



廣東工業大學
GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



逆向工程软件



绪论

逆向工程技术是近年兴起的支撑产品快速开发的先进制造技术，在航空、航天、汽车、电器、日用产品、医学等领域得到了广泛应用。





逆向工程软件

- ❖ 在专用的逆向工程软件问市之前，CAD模型的重建都依赖于正向的CAD/CAM软件，如UG、GRADE、PRO/E等。（不能满足快速、准确的模型重建需要）
- ❖ 在一些商品化的CAD/CAM软件上集成逆向模块，如Pro/Engineer的SCAN-TOOLS模块；UG的Point cloudy功能；CATIA的QSR/GSD/DSE等几个模块。（有限的功能模块已不能满足数据处理、造型等逆向技术的要求）
- ❖ 大量的商业化专用逆向工程CAD建模系统日益涌现。较具有代表性的Imageware、Geomagic Studio、Paraform、ICEM Surf、CopyCAD、以及国内浙大的RE-Soft等。



逆向工程软件

实现曲面模型重建的方式大致可以分为两类：

- ❖ 传统曲面造型方式
- ❖ 快速曲面造型方式





逆向工程软件

- ❖ 传统曲面造型方式：指的是遵从典型的逆向工程流程，即点—线—面及点—面。这种方式延续了传统正向CAD曲面造型的方法，并在点云处理与特征区域分割、特征线的提取与拟合及特征曲面片的创建方面提供了功能多样化的方法，配合建模人员的经验，容易实现高质量的曲面重建，但是，进行曲面重建需要大量建模时间的投入和熟练建模人员的参与，对建模人员的建模经验提出了很高的要求，也由此，传统曲面造型方式的曲面重建几乎成了少数人手中的一项“黑色技艺”，在一定程度上影响了逆向工程的推广和应用。



逆向工程软件

- ❖ 快速曲面造型方式：通过对点云的网格化处理、建立多面体化表面来实现的。一个完整的网格化处理过程通常包括以下步骤：首先，从点云中重建出三角网格曲面；再对这个三角网格曲面分片，得到一系列有四条边界的子网格曲面；然后，对这些子网格逐一参数化；最后，用NURBS曲面片拟合每一片子网格曲面，得到保持一定连续性的曲面样条，由此得到用NURBS曲面表示的CAD模型，可以用CAD软件进行后继处理。

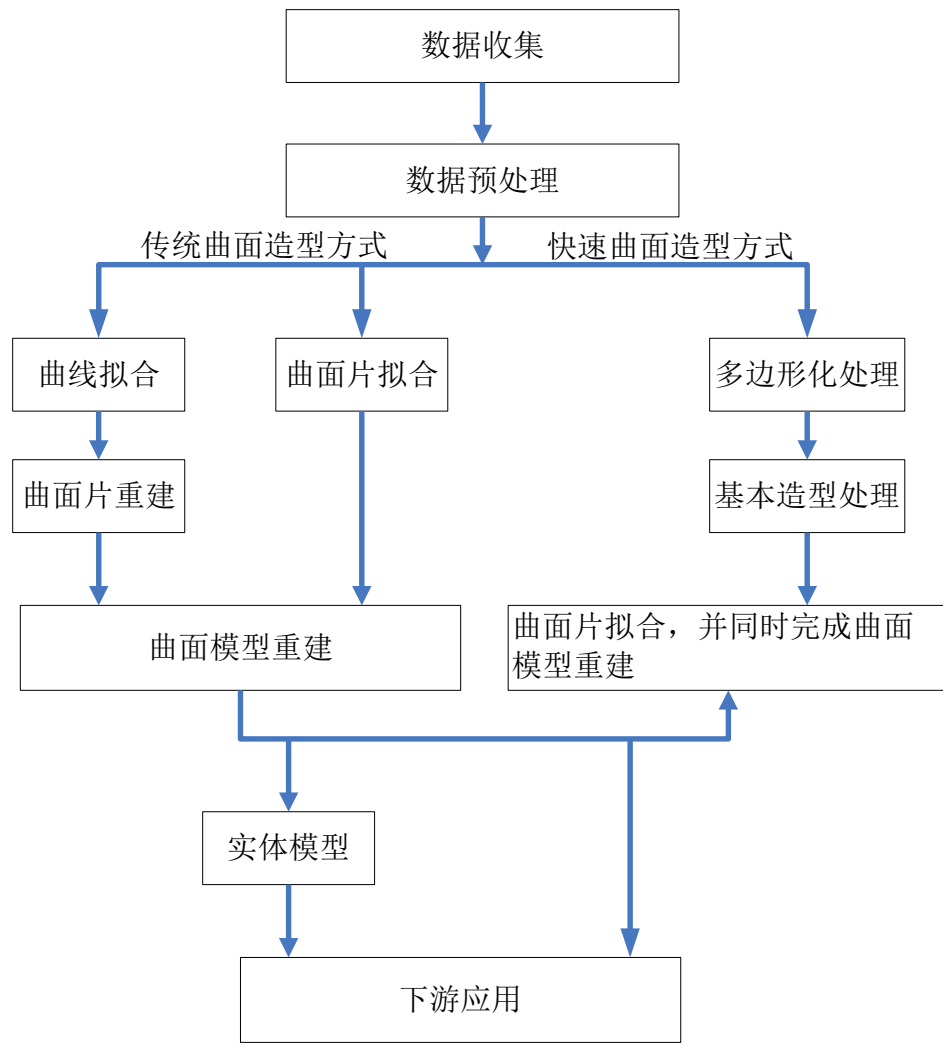


逆向工程软件

- ❖ 快速曲面造型方式的曲面重建方法表示简单、直观、适于快速计算和实时显示的领域，顺应了当前许多CAD造型系统和快速原型制造系统模型多边形表示的需要，已成为目前应用最为广泛的一类方法。然而，该类方法同时也存在计算量大、对计算机硬件设置要求高、所产生的拓扑结构未考虑被测体固有的曲面拓扑结构而可能导致重建曲面与被测曲面拓扑不一致，曲面对点云的快速适配需要使用高阶NURBS曲面(而相同的情况下，传统曲面造型方式只需要低阶曲面)；面片之间难以实现曲率连续，不能实现高级曲面的创建。



