

文章编号 1000-5013(2003)01-0076-04

鞋楦曲面数字化特征识别与数据压缩

刘冬 林述温

(福州大学机械工程学院, 福建 福州 350002)

摘要 在鞋楦曲面数字化处理中, 为了保证鞋楦数字化建模的精度, 对母楦检测采样数据进行预处理是十分必要的. 针对鞋楦加工中对鞋楦转折锐边的特殊要求, 提出离散数据特征信息识别法以及适用于鞋楦数字化的数据压缩和存储的有效方法.

关键词 鞋楦, 预处理, 特征识别, 逆向工程, 数据压缩

中图分类号 TS 943.26 TP 274

文献标识码 A

制鞋业是我国重要的出口行业, 在国民经济发展中发挥着重要作用. 鞋楦是制鞋过程中必不可少的重要模具, 鞋的款式和品种的变化直接依托于鞋楦的造型设计. 传统的制鞋业主要采用以手工制作母楦, 再配合“靠模”的方式仿形加工鞋楦. 这样不但生产周期长, 而且加工精度低, 质量不稳定, 尤其是鞋楦的级放精度难以保证. 这些因素, 严重制约着我国制鞋水平的提高以及制鞋业的发展. 随着数控技术的发展, 国外已有大公司开发了鞋楦曲面的重建建模、数字化级放, 以及数控加工的整套技术, 并开始应用于实际生产. 它大大地缩短了生产周期, 提高了生产效率和产品质量. 我国加入 WTO 以后, 面对更加激烈的市场竞争, 必须开发有自主知识产权的鞋楦曲面数字化建模、数字化级放以及自动生成数控加工程序的软硬件系统, 为实现鞋楦的完全 CAD/CAM 奠定基础. 其中软件系统的核心内容, 包括检测采样数据预处理、曲面数字化建模重构、数字化级放以及自动生成 NC 加工程序等. 本文将详细阐述其中的关键技术之一, 即在检测过程中采样数据预处理的方法及步骤. 传统几何模型的建立是基于产品或构件的功能和外形, 由设计师在 CAD 软件中构造的, 这即为正向工程. 但在汽车、飞机、工艺美术品和模具等行业的设计和制造过程中, 此类产品通常由复杂的自由曲面拼接而成. 它在概念设计阶段很难用严密、统一的数学语言来描述. 因此, 许多产品初始模型, 必须通过对事先制造出的木制或塑料、泥制模型进行数字化. 这种以实物模型为依据来生成几何模型的设计方法, 即为逆向工程(RE)^[1]. 鞋楦的制造过程大多属于逆向工程的范畴. 母楦实物由设计师制作完成, 通过测量机对母楦进行检测采样, 再经一系列数据处理, 最终完成鞋楦模型重构. 对于触测式检测方法的鞋楦测量机, 为了提高检测效率, 一般测头触测采样运动轨迹为螺旋线. 如图 1 所示, $5\,000 \times 400$ 表示每圈有 5 000 个采样数据, 总共 400 圈. 以此为例, 母楦每旋转 $360/5\,000 = 0.072$ 采

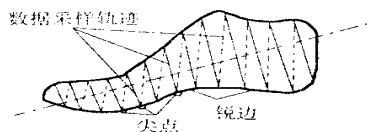


图 1 鞋楦采样示意图

样一次, 相邻采样点纵向间距 $d_0 = \text{母楦总长} / (5\,000 \times 400)$. 由此可以得到一系列柱面坐标形式的采样数据 (ρ_i, θ, z_i) , 其中 $\theta \in [0^\circ, 360^\circ]$.

