

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102063546 A

(43) 申请公布日 2011. 05. 18

(21) 申请号 201110001066. 9

(22) 申请日 2011. 01. 04

(71) 申请人 山东理工大学

地址 255086 山东省淄博市高新技术产业开发区高创园 D 座 1012 室

(72) 发明人 孙殿柱 康新才 李延瑞  
司马中文

(74) 专利代理机构 淄博佳和专利代理事务所  
37223

代理人 张瑞林

(51) Int. Cl.

G06F 17/50 (2006. 01)

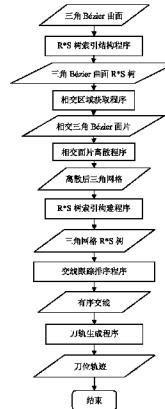
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法

(57) 摘要

一种产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法，属于计算机辅助制造领域。采用 R\*S 树建立三角 Bézier 曲面的动态空间索引结构，基于该结构快速获取与刀轨截平面相交的三角 Bézier 曲面片集，依据所设精度阈值将其自适应离散为三角网格，通过对刀轨截平面与离散后三角网格求交获取交线，进而迭代计算交线各端点在三角 Bézier 曲面上的近曲面点，并将近曲面点作为刀触点，沿其所在曲面法矢方向偏置获取刀位点并进行干涉点处理，顺次连接各刀位点生成三角 Bézier 曲面适用于球刀的数控加工刀轨。该方法通过迭代计算准确获取交线端点对应近曲面点，并进行干涉点处理，有效保证了数控加工刀轨的生成精度。



1. 一种产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法,其特征在于步骤依次为 :1) 将三角 Bézier 曲面片对应的控制顶点集合作为数据结点,采用 k-means 聚类分簇算法对结点轴向包围盒集合进行动态空间聚类划分,建立三角 Bézier 曲面的 R\*S 树索引结构 ;2) 根据三角 Bézier 曲面的 R\*S 树索引结构中各层结点轴向包围盒与刀轨截平面的相离、相切和相交三种位置关系,通过深度优先遍历 R\*S 树索引结构查询与刀轨截平面相交的数据结点,从而获取与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合 ;3) 将与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合离散为三角网格 ;4) 将三角网格中的网格单元作为数据结点,建立三角网格 R\*S 树索引结构 ;5) 基于三角网格 R\*S 树索引结构动态获取与刀轨截平面相交的网格单元,通过刀轨截平面与网格单元间的求交获取离散交线段数据,建立离散交线段 R\*S 树动态空间索引结构,通过查询共用端点的交线段的方法跟踪提取各交线段,对离散交线段数据排序生成有序交线 ;6) 计算有序交线各端点在三角 Bézier 曲面上的近曲面点,并将近曲面点作为刀触点,沿其所在曲面法矢偏置刀具半径距离以获取刀位点,并采用截面线干涉点处理算法进行干涉点处理,顺次连接各刀位点生成三角 Bézier 曲面数控加工刀轨。

2. 根据权利要求 1 所述的产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法,其特征在于 :步骤 3) 中所述将与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合离散为三角网格的方法具体为 :①设定离散精度阈值  $\delta$  及离散层数 N 来控制离散后曲面精度,将相交区域三角 Bézier 曲面片集中任一三角 Bézier 曲面片  $s(u, v, w)$  ( $0 \leq u, v, w \leq 1, u+v+w = 1$ ) 作为目标面片进行自适应离散 ;②采用 de Casteljau 算法插值计算目标面片上的离散顶点  $P(u, v, w)$  ( $u = 1/N, 2/N, \dots, 1; v = 0, 1/N, \dots, 1-u; w = 1-u-v$ ) ;③连接离散顶点  $P(u, v, w)$  、 $P(u-1/N, v+1/N, w)$  、 $P(u-1/N, v, w+1/N)$  构成网格单元,对于参数  $v > 0$  的离散顶点连接  $P(u, v, w)$  、 $P(u-1/N, v, w+1/N)$  、 $P(u, v-1/N, w+1/N)$  构成网格单元 ;④获取三角 Bézier 曲面片中以网格单元三个顶点参数值的均值为参数的点,计算该点到对应网格单元的距离 d,若  $d > \delta$ ,将 N 的值加 1,转向步骤② ;⑤若三角 Bézier 曲面中存在未离散三角 Bézier 曲面片,将该曲面片作为目标面片,转向步骤②,否则三角 Bézier 曲面自适应离散结束。