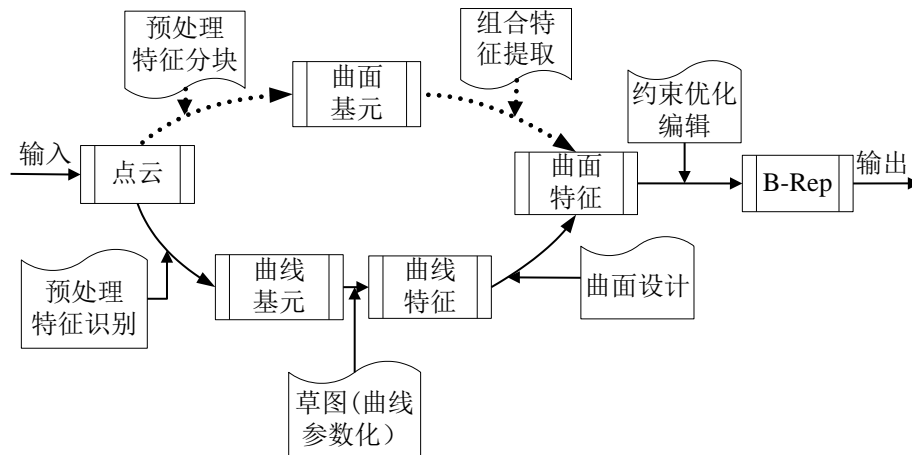
两种方式实现曲面造型的基本 作业流程



两种方式实现曲面造型的基本 作业流程



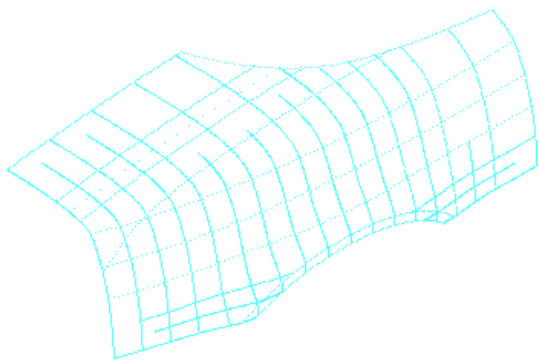
- 传统曲面造型方式通常具有两种建模策略：(1)由点云直接拟合曲面片，而后对所有的曲面片调面、求交、裁剪和拼接等处理，生成最终的曲面模型；(2)对点云进行切片处理并拟合出特征线或是互动的在点云上构建3D样条曲线，再通过适当的曲面构建方式创建个特征对应的曲面片，其余的操作同策略(1)。



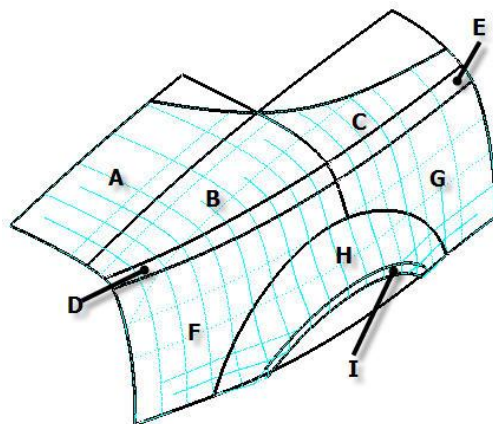


两种方式实现曲面造型的基本作业流程

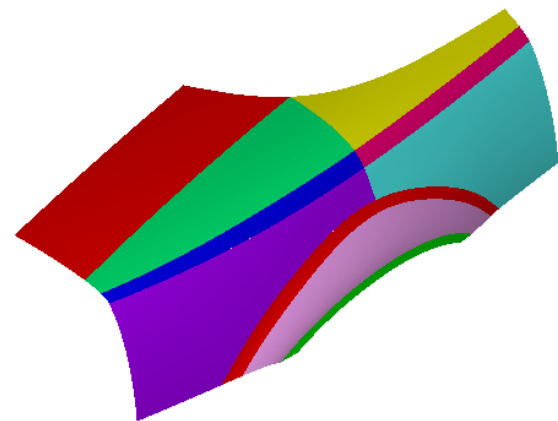
- 图所示是汽车翼子板的点云，依据基于曲线的曲面片重建策略，创建出相应的特征边界线重建曲面



汽车翼子板点云



特征边界线与区域分割

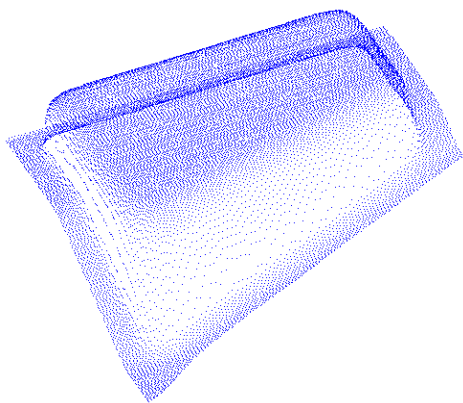


曲面重建后的曲面模型

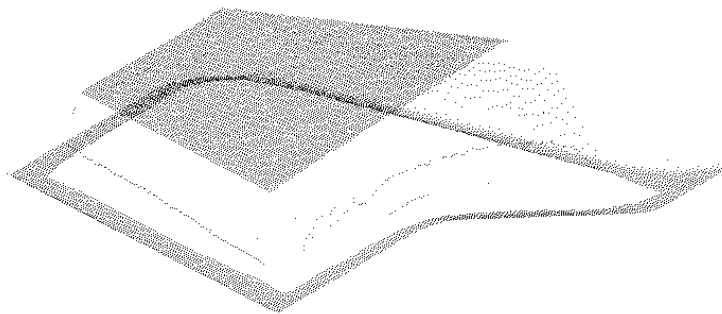


两种方式实现曲面造型的基本作业流程

- 图所示是一个零件罩盖的点云，依据基于曲面片直接拟合的曲面重建策略，由点云曲率分布可以判定，该零件可以分为顶部曲面、4个侧面和一个裙边等6个基础曲面部分来重建。