1 鞋楦尖点识别

鞋楦实体上部称为楦面, 下部为楦底. 楦面和楦底均为光滑曲面, 两者的拼接处成边棱, 称之为鞋楦的转折锐边. 锐边上的采样点称为尖点, 如图2所示. 高档皮鞋对鞋楦尖点的加工质量要求较高. 因此, 为了能准确、全面采集到鞋楦尖点信息, 采样数据必须足够多. 从理论上讲, 由于楦面与楦底均为光滑曲面, 采样点越密集, 鞋楦数字化就越准确, 生成的几何模型就越接近实物模型. 然而, 在实际应用中, 过于庞大的采样数据是不合适的. 它不但大大

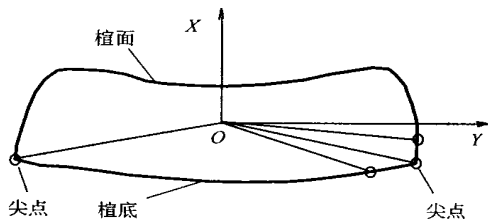


图2 鞋楦横截面示意图

降低了检测采样效率, 而且对检测设备的测量分辨率和数据存储空间提出很高的要求, 这些都会导致成本的提高. 同时, 它不利于模型数字化, 使数字化计算量大幅增加. 因此, 本研究在母楦检测采样中, 先采取较高密度的数据采样(每圈采样 5 000 个数据), 准确、全面采集到鞋楦尖点信息. 然后, 在保证鞋楦数字化不失真的情况下, 进一步对采样数据进行压缩处理.

获得母楦检测采样数据后, 首先就要进行尖点识别. 许多文献中提出各种识别模型特征信息的方法. 但是, 大部分都是建立数学模型后再进行识别, 如建立曲线曲率函数、求曲率函数极值点来判别曲线的尖点^[1]. 此类方法复杂, 不适合鞋楦尖点的识别. 如图1所示, 母楦采样数据的空间分布呈螺旋线状, 相邻采样点纵向间距 d_0 很小. 所以, 在鞋楦尖点识别中近似采用曲率平面识别法, 即将柱面坐标数据 (ρ, θ, z) 转换为极坐标数据 (ρ, θ) .

在微积分学中, 平面曲线任一点的曲率定义为

$$K = \left| \frac{d\alpha}{ds} \right| = \left| \frac{\Delta\alpha}{\Delta s} \right|, \quad (1)$$

式中 $\Delta\alpha$ 为两点切矢方向角之差, Δs 为两点间的弧长. 由极坐标数据 (ρ, θ) 与直角坐标 (x, y) 的关系可得 $x = \rho \cos \theta$, $y = \rho \sin \theta$. 分别对 x, y 取微分得

$$dx = \cos \theta d\rho - \rho \sin \theta d\theta = \Delta \rho \cos \theta - \rho \sin \theta \Delta \theta, \quad (2)$$

$$dy = \sin \theta d\rho + \rho \cos \theta d\theta = \Delta \rho \sin \theta + \rho \cos \theta \Delta \theta, \quad (3)$$

式中 $\Delta\rho$ 为两点极半径差, $\Delta\theta$ 为两点极角差.

根据导数的定义得 $y' = \frac{dy}{dx}$. 将式(2), (3), 代入式(4)得 $y' = \frac{\Delta \rho \sin \theta + \rho \cos \theta \Delta \theta}{\Delta \rho \cos \theta - \rho \sin \theta \Delta \theta}$. 则切矢方位角 α 为

$$\alpha = \arctan y' = \arctan y' = \frac{\Delta \rho \sin \theta + \rho \cos \theta \Delta \theta}{\Delta \rho \cos \theta - \rho \sin \theta \Delta \theta}. \quad (5)$$

将式(2), (3) 带入弧长微分方程得

$$\Delta s \quad ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} = \sqrt{(\Delta \rho \cos \theta - \rho \sin \theta \Delta \theta)^2 + (\Delta \rho \sin \theta + \rho \cos \theta \Delta \theta)^2}. \quad (6)$$

理论上, 连续曲线中的尖点, 就是曲线中曲率半径为零的数据点. 在鞋楦离散数据的尖点识别中, 采用式(1)进行近似曲率计算, 找出曲率最大的数据点作为尖点. 如图3所示, 从鞋楦离散