3. 根据权利要求 1 所述的产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法,其特征在于 :步骤 5) 中所述的通过查询共用端点的交线段的方法跟踪提取各交线段,对离散交线段数据排序生成有序交线的方法具体为 :①以任一交线段为起始线段,查询离散交线段 R\*S 树动态空间索引结构中到起始线段端点距离为零的数据结点 ;②获取该数据结点中存储的交线段,该交线段与起始线段相连组成新的起始线段 ;③查询离散交线段 R\*S 树动态空间索引结构中到新的起始线段端点距离为零的数据结点,若存在距离为零的数据结点,转向步骤② ;④输出刀轨截平面与三角 Bézier 曲面模型的有序交线。

## 产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法

### 技术领域

[0001] 本发明提供一种产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法，属于计算机辅助制造领域。

### 背景技术

[0002] 在产品逆向工程中，基于三角 Bézier 曲面能够有效解决逆向工程中三维散乱点云数据的曲面重建问题，具有构造灵活、适应性强等特点。目前，三角 Bézier 曲面表示的产品数字化模型不能被主流 CAD/CAM 系统兼容，难以进行数控加工。研究三角 Bézier 曲面数控刀轨生成方法，通过三角 Bézier 曲面直接生成数控刀轨，对于解决逆向工程中基于三角 Bézier 曲面的产品数控加工问题具有重要意义，从而可有效提高基于逆向工程的产品开发效率。

[0003] 对现有技术文献检索发现，肖尧先等在学术期刊《计算机辅助设计与图形学学报》2001, 13(7), P631-635 上发表的论文“三角 Bézier 曲面的粗加工数控编程”中，采用跟踪迭代求交法获取刀轨截平面与曲面交线，继而偏置生成精加工刀轨，并针对毛坯进行变切深或等切深均匀分层，在此基础上获取三角 Bézier 曲面粗加工刀轨，刀轨生成效率与精度主要依赖于曲面与刀轨截平面的求交效率与交线计算精度，在生成精加工行切刀轨时，边界点计算繁琐且不稳定，刀轨生成效率低。

[0004] 针对以上问题，本发明提出一种产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法，该方法依据孙殿柱等在学术期刊《中国机械工程》2009, 20(13), P1542-1545 上发表的论文“三角网格曲面模型动态空间索引结构研究”中三角网格曲面 R\*S 树索引构建方法，采用 R\*S 树建立三角 Bézier 曲面动态索引，基于该结构快速获取与刀轨截平面相交的三角 Bézier 曲面片集，依据所设精度阈值将其自适应离散为三角网格，并对三角网格建立动态索引，基于三角网格动态索引快速获取与刀轨截平面相交的网格单元，通过刀轨截平面与网格单元间的求交获取交线数据，对其进行跟踪提取生成交线，计算交线各端点在三角 Bézier 曲面上的近曲面点，将近曲面点作为刀触点，沿其所在曲面处法矢偏置刀具半径获取刀位点，并进行干涉点处理，顺次连接各刀位点生成三角 Bézier 曲面数控加工刀轨。实例证明该方法可快速、准确生成复杂三角 Bézier 曲面适用于球刀的数控精加工刀轨。

### 发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是：克服现有技术的不足，提供一种产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法，该方法在逼近精度允许范围内可快速、准确获取复杂三角 Bézier 曲面数控加工刀轨。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：该一种产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法，其特征在于步骤依次为：1) 将三角 Bézier 曲面片对应的控制顶点集合作为数据结点，采用 k-means 聚类分簇算法对结点轴向包围盒集合进行动态空间聚类划分，建立三角 Bézier 曲面的 R\*S 树索引结构；2) 根据三角 Bézier 曲面的 R\*S 树索