罩盖点云



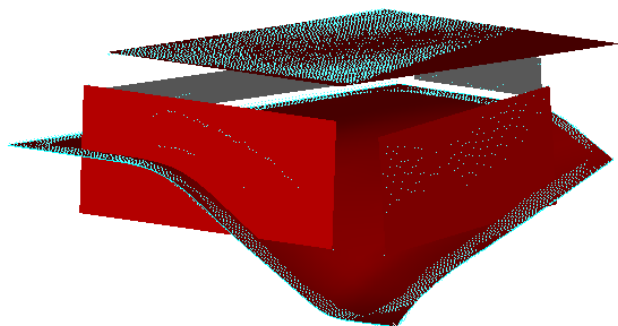
罩盖点云的区域分割



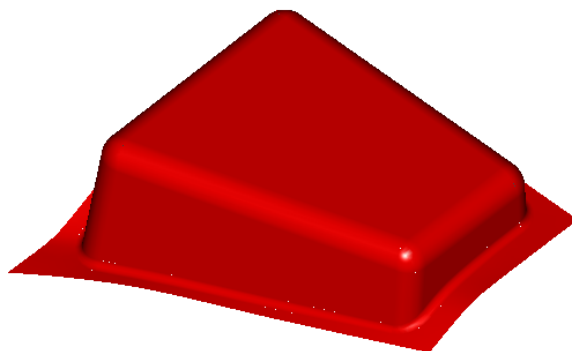


两种方式实现曲面造型的基本作业流程

- 从点云曲率分布还可以看出，除了裙边面由于点云数据不足之外，其他部分都可以使用由点云直接拟合曲面来创建，创建的结果如图3-12所示。随后，对各曲面片进行延伸、添加过渡特征和裁剪等处理即可创建产品的曲面模型，创建的结果如图3-13所示。



拟合曲面片示意图



單盖曲面模型



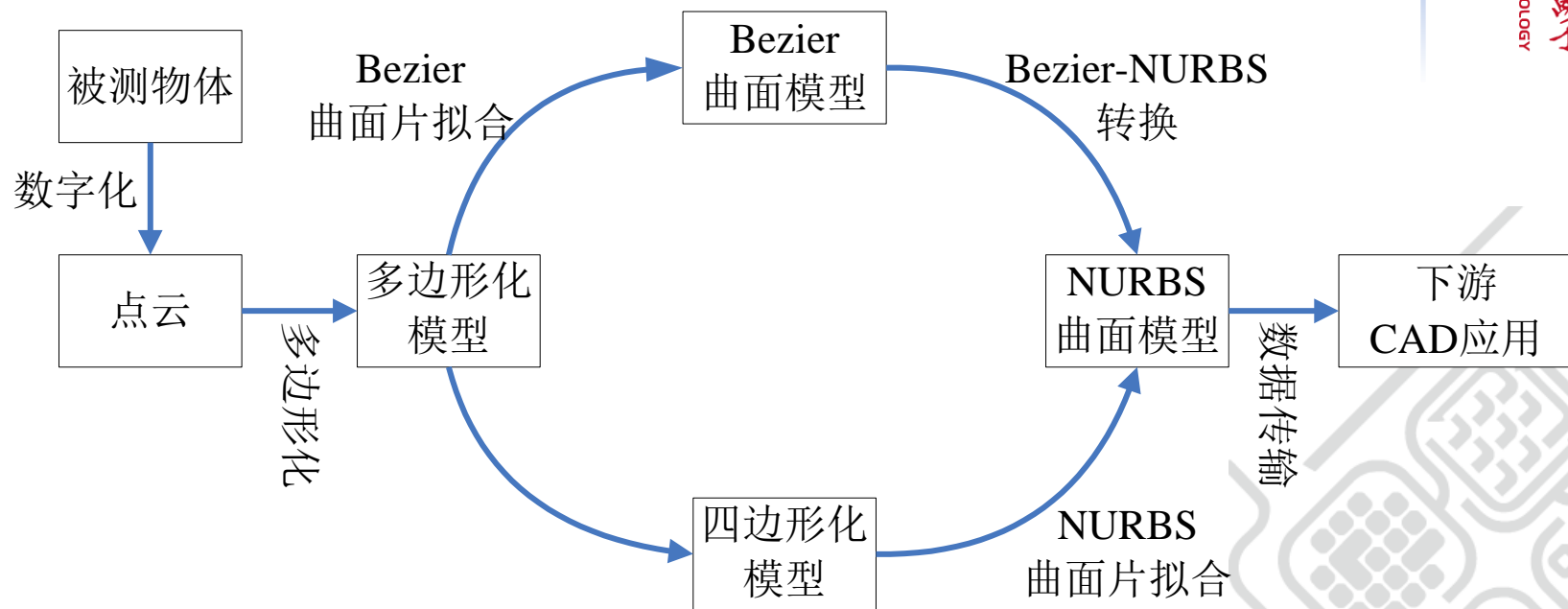


两种方式实现曲面造型的基本作业流程

- ❖ 实施曲面重建时，快速曲面造型方式通常也具有两种建模策略：
 - (1) 点云多边形化后，使用Bezier曲面片进行拟合，并由此创建各曲面片之间满足G1联系的Bezier曲面模型。而后Bezier曲面模型进行Bezier-NURBS转换，从而获得相应的NURBS曲面模型，用于下游CAD的工程应用；
 - (2) 点云多边形化后，先对多边形模型进一步用四边形划分，而后对四边形化处理的模型使用NURBS曲面片进行拟合，直接得到NURBS曲面模型。图3-11所示是快速曲面造型方式曲面重建策略的原理。