数据中每次顺序取出 3 点 (A, B, C) 进行识别, 其中 B 点为识别点. A 点的切矢方位角 α_{i-1} 和 AB 间的弧长 Δs_{AB} 分别由式 (5), (6) 确定, 其中 $\rho = \rho_{i-1}$, $\theta = \theta_{i-1}$, $\Delta \rho = |\rho_i - \rho_{i-1}|$, $\Delta \theta = 360^\circ / 5\,000 = 0.072^\circ$. 同理求解 C 点的切矢方位角 α_{i+1} 以及 BC 间的弧长 Δs_{BC} . 令 $\Delta \alpha = |\alpha_i - \alpha_{i-1}|$, $\Delta s = \Delta s_{AB} = \Delta s_{BC}$, 分别代入式 (1) 得到 B 点的近似曲率值为

$$K_i = |\alpha_i - \alpha_{i-1}| / (\Delta s_{AB} + \Delta s_{BC}). \quad (7)$$

当 K_i 大于某一阈值 K_{\max} 时, 判断该点为尖点. 以这种方法按顺序对所有的鞋楦离散数据进行识别计算, 并将识别出的尖点数据的极半径值置为负值. 即将尖点柱面坐标 (ρ, θ, z) 更新为 $(-\rho, \theta, z)$, 用以标识尖点.

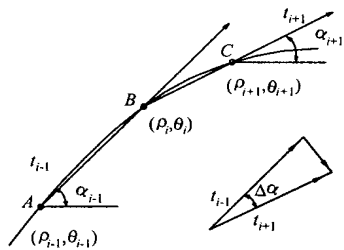


图 3 曲率示意图

2 数据压缩与存储

为了节约数据存储空间以及便于数据网络传输, 所以尖点识别之后, 在保留尖点信息的基础上, 对鞋楦采样数据进行压缩处理. 基于曲线曲率的数据压缩, 是比较科学的压缩方法. “偏差过滤法”^[6]类似曲率法, 它通过判断离散数据点间的位置关系来进行自适应压缩. 由于鞋楦加工的特殊性, 压缩后生成的数据不但要用于鞋楦数字化, 而且还要用于鞋楦数字化级放. 为了便于级放, 要求压缩后的数据分布具有一定的规律. 即除尖点外, 每圈 (360°) 数据分布均匀, 且每圈数据间都有对应关系, 如第 1 圈有极角为 90° 的数据, 则第 i 圈中有极角为 $90^\circ + 360^\circ \times (i - 1)$ 的数据与之对应. 为此, 本研究采用逐点扫描等间距筛选法, 顺序从每 8 个采样数据中抽取一个数据, 作为“均匀特征点”. 当遇到尖点不是“均匀特征点”时, 保留尖点作为有效点, 称为“非均匀特征点”; 同时扫描点计数值加 1. 图 4 为数据压缩示意图.

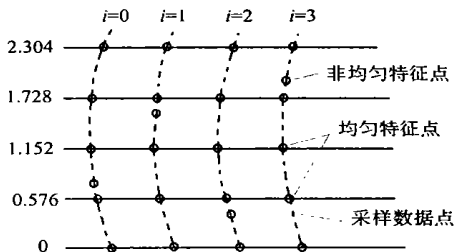


图 4 数据压缩示意图

母楦采样数据采用柱面坐标的形式. 为了进一步减少数据存储量, 压缩后的数据只以极半径形式 (ρ_i) 表示. 极角 θ_i 可以通过数据极角差, 以及该数据在均匀特征点序列中的位置来决定. Z 向坐标值 z_i 可以根据极角 (θ_i ($\theta_i \in [0^\circ, 360^\circ]$)), 相邻采样数据间的极角差, 以及相邻采样点纵向间距 d_0 来确定. 相邻采样数据间的极角差 φ 为 $360^\circ / 5\,000 = 0.072^\circ$. 压缩后, 除非均匀特征点外, 相邻压缩数据的极角差 φ 为 $0.072^\circ \times 8 = 0.576^\circ$; 我们称之为压缩步长. 根据压缩步长以及压缩数据在数据序列中的位置, 可以求出均匀特征点极半径 ρ_i 所对应的极角. 即