引结构中各层结点轴向包围盒与刀轨截平面的相离、相切和相交三种位置关系,通过深度优先遍历 R\*S 树索引结构查询与刀轨截平面相交的数据结点,从而获取与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合;3) 将与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合自适应离散为三角网格;4) 将三角网格中的网格单元作为数据结点,建立三角网格 R\*S 树索引结构;5) 基于三角网格 R\*S 树索引结构动态获取与刀轨截平面相交的网格单元,通过刀轨截平面与网格单元间的求交获取离散交线段数据,建立离散交线段 R\*S 树动态空间索引结构,通过查询共用端点的交线段的方法跟踪提取各交线段,对离散交线段数据排序生成有序交线;6) 计算有序交线各端点在三角 Bézier 曲面上的近曲面点,并将近曲面点作为刀触点,沿其所在曲面法矢偏置刀具半径距离以获取刀位点,并采用截面线干涉点处理算法进行干涉点处理,顺次连接各刀位点生成三角 Bézier 曲面数控加工刀轨。

[0007] 其中,步骤 3) 中所述将与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合自适应离散为三角网格的方法具体为:①设定离散精度阈值  $\delta$  及离散层数 N 来控制离散后曲面精度,将相交区域三角 Bézier 曲面片集中任一三角 Bézier 曲面片  $S(u, v, w)$  ( $0 \leq u, v, w \leq 1, u+v+w = 1$ ) 作为目标面片进行自适应离散;②采用 de Casteljau 算法插值计算目标面片上的离散顶点  $P(u, v, w)$  ( $u = 1/N, 2/N, \dots, 1; v = 0, 1/N, \dots, 1-u; w = 1-u-v$ ) ;③连接离散顶点  $P(u, v, w)$ 、 $P(u-1/N, v+1/N, w)$ 、 $P(u-1/N, v, w+1/N)$  构成网格单元,对于参数  $v > 0$  的离散顶点连接  $P(u, v, w)$ 、 $P(u-1/N, v, w+1/N)$ 、 $P(u, v-1/N, w+1/N)$  构成网格单元;④获取三角 Bézier 曲面片中以网格单元三个顶点参数值的均值为参数的点,计算该点到对应网格单元的距离 d,若  $d > \delta$ ,将 N 的值加 1,执行②;⑤若三角 Bézier 曲面中存在未离散三角 Bézier 曲面片,将该曲面片作为目标面片,转向步骤②,否则三角 Bézier 曲面自适应离散结束。

[0008] 其中,步骤 5) 中所述的通过查询共用端点的交线段的方法跟踪提取各交线段,对离散交线段数据排序生成有序交线的方法具体为:①以任一交线段为起始线段,查询离散交线段 R\*S 树动态空间索引结构中到起始线段端点距离为零的数据结点;②获取该数据结点中存储的交线段,该交线段与起始线段相连组成新的起始线段;③查询离散交线段 R\*S 树动态空间索引结构中到新的起始线段端点距离为零的数据结点,若存在距离为零的数据结点,执行步骤②;④输出刀轨截平面与三角 Bézier 曲面模型的有序交线。

[0009] 此外,步骤 1) 中,采用 R\*S 树建立适合三角 Bézier 曲面存储的动态空间索引结构的方法具体是:由于三角 Bézier 曲面片具有严格的边界性和凸包性,面片完全落在其控制网格内,将三角 Bézier 曲面片对应的控制顶点集合作为数据结点,采用 k-means 聚类分簇算法对结点轴向包围盒集合进行动态空间聚类划分,可准确方便地建立三角 Bézier 曲面的 R\*S 树索引结构。

[0010] 与现有技术相比,本发明所具有的有益效果是:

[0011] (1) 采用 R\*S 树组织三角 Bézier 面片的拓扑近邻关系,通过索引结构各层结点与刀轨截平面之间的相交检测,实现了三角 Bézier 曲面相交区域的快速、准确获取;