快速曲面造型方式的曲面建模策略





快速曲面造型方式的曲面建模策略

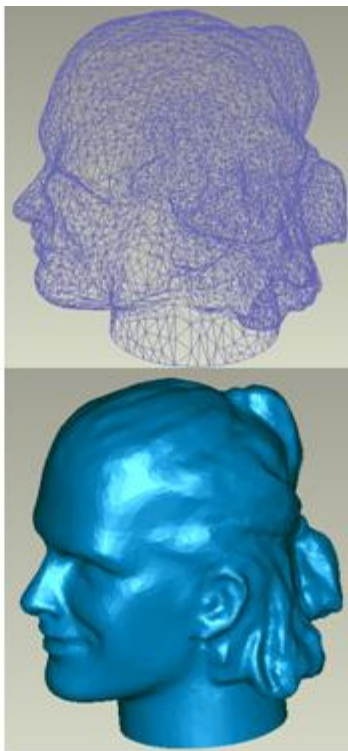
- ❖ 图3-15是一个人头塑像通过快速曲面造型方式实现的曲面重建过程。图（a）中是所采集的点云数据，图（b）显示的是塑像点云多边形化的结果，上图显示的是多边形边界，下图显示则是渲染过的多边形化结果；图（c）显示的是曲面造型阶段的主要操作，上图是对多边形化模型的曲面片分割，这是快速曲面造型方式中最为关键的一步，它决定着后续曲面重建的质量；中间图所示是对曲面片网格模型参数化的结果，该进程决定着最终曲面重建的精度，网格划分越细，曲面重建的精度就越好；下图则是最终曲面重建的结果。



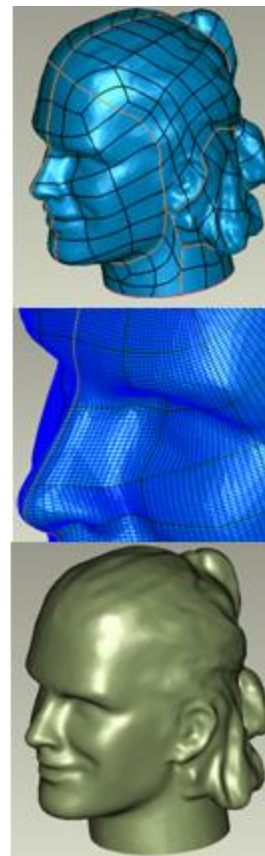
快速曲面造型方式的曲面建模策略



(a)



(b)



(c)



Geomagic软件



Geomagic软件主要应用于快速
工业成品（如医学方面、文物和艺术
品保存）方面。

除了Imageware以外
应用最为广泛的逆向
工程软件。

由美国 Raindrop 公司出品的逆向工程和
三维检测软件 Geomagic Studio
可轻易地从扫描所得的点云数据
创建出完美的多边形模型和网格，
并可自动转换为 NURBS 曲面。

Geomagic Studio 具有下述所有特点:

- 确保完美无缺的多边形和 NURBS 模型
- 处理复杂形状或自由曲面形状时，生产率比传统 CAD 软件提高十倍。
- 自动化特征和简化的工作流程可缩短培训时间，并使用户可以免于执行单调乏味、劳动强度大的任务。
- 可与所有主要的三维扫描设备和 CAD/CAM 软件进行集成。
- 能够作为一个独立的应用程序运用于快速制造，或者作为对 CAD 软件的补充。
- 世界各地有 3000 人以上的专业人士使用 Geomagic 技术定制产品、促使流程自动化以及提高生产能力。



主要功能包括:

输出匹配的
文件格式
(IGS、STL等)

曲面分析
(公差分析等)

自动将点云
数据转换为
多边形

把多边形
转换为曲面

快速减少
多边形数目
(Decimate)

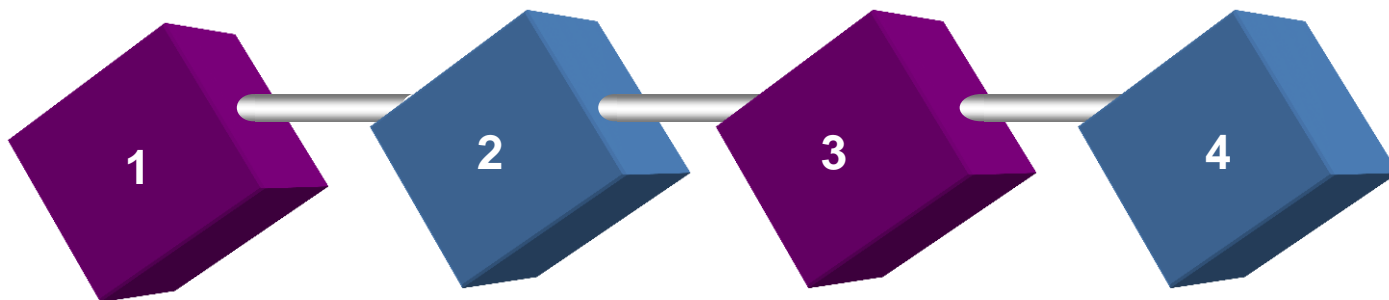


Geomagic软件

- ❖ Geomagic Studio逆向设计的原理是基于用许多细小的空间三角片来逼近还原CAD实体模型。
- ❖ 在建模策略上，Geomagic采用的是图3-14中用NURBS曲面片拟合直接创建NURBS曲面模型的策略。
- ❖ 其具体的曲面重建流程被划分为点阶段——多边形阶段——造型阶段三个前后紧密联系的阶段来进行，



