatrix} \quad (4)$$

即 $X_{P4}=X_{P3}+L_p \cdot \cos(\theta), Y_{P3}=Y_{P3}-L_p \cdot \sin(\theta)$, 其中 $L_p=L_1-L-R \cdot \theta$ 。

(2)中心线方程

折弯前,中心线上任意一点 O 的坐标为 (X_o, Y_o) , 则折弯后

O'的坐标为:

当 $x \leq X_o \leq x+L$

$$(X_o', Y_o') = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

当 $x+L \leq X_o \leq x+L+R \cdot \theta$

$$(X_o', Y_o') = \begin{pmatrix} 1 & 0 & R \cdot \sin(\theta_R) \\ 0 & 1 & R \cdot \cos(\theta_R) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{o1} \\ Y_{o1} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

其中 $\theta_R = \frac{X-x-L}{R}$ 。

当 $x+L+R \cdot \theta \leq X_o \leq x+L_1$

$$(X_o', Y_o') = \begin{pmatrix} 1 & 0 & L_o \cos(\theta) \\ 0 & 1 & -L_o \sin(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{p3} \\ Y_{p3} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中 $L_o = X_o - x - L - R \cdot \theta$ 。

4.2.2 型值点的折弯计算

型值点的折弯计算以中心线为基础, 分段 P_1P_2, P_2W_3, W_3P 三段进行, 如图 6 所示, 其中 P_1, P_2, W_3, P 点是分段的关键点, 其 X 坐标决定折弯的方程, 根据以上计算可知:

$$\begin{aligned} X_{P1} &= x \\ X_{P2} &= X_{P2} = x + L \\ X_{W3} &= X_{P2} + R \cdot \theta \\ X_{P4} &= x + L_1 \end{aligned}$$

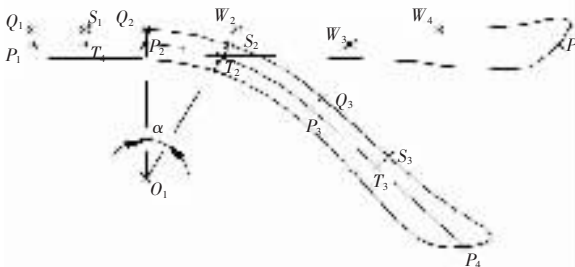


图 6 型值点的折弯计算

(1) P_1P_2 段

S_1 点位于 P_1 和 P_2 之间即 $X_{P1} \leq X_{S1} \leq X_{P2}$, 折弯前与折弯后点的坐标相同:

$$(X_{S1}', Y_{S1}') = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{S1} \\ Y_{S1} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

即 $X_{S1}' = X_{S1}, Y_{S1}' = Y_{S1}$ 。

(2) P_2W_3 段

W_2 点位于 P_2 和 W_3 之间即 $X_{P2} \leq X_{W2} \leq X_{W3}$, 折弯前的 W_2 点变成折弯后的 S_2 点。

$$(X_{S2}, Y_{S2}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & D \cdot \sin(\alpha) \\ 0 & 1 & D \cdot \cos(\alpha) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_{o1} \\ Y_{o1} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

即 $X_{S2} = X_{o1} + D \cdot \sin(\alpha), Y_{S2} = Y_{o1} + D \cdot \cos(\alpha)$, 其中 $D = R + Y_{W2} - Y_o, \alpha = (X_{W3} - X_{P2}) / R$ 。

(3) W_3P 段

W_4 点位于 W_3 和 P 之间即 $X_{W3} \leq X_{W4} \leq X_P$, 折弯前的 W_4 点变成折弯后的 S_3 点。先根据式(7)计算 T_3 点的坐标 (X_{T3}, Y_{T3}) , 再根据 T_3 点的坐标计算 S_3 点的坐标为:

$$(X_{S3}, Y_{S3}) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & D_2 \cdot \sin(\theta) \\ 0 & 1 & D_2 \cdot \cos(\theta) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{T3} \\ Y_{T3} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

其中 $D_2 = Y_{W4} - Y_o$ 。

4.2.3 折弯后的曲线生成

Q_1 与 Q_2 之间的曲线和 P_2 与 P_1 之间的曲线在折弯前后没有变化, 因此, 折弯后这两段曲线不必重新生成。

对于 Q_2 与 P_2 之间的型值点 $Q_i, Q_{i+1}, \dots, Q_n, P_m, P_{m-1}, \dots, P_j$ 根据以上的折弯变换算法生成新的型值点 $Q_i', Q_{i+1}', \dots, Q_n', P_m', P_{m-1}', \dots, P_j'$, 利用二次样条法进行拟合, 可以得到折弯后的曲线:

$$Pr' = G(Q_i', Q_{i+1}', \dots, Q_n', P_m', P_{m-1}', \dots, P_j')$$

5 结束语

本文提出的脚套参数化数学模型和折弯算法, 已在 AutoCAD 环境用 Autolisp 语言实现, 并成功地应用在眼镜 CAD 系统中。实践表明, 脚套的参数化模型是科学、合理的, 折弯算法是正确、可行的, 具有较高的实际应用价值。

(收稿日期: 2006 年 10 月)

参考文献:

- [1] 薛伟, 周宏明. 眼镜镜片样式的参数化模型和算法[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2004, 11(6): 473-476.
- [2] 孙家广. 计算机辅助设计基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [3] 杨宏农, 黄克正. 二维特征造型方法的研究[J]. 机电一体化, 2002, 8(5): 13-16.
- [4] 孙知信. 特征设计的形式化描述[J]. 计算机工程与应用, 2001, 37(5): 47-49.

(上接 12 页)

生可能的下一步学习内容, 利用学生知识状态的知识内缘, 提供学生学习过程中的返回帮助功能。(收稿日期: 2007 年 1 月)

参考文献:

- [1] Dietrich Albert. Knowledge structure[M]. New York: Springer Verlag, 1994.
- [2] Dietrich Albert, Cord Hockemeyer. Adaptive and dynamic hypertext

- tutoring systems based on knowledge space theory[M]/Boulay B du, Mizoguchi R. Artificial Intelligence in Education: Knowledge and Media in Learning Systems, 39: 553-555.
- [3] Jean-Claude Falmagne. The assessment of knowledge in theory and in practice. Institute for Mathematical Behavioral Sciences, 2003: 26-41.
- [4] 高尚, 常桂然, 赵宏. 超文本学习状态空间模型与学习控制[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(12): 1437-1441.
- [5] 袁崇义. Petri 网原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.