[0012] (2) 依据所设精度阈值,实现相交区域三角 Bézier 曲面自适应离散,基于离散后三角网格与刀轨截平面快速求交获取有序交线,以交线段长度为近似步长获取交线上各端点对应刀触点,从而可实现刀轨步长自适应控制;

[0013] (3) 通过迭代计算准确获取交线端点对应近曲面点,将其作为刀触点获取相应刀位点,并进行干涉点处理,有效保证了数控加工刀轨的生成精度。

## 附图说明

- [0014] 图 1 是本发明程序流程图；
- [0015] 图 2 ~ 图 6 是本发明实施例中汽车引擎盖三角 Bézier 曲面模型及其动态索引各层结点轴向包围盒效果图；
- [0016] 图 7 ~ 图 10 是本发明实施例中三角 Bézier 曲面相交数据结点获取效果图；
- [0017] 图 11 ~ 图 12 是本发明三角 Bézier 曲面片的离散示意图；
- [0018] 图 13 是本发明交线跟踪提取示意图；
- [0019] 图 14 ~ 图 17 是本发明实施例中实施例中汽车引擎盖模型及所生成的刀位轨迹及其局部放大图；
- [0020] 图 18 是本发明实施例中实施例中汽车引擎盖模型机床加工效果图。
- [0021] 图 1 ~ 18 是本发明一种产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法的最佳实施例，下面结合附图 1 ~ 18 对汽车引擎盖三角 Bézier 曲面模型的数控加工刀轨快速生成方法做进一步说明：

## 具体实施方式

[0022] 图 1 是本发明基于产品三角 Bézier 曲面模型数控加工刀轨快速生成方法程序流程图。首先将汽车引擎盖三角 Bézier 曲面片对应的控制顶点集合作为数据结点，采用 k-means 聚类分簇算法对嵌套的结点轴向包围盒集合进行动态空间聚类划分，建立三角 Bézier 曲面的 R\*S 树索引结构程序；图 2 ~ 图 6 反映了本实施例中汽车引擎盖三角 Bézier 曲面模型及其动态索引各层结点轴向包围盒效果图。其中，图 2 是三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型，图 3 为三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型动态空间索引结构根结点轴向包围盒效果图，图 4 和图 5 为三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型动态空间索引结构 R\*S 树内部结点轴向包围盒效果图，图 6 为汽车引擎盖三角 Bézier 曲面模型动态空间索引结构 R\*S 树数据结点轴向包围盒效果图。

[0023] 根据三角 Bézier 曲面的 R\*S 树索引结构中各层结点轴向包围盒与刀轨截平面的相离、相切和相交三种位置关系执行相交区域获取程序，通过深度优先遍历 R\*S 树索引结构查询与刀轨截平面相交的数据结点，从而获取与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合；图 7 ~ 图 10 是本实施例中三角 Bézier 曲面相交数据结点获取效果图，其中图 7 为三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型根结点与刀轨截平面相交效果图，图 8 和图 9 是三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型 R\*S 树索引内部结点与刀轨截平面相交效果图。图 10 为 R\*S 树索引内部结点与刀轨截平面相交效果图。

[0024] 执行相交面片离散程序，将与刀轨截平面相交的三角 Bézier 面片集合自适应离散为三角网格；图 11 和图 12 为相交区域三角 Bézier 曲面的自适应离散示意图，将相交区域三角 Bézier 曲面片集中任意三角 Bézier 曲面片  $S(u, v, w)$  ( $0 \leq u, v, w \leq 1, u+v+w = 1$ ) 作为目标面片，取离散精度阈值  $\delta = 0.001\text{mm}$ ，设离散层数  $N = 2$  对其进行自适应离散，具体步骤是：①采用 de Casteljau 算法插值计算目标面片上的离散顶点  $P(u, v, w)$  ( $u = 1/N, 2/N, \dots, 1; v = 0, 1/N, \dots, 1-u; w = 1-u-v$ )；②连接离散顶点  $P(u, v, w)、P(u-1/N, v+1/N, w)、P(u-1/N, v, w+1/N)$  构成网格单元，对于参数  $v > 0$  的离散顶点连接  $P(u, v, w)、P(u-1/N, v, w+1/N)$ 。