基本流程



打开文件，
过滤掉噪
音点。

合并及
取样。

把点封装，
生成多边形
，转到多边
形阶段。

根据需求对
多边形进行
修改，如松
弛、孔填充
、创建或修
改边界、曲
线，再转到
形状阶段。





基本流程

5. 检测曲率，创建及修改曲面片的边界分布。

划分曲面片的基本原则：

(1)使每块曲面片的曲率变化尽量均匀，这样拟合曲面时就能够更好的捕捉到点云的外形，降低拟合误差；

(2)使每块曲面片尽量为四边域曲面。

6. 拟合生成曲面。

7. 从曲面阶段到 CAD阶段，修剪曲面。



Geomagic studio模块简介

根据其主要包含以下六个模块：

- ❖ 基础模块
- ❖ 点处理模块
- ❖ 多边形处理模块
- ❖ Shape模块
- ❖ Fashion模块
- ❖ 参数转换模块。



基础模块

- ❖ 此模块的主要作用是对软件操作人员提供基础的操作环境，包含的主要功能有：
文件存取、显示控制及数据结构。



点处理模块

- ◆ 此模块的主要作用是对导入的点云数据进行预处理，将其处理为整齐、有序以及可提高处理效率的点云数据，包含的主要功能有：
 - 导入点云数据；
 - 选择体外孤点、非连接项、或者减少噪点删除点云；
 - 对点云数据进行曲率、等距、统一或者随机采样；
 - 添加点、偏移点；
 - 由点云创建曲线，并可对曲线进行编辑、分裂/合并、摘选、拟合、投影、转为边界等处理；
 - 对点云三角面片网格化封装。



多边形处理模块

此模块的主要作用是对多边形网格数据进行表面光顺与优化处理，以获得光顺、完整的三角面片网格，并消除错误的三角面片，提高后续的曲面重建质量。包含的主要功能有：

- 清除、删除钉状物、减少噪点以光顺三角网格；
- 细化或者简化三角面片数目；加厚、抽壳、偏移三角网格；
- 填充内、外部孔或者拟合孔，并清除不需要的特征；
- 合并/平均多边形对象，并进行布尔运算；锐化曲面之间的连接；
- 选择系统平面或者生成的对象曲面对模型进行截面运算；
- 手动雕刻曲面或者加载图片在模型表面形成浮雕；
- 打开或封闭流形，增强表面啮合；
- 创建边界，并可对边界进行伸直、增加/减少控制点、松弛、延伸、细分、投影、创建对象等处理；



Shape模块

此模块的主要作用是实现数据分割与曲面重构，通过获得整齐的划分网格，从而拟合出光顺的曲面，包含的主要功能有：

- 自动拟合曲面；
- 探测轮廓线，并对轮廓线进行绘制、松弛、收缩、合并、细分、延伸等处理；
- 探测曲率线，并对曲率线进行手动移动、设置级别、升级/约束等处理；
- 构造曲面片，并对曲面片进行移动、松弛、修理等处理；
- 定义面板类型，均匀化铺曲面片；
- 构造栅格，并可对栅格进行松弛、编辑、简化等处理；
- 拟合NURBS曲面，并可修改NURBS曲面片层、修改表面张力；
- 对曲面进行松弛、合并、删除等处理。



Fashion模块

此模块的主要作用是通过定义曲面特征类型并拟合成准CAD曲面，包含的主要功能有：

- 探测轮廓线，并对轮廓线进行绘制、松弛、收缩、合并、细分、延伸等处理；
- 统一或自适应方式对轮廓线进行延伸，并对延伸线进行编辑；
- 根据划分的曲面分类为平面、圆柱、圆锥、球、伸展、拔模伸展、旋转、自由曲面类型；
- 拟合初级曲面； • 拟合连接；
- 对初级曲面的修剪或者未修剪曲面进行偏差等分析，对不符合要求的曲面重新进行构建；
- 创建NURBS曲面，并可输出整个模型、未修剪初级曲面、已修剪初级曲面或者剖面曲线。



参数转化模块

此模块的主要作用是将定义的曲面数据发送到其它CAD软件中进行参数化修改，包含的主要功能有：

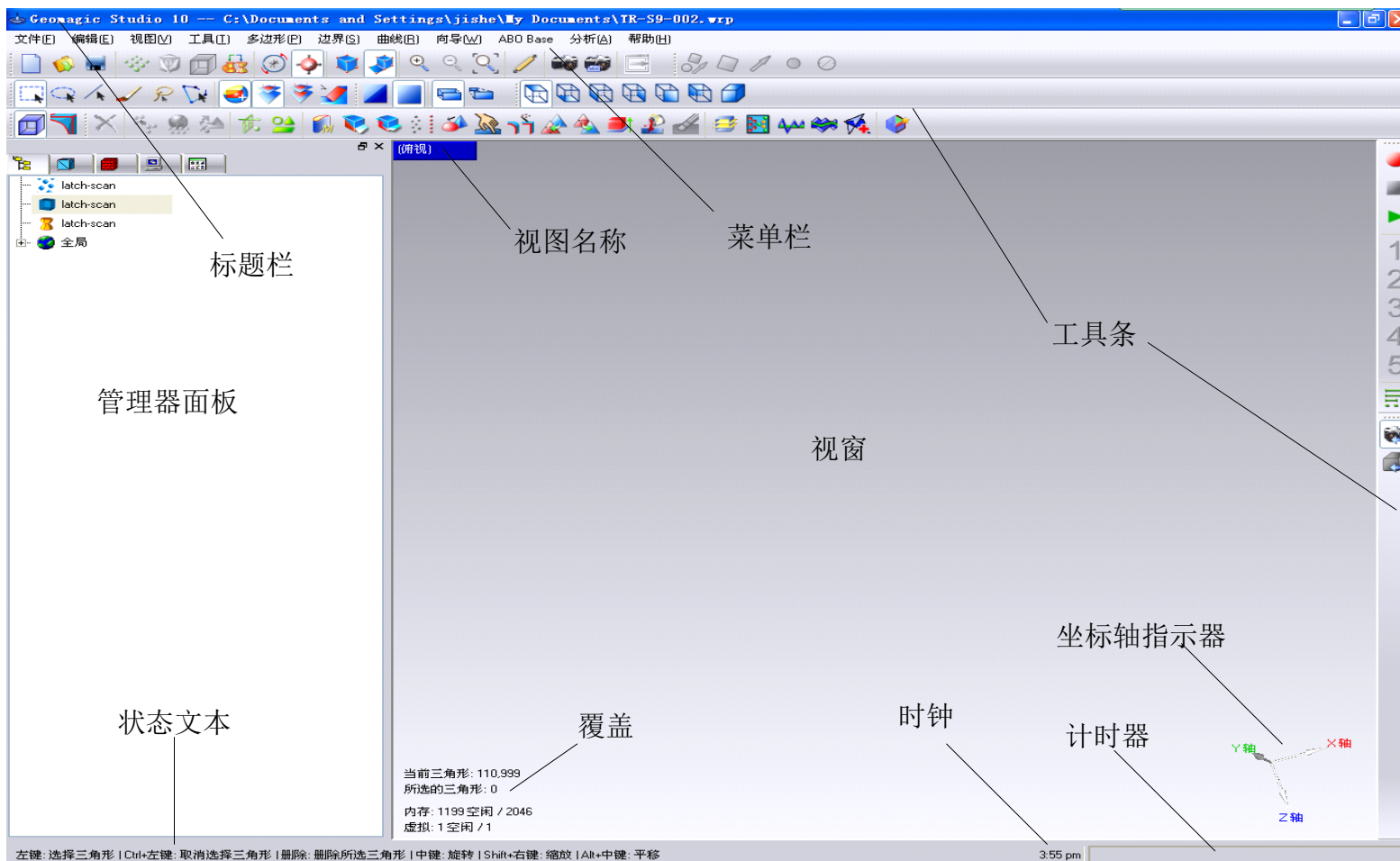
- 选择数据交换对象：Autodesk Inventor 2008、Autodesk Inventor 2009、ProEngineer Wildfire 3.0、ProEngineer Wildfire 4.0、SolidWorks 2008、SolidWorks 2009；
- 选择数据交换类型：曲面、实体、草图；
- 将数据添加至当前活动的CAD 零件文件或者将数据添加至新的CAD零件文件；
- 选择曲面数据发送至CAD软件环境下。



