

凹多边形凸分解算法在快速原型中的应用^{*}

朱传敏, 唐珺, 许田贵

(同济大学机械工程学院, 上海 201804)

摘要: 快速原型是近年来兴起的一项新技术, 而扫描路径规划是其核心问题之一。在众多路径生成算法中, 分区式扫描由于在制件精度和效率上存在着诸多优势, 逐渐成为应用最为广泛的算法。将计算机图形学中的凹多边形凸分解方法应用到分区算法中, 将复杂的情形化繁为简, 避免出现多边形求交的情形, 极大地减小了算法的复杂程度。该算法作为快速原型路径生成软件的基本算法, 已经在熔融沉积 (FDM) 快速原型机中应用, 提高了制件的精度, 缩短了加工时间。

关键词: 快速原型; 凹多边形凸分解; 分区扫描; 路径规划

中图分类号: TH16 文献标识码: B 文章编号: 1671-3133(2010)02-0053-04

The application of concave polygon convex decomposition algorithm to rapid prototyping

ZHU Chuanmin, TANG Jun, XU Tian-gui

(College of Mechanical Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Rapid Prototyping (RP) is a newly developed technology in the past a few years. Scanning path planning is one of its core problems. With the major advantages in the parts precision and efficiency, sub-regional path generation method becomes more popular within all of the path generation methods. Concave polygon convex decomposition method of computer graphics is applied to the sub-regional path generation algorithm in the consideration of requirements of RP which simplifies the complex conditions and avoids the polygons intersection, therefore largely decreases the algorithm complexity. The algorithm is used as the fundamental algorithm in the FDM RP path generation software which reduces the production time and enhances the parts precision.

Key words: Rapid Prototyping (RP); concave polygon convex decomposition; sub-regional scanning; path planning

快速原型技术 (Rapid Prototyping RP) 是 20 世纪 80 年代末发展起来的一项新的技术, 在短短的二十多年时间里得到迅速的发展。它是将三维实体分解为一个一个具有一定厚度的二维层片, 将层片按顺序加工, 堆积起来形成所需的零件。每一个层片的加工都是按一定的路径进行填充扫描。由于扫描路径的好坏直接影响到加工中最关键的两个因素: 加工效率、制件的精度, 所以填充路径的规划非常重要。

目前, 路径生成方法主要有以下几种: 1) 直线往复式扫描 (zigzag); 2) 偏置式扫描 (offset); 3) 分形扫描; 4) 分区扫描。分区扫描是使用最为广泛的一种扫描方式, 利用一定的方法, 将整个轮廓分解成若干小的区域, 然后在各个小区域内进行连贯的路径规划, 这种化繁为简的方法既可以减少空行程, 同时因为不需要频繁跨越型腔而减少了“拉丝”现象^[1]。分区后, 各子区内的扫描路径的规划相对于分区前整个

层片要简单得多, 对于偏置算法来说, 由于分区后的多边形具有更好的形态质量, 偏置过程不需要考虑相交等情形, 使得算法得到大大的简化。

分区扫描的核心在于使用什么方法进行分区, 文献 [1] 利用一组平行的扫描线与多边形求交点, 根据交点的个数来进行分区。这种方式算法简单, 但是得到的子区形态不是很好, 而且后续的路径不适合使用偏置式, 只能使用直线式, 具有很大的局限性。文献 [2] 通过运用基于可见点的凹多边形凸分解方法, 得到了很好形态的子区, 但是其权函数的计算要求反三角函数, 加大了计算的复杂性, 而且子区路径生成方法使用的是直线式, 尽管算法简单, 但是加工精度不高。文献 [3] 在传统的 Rogers 算法的基础上通过计算矢量 Z 坐标的方法, 有效地避免了求解反三角函数, 但是并没有在权函数中体现快速原型对子区形态的要求。文献 [4] 提出基于“正负法”搜索凹点对应的

^{*} 上海市示范实验中心资助项目

可见点的新算法,但是其分区后路径生成算法采用的是偏置扫描,在提高精度的同时,也付出算法复杂和加工时间长的代价。本文运用基于可见点的凹多边形凸分解方法,考虑到特定区域三角函数的单调性,提出新的权函数,避免求反三角函数,而且比文献[3]中的权值计算方法要简单。同时,在子区路径生成算法中,不是单一地采用直线式或偏置式,而是采用两者的复合方式,这样既保证了零件的精度要求,又使得算法更简单,从而很好地解决了这对矛盾。

1 多边形的正负以及凹点的判断

由于快速原型中的三维模型是三角面片形式的 STL文件,在分层切片之后,每一层得到的轮廓都是由封闭的多边形组成的。这些多边形包括外轮廓与内轮廓,外轮廓以逆时针方向为正,内轮廓以顺时针方向为正。本文处理的轮廓全部为外轮廓,内轮廓的处理方法与之类似。算法要处理的多边形是以有序点列的形式存在,首先要对有序点列的正负进行判断。