$N, v, w+1/N$ 、 $P(u, v-1/N, w+1/N)$  构成网格单元；③获取三角 Bézier 曲面片中以网格单元三个顶点参数值的均值为参数的点，计算该点到对应网格单元的距离  $d$ ，若  $d > \delta$  ( $\delta$  为离散精度)，将  $N$  的值加 1，执行①，进一步离散，以提高离散精度；④若三角 Bézier 曲面中存在未离散三角 Bézier 曲面片，将该曲面片作为目标面片，执行①，否则三角 Bézier 曲面自适应离散结束。

[0025] 将离散后的三角网格中的网格单元作为数据结点，建立三角网格 R\*S 树索引结构程序；基于三角网格 R\*S 树索引结构动态获取与刀轨截平面相交的网格单元，通过刀轨截平面与网格单元间的求交获取离散交线段数据，建立离散交线段 R\*S 树动态空间索引结构，通过查询共用端点的交线段的方法跟踪提取各交线段，对离散交线段数据执行交线跟踪排序程序，生成有序交线；图 13 为交线的跟踪提取示意图。设当前跟踪交线段为  $S_{\text{trace}}$ 、下一条跟踪交线段为  $S_{\text{next}}$ 、当前跟踪点为  $P_{\text{trace}}$ 、下一跟踪点为  $P_{\text{next}}$ ，起始跟踪交线段为  $S_{\text{start}}$ ， $S_{\text{start}}$  的两端点分别为  $P_{\text{start}}$ 、 $P_{\text{end}}$ ，从点  $P_{\text{start}}$  开始提取交线为正向提取，从  $P_{\text{end}}$  开始提取交线为反向提取，交线 C 对应的点链表为 LC，交线 C 的提取流程为：①将  $P_{\text{start}}$  和  $P_{\text{end}}$  添加到链表 LC，将  $S_{\text{start}}$  标记为已处理，令  $P_{\text{trace}} = P_{\text{start}}$ ；②查询以  $P_{\text{trace}}$  为端点且未处理的交线段作为下一条交线段  $S_{\text{next}}$ ；③如果  $S_{\text{next}}$  为空，则执行④，否则，令  $P_{\text{trace}}$  等于  $S_{\text{next}}$  的另一个端点，将  $P_{\text{trace}}$  添加到链表 LC，将交线段  $S_{\text{next}}$  标记为已处理，执行②；④如果  $P_{\text{trace}}$  和  $P_{\text{end}}$  相等，则返回，否则执行⑤；⑤如果为正向跟踪，则令  $P_{\text{trace}} = P_{\text{end}}$ ，执行②进行反向跟踪，否则返回。

[0026] 通过刀轨生成程序计算有序交线各端点在三角 Bézier 曲面上的近曲面点，并将近曲面点作为刀触点，沿其所在曲面法矢偏置刀具半径距离以获取刀位点，并采用截面线干涉点处理算法进行干涉点处理，顺次连接各刀位点生成三角 Bézier 曲面数控加工刀位轨迹。程序结束。

[0027] 图 14～图 17 为汽车引擎盖模型数控刀轨效果图，其中图 14 为三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型，图 15 为三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型局部放大图，图 16 为三角 Bézier 曲面汽车引数控刀轨效果图，图 17 为三角 Bézier 曲面汽车引擎盖模型数控加工刀轨效果图。图 18 为对汽车引擎盖模型数控机床加工效果图。

[0028] 以上所述，仅是本发明的较佳实施例而已，并非是对本发明作其它形式的限制，任何熟悉本专业的技术人员可能利用上述揭示的技术内容加以变更或改型为等同变化的等效实施例。但是凡是未脱离本发明技术方案内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与改型，仍属于本发明技术方案的保护范围。