Geomagic studio基本操作



启动软件及用户界面



基本操作案例

- 步骤1 打开附带光盘中“Wheel.wrp”
- 步骤2 选择工具和删除
- 步骤3 预定义视图
- 步骤4 管理器面板—模型管理器
- 步骤5 管理器面板—基本体素管理器
- 步骤6 管理器面板—材质管理器
- 步骤7 管理器面板—显示管理器
- 步骤8 自定义工具栏



Geomagic Studio点阶段处理技术

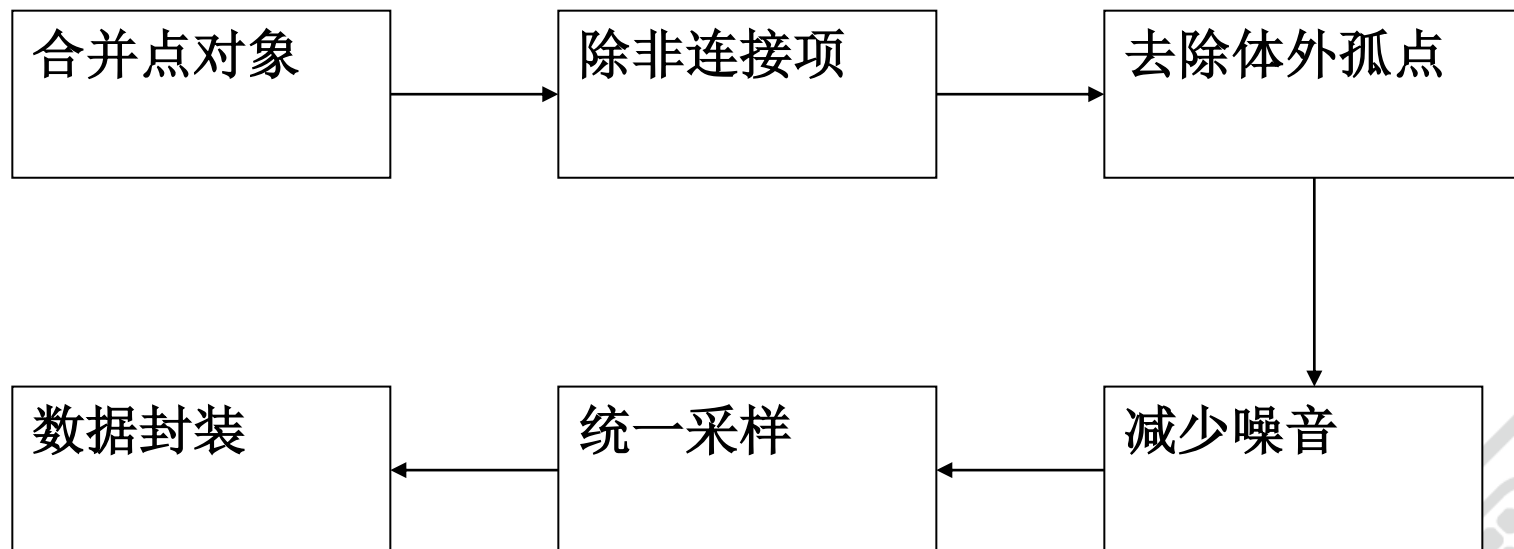
Geomagic Studio点阶段是从硬件设备获取点云后进行一系列的技术处理从而得到一个完整而理想的点云数据，以得到合用的点云数据并封装成可用的多边形数据模型，其主要思路及流程是：首先根据需要对导入点云数据进行合并点对象处理，生成一个完整的点云；通过着色处理来更好地显示点云；然后去除非连接项、去除体外孤点、减少噪音、统一采样、封装等技术操作。