由输入点列的 x 坐标可以得到多边形的四个极值点,即 x 最大、最小点,如图 1 中 P_1 、 P_4 、 P_8 、 P_9 四点。

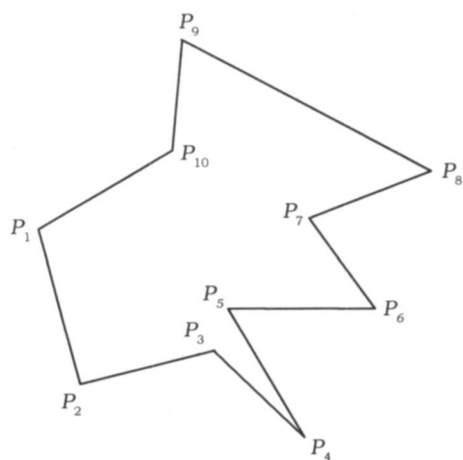


图 1 多边形的极值点

轮廓多边形的极值点必为多边形的凸点^[5]。任取四个极值点中一点设为 P_i ,如图 2 所示。

P_i 与其相邻的前后两点 P_{i-1} , P_{i+1} 组成的矢量为 $\overrightarrow{P_{i-1}P_i}$, $\overrightarrow{P_iP_{i+1}}$, 计算 $|\overrightarrow{P_{i-1}P_i} \times \overrightarrow{P_iP_{i+1}}|$ 的值。

设 P_{i-1} 、 P_i 、 P_{i+1} 三点的坐标为 (x_{i-1}, y_{i-1}) 、 (x_i, y_i) 、 (x_{i+1}, y_{i+1}) , 由此可以计算得到矢量 $\overrightarrow{P_{i-1}P_i} = (x_i - x_{i-1}, y_i - y_{i-1})$ 和矢量 $\overrightarrow{P_iP_{i+1}} = (x_{i+1} - x_i, y_{i+1} - y_i)$,

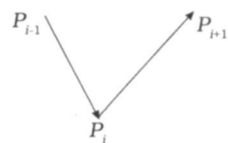


图 2 极值点处多边形正负判断

由矢量叉积的定义可得到,任意两个矢量 \vec{a} 、 \vec{b} 的叉积 $\vec{a} \times \vec{b}$ 为:

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_a & y_a & z_a \\ x_b & y_b & z_b \end{vmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

此处令 $z = z_b = 0$ 并将坐标值代入式(1),得:

$$|\overrightarrow{P_{i-1}P_i} \times \overrightarrow{P_iP_{i+1}}| = (x_i - x_{i-1}) \times (y_{i+1} - y_i) - (x_{i+1} - x_i) \times (y_i - y_{i-1}) \dots\dots\dots (2)$$

利用式(2)求出判别式的值,值为正,则多边形为逆时针方向;值为负,则多边形为顺时针方向。

在确定多边形的正负后,式(2)可以用来判断点的凸凹性。多边形的方向为正时,有以下三种情况。

1) $|\overrightarrow{P_{i-1}P_i} \times \overrightarrow{P_iP_{i+1}}| > 0$ 时:此点为凸点。

2) $|\overrightarrow{P_{i-1}P_i} \times \overrightarrow{P_iP_{i+1}}| = 0$ 时:由于这里输入的多边形不存在连续三点共线的情形,所以这种情况实际上是不存在的。

3) $|\overrightarrow{P_{i-1}P_i} \times \overrightarrow{P_iP_{i+1}}| < 0$ 时:此点为凹点。

2 顶点可见性与权函数

由于凸分解算法是基于可见点的,所以此处有必要对可见点的概念进行说明。对于多边形的任一顶点 P_i 来说,它的可见点是这样定义的:多边形中所有顶点与 P_i 连线形成的线段,若全部在多边形内部或者上面,这样的顶点称为 P_i 的可见点。如图 1 中,点 P_3 所有的可见点为 P_1 、 P_2 、 P_4 、 P_5 、 P_9 、 P_{10} 。

进行凹多边形凸分解,主要方法是从凹点向其可见点引线,将多边形一分为二,达到消除凹点的目的。如图 3 所示,从凹点 P_k 沿着其相邻的两条边的反向延长线引出两条射线,将整个平面划分为四个区域。显然,若用来与凹点连线的可见点位于区域 4 内,则剖分后得到的多边形的形态要比另外两个区域的好。但