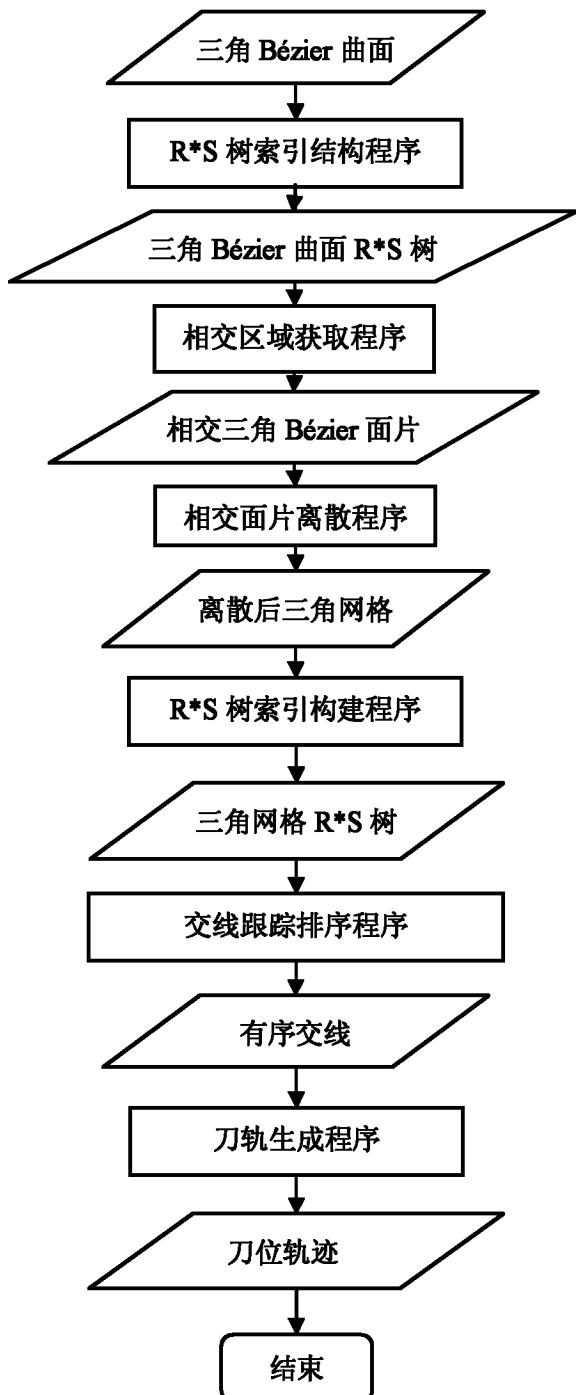


图 1

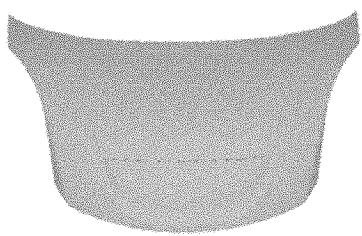


图 2

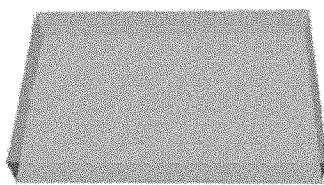


图 3

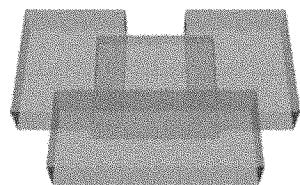


图 4

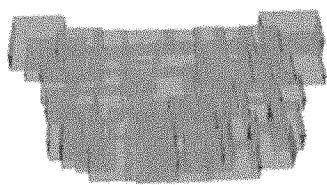


图 5

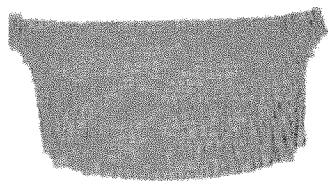