Geomagic Studio点阶段处理技术



❖ Geomagic Studio 点阶段基本操作流程图：



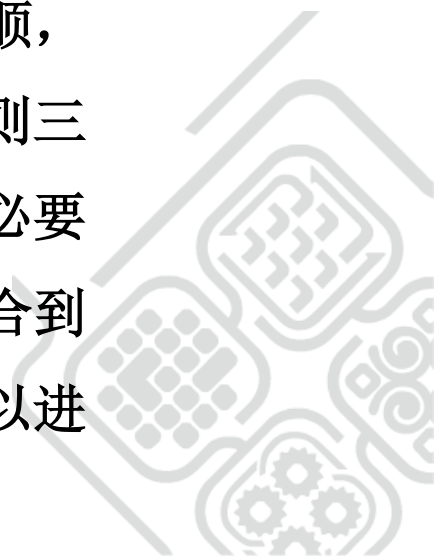
实例A 凸台点云编辑处理技术

- 步骤1 打开附带光盘中“model 4-1.wrp”文件
- 步骤2 合并点对象
- 步骤3 将点云着色
- 步骤4 选择非连接项
- 步骤5 删除非连接点云
- 步骤6 去除体外孤点
- 步骤7 减少噪音
- 步骤8 保存一下点云
- 步骤9 统一采样
- 步骤10 封装数据
- 步骤11 保存文件



Geomagic Studio多边形阶段处理技术

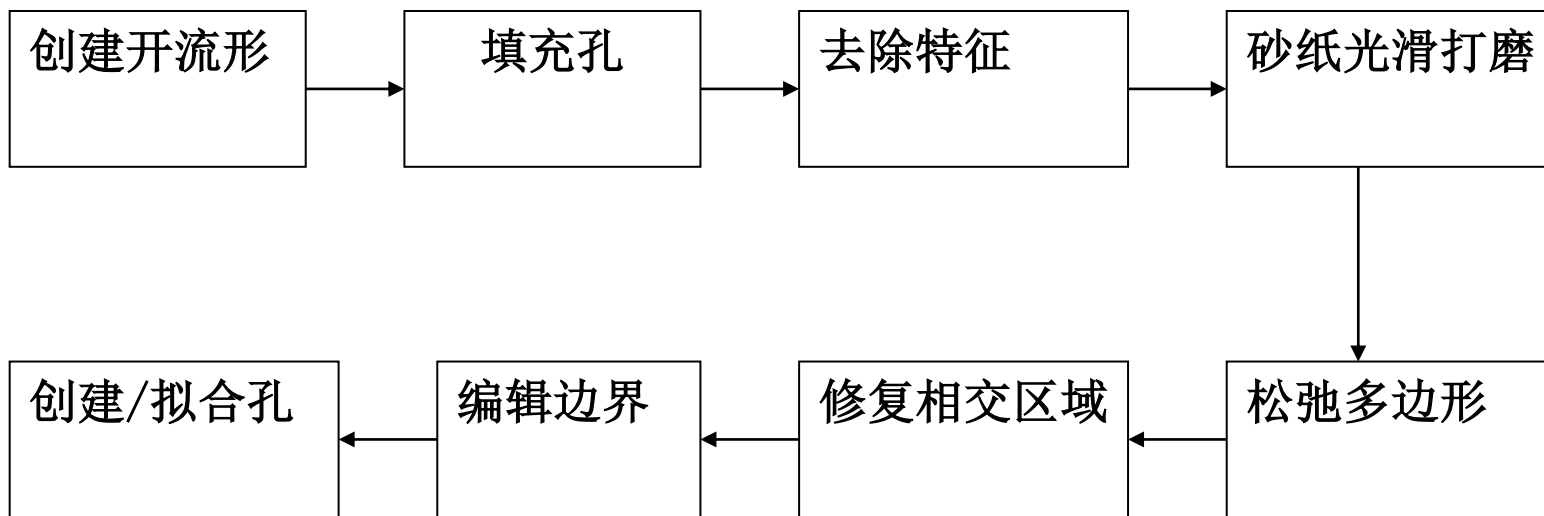
Geomagic Studio多边形阶段是从点云数据封装后进行一系列的技术处理从而得到一个完整理想的多边形数据模型，为多边形高级阶段的处理以及曲面的拟合打下基础。其主要思路及流程是：首先根据封装多边形数据开流形操作，再进行填充孔处理；再去除凸起或多余特征，将多边形用砂纸打磨光滑，对多边形模型进行松弛操作，然后修复相交区域去除不规则三角形数据，编辑各处边界，创建或者拟合孔等技术操作。必要的时候还需要进行锐化处理，并将模型的基本几何形状拟合到平面或者圆柱，对边界的延伸或者投影到某一平面，还可以进行平面截面以得到规整的多边形模型。