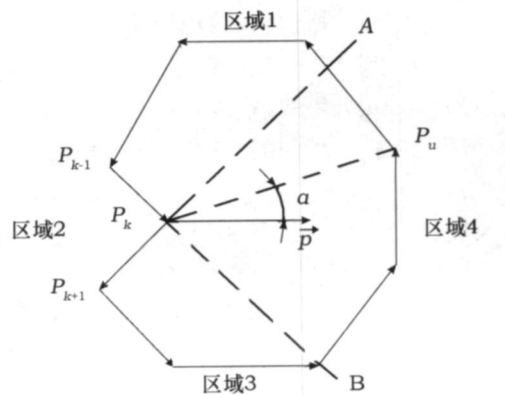


图 3 凹点处剖分示意

是,在很多情况下,这样的可见点并不唯一,这时便需要一个权函数来判断到底选择哪一个可见点进行剖分。从凹点引出的剖分线如果正好是向量 $\vec{P_{k-1}P_k}$ 与 $\vec{P_kP_{k+1}}$ 夹角的平分线(其单位矢量记作 \vec{P}),这时得到的两个多边形形态最好。因此,本文将计算可见点和凹点的连线与 \vec{P} 之间的夹角,夹角最小的点即为最合适的点。

由于 P_k 为凹点,所以 $\angle AP_k B$ 必定小于 180° , 从而其平分线单位矢量 \vec{P} 与 $\vec{P_kP_u}$ (P_u 为 P_k 在区域 4 内的任意一个可见点)的夹角(设为 α)将小于 90° , 所以 $\cos\alpha$ 在此区间为单调的。 $\cos\alpha$ 为:

$$\cos\alpha = \frac{\vec{P} \cdot \vec{P_kP_u}}{|\vec{P}| \cdot |\vec{P_kP_u}|} \quad (3)$$

求出区域 4 内所有可见点对应的 $\cos\alpha$ 值,最大值对应的点即为所求的点。

3 凹多边形凸分解算法流程

1) 多边形以有序点列的坐标形式输入,存入一个数组。判断输入的多边形方向的正负性。如果为正,进入下一个步骤。否则,将数组中元素反向排列,存入另一个数组,即最后一个元素作为新数组的第一个元素,倒数第二个元素作为新数组的第二个元素,并依此类推。

2) 从第一个点开始,搜索凹点,若没有凹点,则输入的多边形为凸多边形,算法结束。否则,进入下一个步骤。

3) 定位到凹点,搜索其可见点,将其位于反向延长线之间的区域(即图 3 中的区域 4)内的可见点存入备选点组。

4) 若备选点组中存在多个凹点,则按权函数判断,找出最合适的点;若组中只存在一个凹点,则将这个凹点作为剖分点;若组中不存在凹点,而是多个凸点,根据权函数判断,取最合适的凸点;若组中只有一个凸点,则将这个凸点作为剖分点;若备选点组为空,以凹点处反向延长线的夹角平分线作为剖分线。

5) 对剖分产生的两个多边形按步骤 1)~步骤 4) 递归地进行操作,直到所有多边形全部为凸多边形。

具体算法流程如图 4 所示。

4 实例验证与结论

本文以 Microsoft Visual C++ 2005 为开发平台,运用以上算法的思想,对轮廓多边形进行凸分解分区。图 5 所示为图 1 所示轮廓多边形分区后的结果,由图