图 6

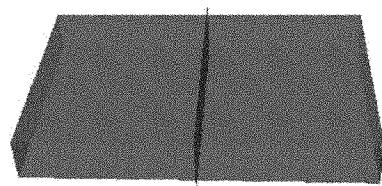


图 7

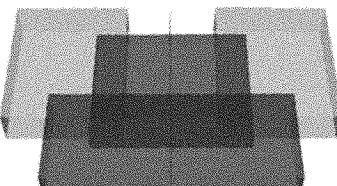


图 8

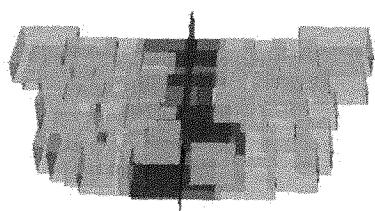


图 9

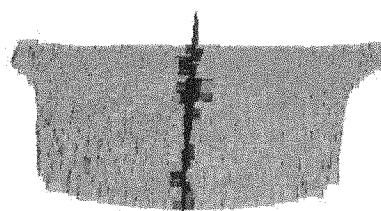


图 10

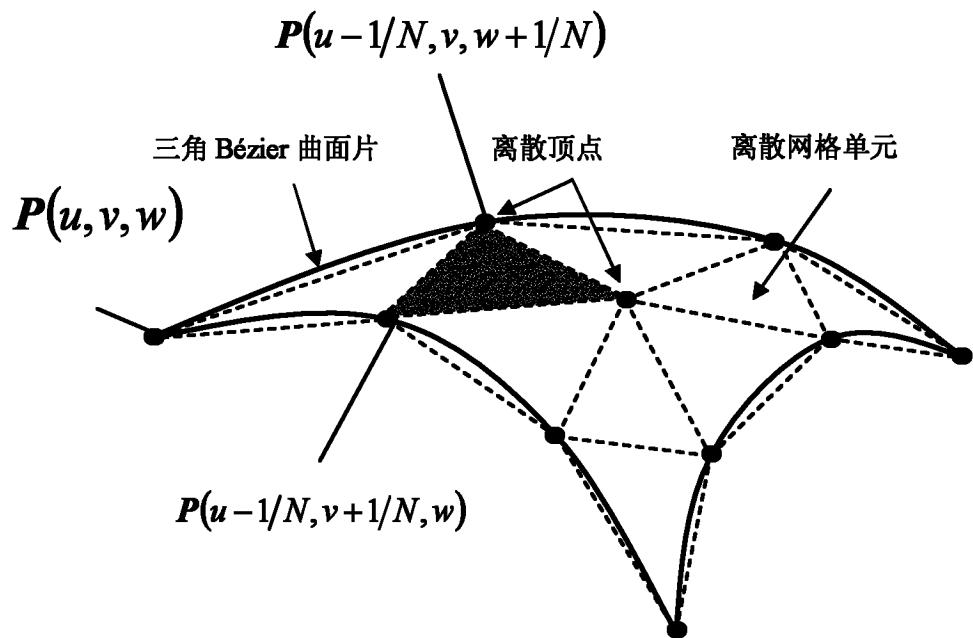