Geomagic Studio 多边形阶段处理技术



❖ Geomagic studio 多边形阶段基本操作流程圖：



多边形阶段应用实例--存钱罐

步骤1: 打开附带光盘中“model 5-1.wrp”文件

步骤2: 隐藏点云, 显示多边形模型

步骤3: 创建开流形

步骤4: 填充孔

步骤5: 简化多边形

步骤6: 砂纸打磨与去除特征

步骤7: 编辑边界

步骤8: 松弛边界

步骤9: 松弛多边形

步骤10: 修复相交三角形区域

步骤11: 保存文件



Geomagic Studio形状阶段处理技术

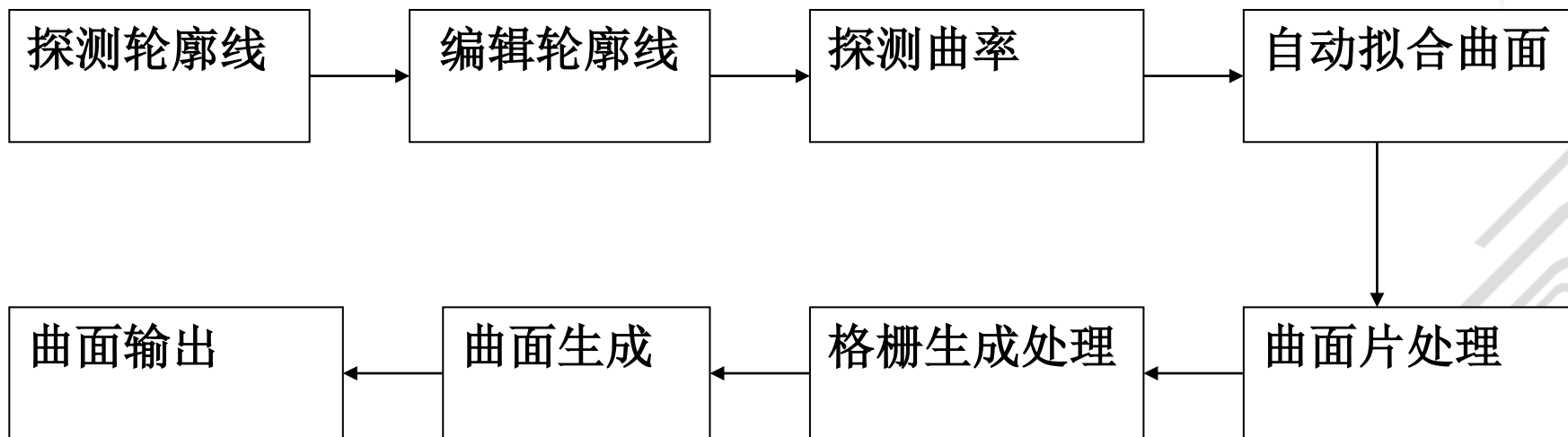
Geomagic形状阶段是从多边形阶段转换后进行一系列的技术处理从而得到一个理想的曲面模型。其主要思路及流程是：首先进行轮廓线技术处理，探测轮廓线、编辑轮廓线、探测曲率、移动曲率线、细分/延伸轮廓线、编辑/延伸、升级/约束、松弛轮廓线、自动拟合曲面，再进行曲面片处理，构造曲面片、松弛曲面片、编辑曲面片、移动曲面片、移动面板、压缩曲面片层、修理曲面片、绘制曲面片布局图；再进行格栅处理，构造格栅、指定尖角轮廓线；最后完成NURBS曲面的处理，进行拟合曲面、合并曲面、删除曲面、3D比较等技术处理，最终得到理想的NURBS曲面，以IGES格式文件输出到其他系统。



Geomagic Studio形状阶段处理技术



Geomagic studio 形状阶段基本操作流程



实例A 自行车挡泥板的基本曲面创建

- 步骤1 打开附带光盘中“model 6-1.wrp”文件
- 步骤2 探测曲率
- 步骤3 升级或约束轮廓线
- 步骤4 移动面板
- 步骤5 压缩/解压缩曲面片
- 步骤6 编辑曲面片顶点
- 步骤7 编辑轮廓线
- 步骤8 松弛轮廓线和曲面片
- 步骤9 构建格栅
- 步骤10 拟合曲面



Geomagic Studio Fashion阶段处理技术

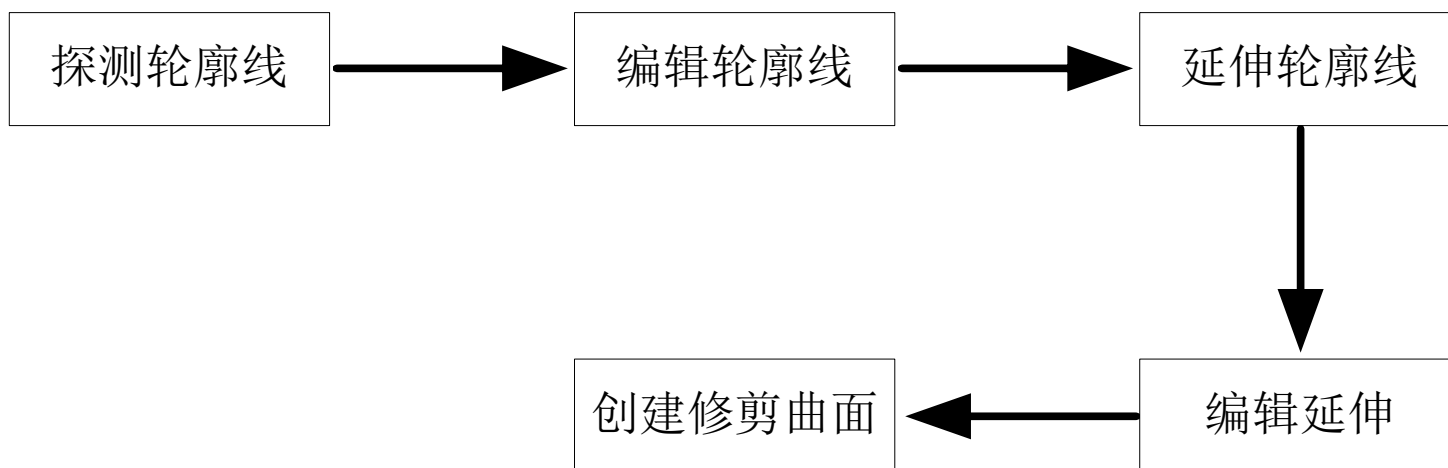
Geomagic studio Fashion阶段是根据多边形阶段下的三角形网格曲面进一步生成NURBS曲面，其主要思路及流程是：首先根据曲面表面的曲率变化生成轮廓线，并对轮廓线进行编辑达到理想效果，通过轮廓线的划分将整个模型分为多个曲面；其次再根据轮廓线进行延伸并编辑，通过对轮廓线的延伸完成各个曲面之间的连接部分；然后对各个曲面进行定义，并拟合各个曲面及曲面之间的连接部分。



Geomagic Studio Fashion阶段处理技术



Geomagic studio Fashion阶段基本操作流程圖：



实例A 涡轮叶片在Fashion阶段下的制作

目标：将多边形阶段下处理完毕的模型进入到Fashion阶段下进行生成曲面操作，得到符合光顺和精度要求的NURBS曲面。



实例A 涡轮叶片在Fashion阶段下的制作

步骤1 打开附带光盘中“model 7-1.wrp”文件

步骤2 进入到Fashion阶段

步骤3 探测轮廓线

步骤4 编辑轮廓线

步骤5 延伸轮廓线·自适应

步骤6 编辑延伸线

步骤7 创建修剪曲面—分类

步骤8 创建修剪曲面—拟合初级曲面

步骤9 创建修剪曲面—拟合连接

步骤10 创建修剪曲面—分析

步骤11 创建修剪曲面—修剪/缝合

步骤12 保存曲面文件