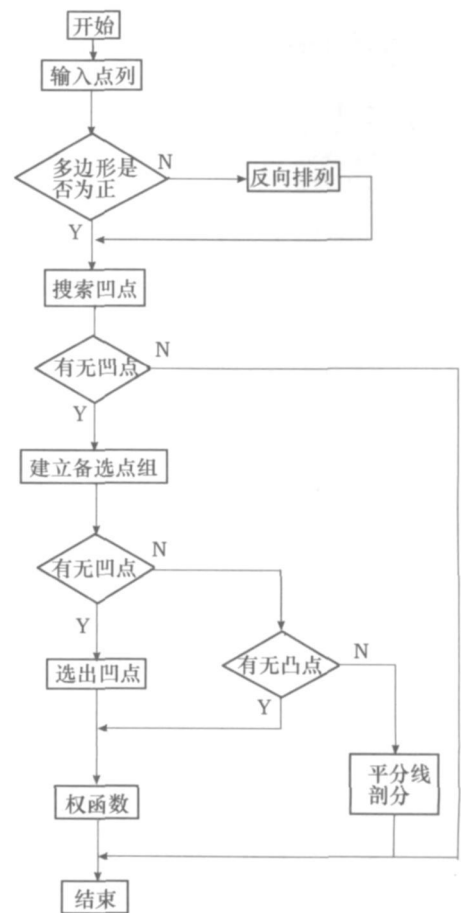


图 4 凹多边形凸分解算法流程

5 可以清晰地看出凹多边形轮廓被分解成四个凸的子区,从而将复杂的情况简单化,为后续各子区路径的生成提供了极大的便利。

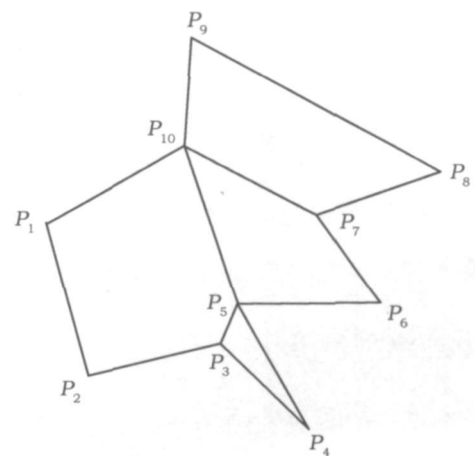


图 5 算法生成路径的实例

5 结语

本文算法作为熔融沉积成型(FDM)路径生成模块的核心算法,已在快速原型件加工中得到应用。

以 ARM9为平台的嵌入式 USB技术开发

张少兵, 王振臣, 姚帆

(燕山大学工业计算机控制工程河北省重点实验室, 秦皇岛 066004)

摘要: 嵌入式系统在工业生产和日常生活中的应用已经越来越广泛, 而 USB作为一种越来越通用的应用接口已被广泛接受。对嵌入式 USB协议进行详细的分析, 控制器部分是基于 Samsung公司生产的 ARM9内核 S3C2410重点说明 USB驱动向 ARM-Linux系统移植的具体方案。

关键词: 通用串行总线 (USB); 嵌入式; 驱动; 移植

中图分类号: TP336 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3133(2010)02-0056-04

A technology development of embedded USB based on ARM9

ZHANG Shao-bing, WANG Zhen-chen, YAO Fan

(Key Lab of Industrial Computer Control Engineering of Hebei Province

Yanshan University Qinhuangdao 066004 Hebei China)

Abstract: The embedded system is applied in the industrial production and the daily life more and more widely, as well the USB has been widely accepted as one kind of general connection. Has carried on the multianalysis to the embedded USB agreement, the S3C2410 of the Advanced RISC Machine (ARM9) produced by Samsung is used as the controller. Then specially give a concrete plan of transplanting USB driver to the ARM-Linux system in the foundation.

Key words: USB; embedded; driver; transplant

随着微电子技术的发展, 以嵌入式系统为代表的数字技术已经越来越走进人们的视野之中, 大到复杂的工业设备, 小到随处可见的手机, 无不处处彰显其广阔的发展前景和巨大的经济效益。可以说很多领域已对嵌入式系统有着很强的依赖性。USB即为通用串行总线, 是于 1995年提出的一种新型的串行总线, 与其他的连接方式相比, USB具有即插即用、热插拔、多级级联、传输距离远、高带宽以及拥有众多厂商支持等优点, 现在已经逐渐成为数字产品和嵌入式产

品必备的接口之一。本文针对一种 ARM-Linux的嵌入式系统设计出了相关的 USB的驱动。

1 USB系统概述

USB从提出至今经历了十余年的时间, 其规范也经历了 USB1.1、USB2.0和 USB OTG三种规范, 现在最普遍使用的为 USB2.0规范。USB2.0支持高速 (480Mb/s)的数据传输, 同时支持控制传输、中断传输、批量传输和等时传输四种类型的数据传输方式。

参考文献:

- [1] 张永, 周天瑞, 等. FDM快速成形工艺中的填充喷涂路径优化与仿真[J]. 锻压技术, 2008 33(2).
- [2] 彭安华, 张剑峰. 基于层面轮廓凸分解的扫描路径规划的研究[J]. 机械设计与研究, 2007 23(5).
- [3] 金文华, 饶上荣, 等. 基于顶点可见性的凹多边形快速凸分解算法[J]. 计算机研究与发展, 1999 36(12).
- [4] 卞宏友, 等. 面向快速制造扫描分区的凹多边形凸分解算法[J]. 计算机应用, 2005 25(9).
- [5] 胡国栋, 等. 简单多边形凸凹顶点的识别[J]. 甘肃科技, 2007 23(8).
- [6] 金文华, 等. 简单多边形可见点问题的快速求解算法

[J]. 计算机学报, 1999 22(3).

- [7] 王钺旋, 等. 一个加权剖分简单多边形为凸多边形的算法[J]. 计算机学报, 1998 21(3).

作者简介: 朱传敏, 实验中心副主任, 副教授, 研究方向: 高速切削加工及其计算机辅助技术、CAD/CAM

唐璐, 硕士研究生, 研究方向: 快速原型技术, CAD/CAM

许田贵, 硕士研究生。

Email: johndam13@163.com

收稿日期: 2009-07-02