图 11

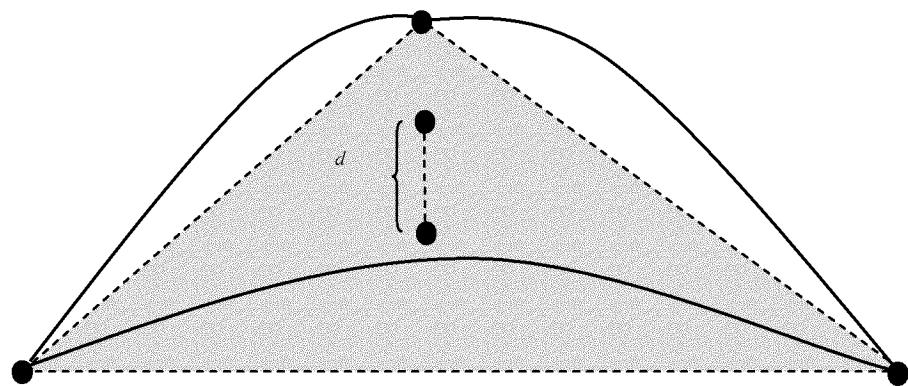


图 12

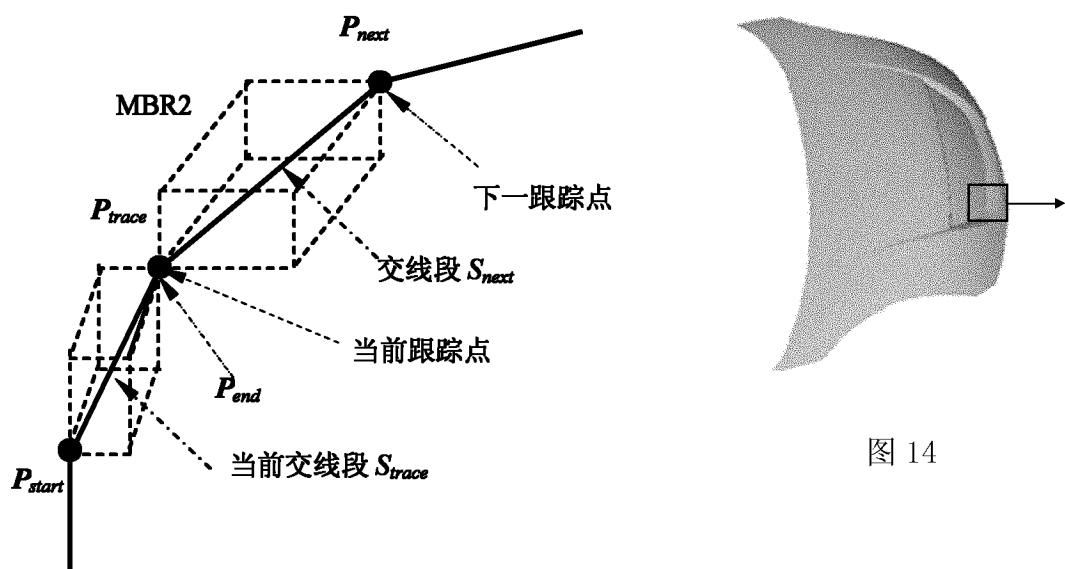


图 13

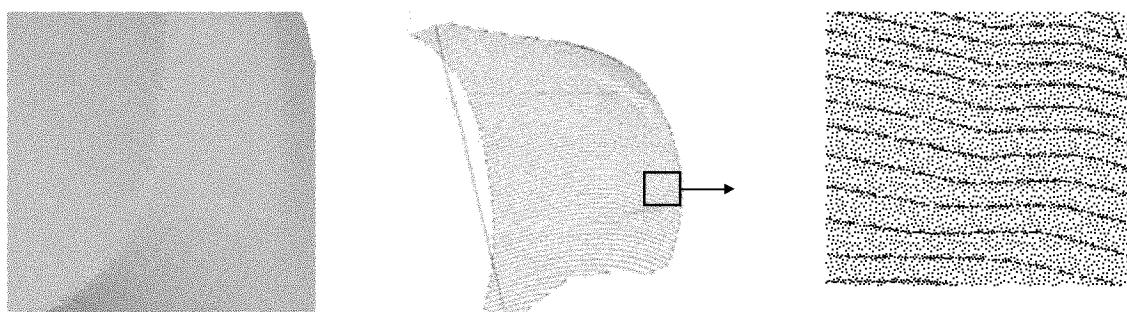


图 14

图 15

图 16

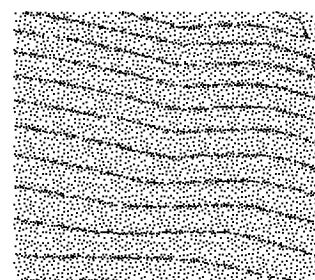


图 17

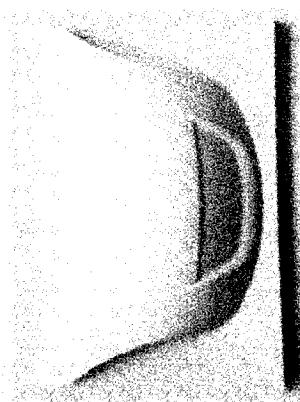


图 18