$$\theta = \varphi \times i, \quad (8)$$

式中 i 为该点在均匀特征点序列中序号, $i \in [0, 8]$, φ 为相邻压缩数据的极角差. z_i 向坐标值定为

$$z_i = \frac{\theta_i}{\varphi} \times d_0, \quad (9)$$

式中 θ 为该点极角, d_i 为相邻采样点纵向间距, φ 为相邻采样数据的极角差.

对于非均匀特征点(尖点), 由于其位置的不确定性, 无法简单利用式(8)还原极角. 所以,

在使用逐点扫描等间距筛选法进行数据压缩时, 要设定一个计数器, 其溢出值为 8. 即计数值大于 8 时, 置计数值为 0. 用计数器来记录当前扫描数据点相对于上一个均匀特征点的位置, 即扫描点与上一个均匀特征点间所隔的数据点个数. 当计数值为 8 时, 扫描点就是均匀特征点; 当计数值小于 8 且数据的极半径值为负值(尖点), 该扫描点为非均匀特征点. 所以, 此时必须记忆该计数值, 以便根据该尖点上一个均匀特征点的极角来还原该尖点的极角. 若为此建立一种数据结构来记忆这些计数信息, 那么势必会增加存储空间. 因此, 提出一种“嵌入式”记忆法, 在不扩充数据存储量的前提下完整记忆鞋楦特征信息. 因为鞋楦数据的极半径值 ρ 一般不大于 110 mm, 所以 ρ 值整数部分除了前 3 位(个位、十位和百位)外, 其它各位可以用来存储信息. 用尖点数据的千位(整数部分第 4 位)存储尖点的位置信息称之为“尖点锁”. 还原尖点的极角时, 根据该尖点的上一个均匀特征点的极角和自身的“尖点锁”来计算极角. 即 $\theta = \theta_0 + Q \times n$, 式中 θ 为尖点 j 上一个均匀特征点的极角值, n 为该尖点的尖点锁, Q 为相邻采样数据的极角差. 计算出尖点极角 θ 后, 利用式(9)计算 z_j 值.

3 结束语

在实际应用中, 我们对母楦进行检测采样时, 每圈采样 5 000 个数据, 采样约 400 圈. 使用本文提出的离散数据特征识别法, 可以准确、迅速地进行鞋楦尖点识别, 效果令人满意. 采用二进制浮点数据类型以及“嵌入式”记忆法存储压缩后的数据, 其数据存储量约在 1 MB 左右. 它不但可以由一张软盘存储所有的母楦数据, 而且也有利于数据的网络传输.

参 考 文 献

- 1 田晓东, 史桂蓉, 阮雪榆等. 复杂曲面实物的逆向工程及其关键技术[J]. 机械设计与制造工程, 2000, 29(4): 1~3
- 2 张文景, 许晓鸣, 丁国骏等. 一种基于曲率提取轮廓特征点的方法[J]. 上海交通大学学报, 1999, 33(5): 592~595
- 3 何汉武, 孙 健, 陈新度等. 塑料模具逆向工程框架与实现方法研究[J]. 中国机械工程, 1999, 10(8): 908~910

Digitalized Feature Recognition and Data Compression of the Camber of the Last for Shaping a Shoe

Lin Dong Lin Shuwen

(College of Mech. Eng., Fuzhou Univ., 350002, Fuzhou, China)

Abstract For ensuring accuracy of digitalized modelling of the last for shaping a shoe, it is vital to pretreat the detecting and the sampling data out of the parent last. In accordance with the special claim for a sharp turning edge on the last during machining of the last, the authors present here a method for recognising characteristic information from discrete data as well as an effective method suitable for compressing and storing digitalized data out of the parent last.

Keywords last for shaping a shoe, pretreatment, feature recognition, reverse engineering, data compression