

基于 CATIA 的农机犁片三维扫描及逆向设计方法研究

黑龙江工程学院 汽车与交通工程学院 龚子棋 侯志平 吕德刚 齐晓杰

农机犁片是一种典型的空曲扭面，适合于逆向设计。设计的过程中，无论是点云的顺滑程度，还是截面的数量，对逆向结果都有很大的影响。通过对比分析可知，顺滑点云的网格，能比较明显地提高逆向质量。增加截面的数量，也能提高逆向质量，但也会增加奇异点的数量，导致逆向结果的局部位置变形。所以为了提高逆向质量，片面增加截面数量是不可取的。

一、前言

逆向工程 (Reverse Engineering, RE)，又称作反求工程、反向工程等，起源于 20 世纪六七十年代，借助于各种数据测量设备获得产品数据，然后将所得数据点云导入三维 CAD 软件进行三维模型重构，获得参数化数学模型。随着我国现代农业技术的发展，农机技术发展日新月异。犁片是农机工作时的核心部件，犁片的造型非常重要，利用逆向设计技术，获取精确的螺旋桨叶片曲面模型，对于优化设计、降低成本都有很大的现实意义。

二、逆向过程

逆向设计首先要进行曲面重构，曲面重构一般有两种途径，一种是将点云拟合成曲线，再将曲线构建成曲面；另一种是直接将点云数据进行拟合，直接生成曲面片，然后对面片进行曲面编辑，如裁剪、过渡接合等方式实现曲面重新构成。这种方式的优点在于曲面精度往往较高，可以对特定点进行删除或者修改，形成的曲线光顺性也就较好，缺点是逆向效率比较低，进程缓慢。另外一种方式是直接利用点云进行铺面拟合，这种方法速度快，但拟合精度往往较差。农机犁片的形状类似风扇叶片，如图 1 所示，整体呈现空间

扭曲状，拟合难度较大，适合用第一种方法进行拟合。



图 1 农机犁片

在整个逆向过程中，点云文件的光顺程度、截面选取的位置、截面数量都会影响逆向生成的空间曲线的质量，也会影响逆向生成的曲面、实体的质量，下面对以上几种参数的影响逐一加以分析。

逆向设计的第一步是获取点云文件，使用激光三维扫描仪，对犁片进行扫描，获得点云文件，如图 2 所示，激光三维扫描仪使用的是 Creaform 公司的 Handy Scan 300 型扫描仪，精度可达 0.04mm。

1. 点云顺滑对逆向成果的影响

将农机犁片点云导入 CATIA 软件，作为一种典型的异形曲面，做一平行于 YZ 面且距离 400mm 的平面 1，截取点云得到一条空间曲线，命名为曲线 a。分析空间曲线的曲

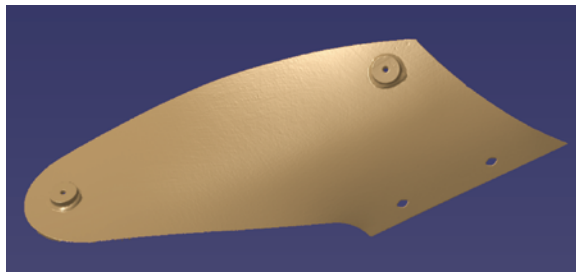


图2 农耕地犁片扫描点云

率变化趋势，分析结果如图3所示。再做一平行于YZ面且距离为300mm的平面2，截取点云得到一条空间曲线，命名为曲线**b**。分析空间曲线的曲率变化趋势，分析结果如图4所示。

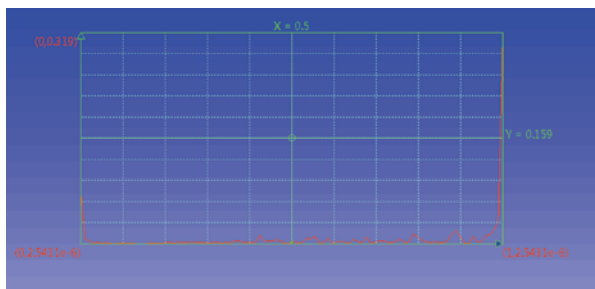


图3 曲线a变化趋势

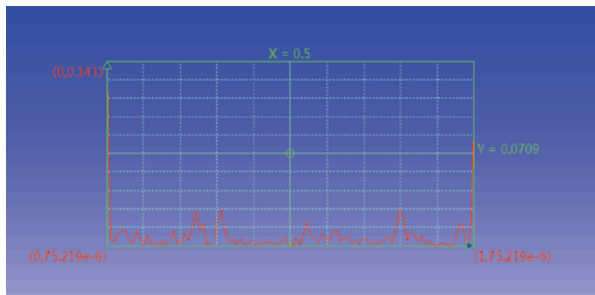


图4 曲线b曲率变化趋势

使用“数字外形编辑器”里面的“网格光顺”命令，按默认设置，即系数为0.50，单效光顺后，仍选取原两个界面，测量其曲率变化趋势，得曲率变化趋势图，如图5、6所示。

从a、b两条线的曲率分析图上可以看出，点云光顺后，其后生成的曲线曲率明显降低，生成的曲面的光顺程度也就明显加强。曲线a的曲率经过点云光顺后，由最大曲率0.319降低为0.143，曲线b的曲率经过点云光顺后，由最大曲率0.141降低为0.0825。在a、b两条线之间，增加一个平面，截取点云形成c曲线，a、b、c三条曲线，通过“创成式外

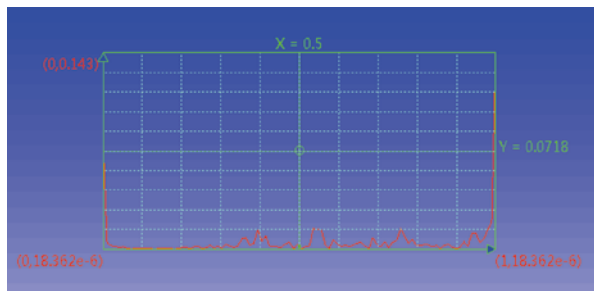


图5 曲线a曲率变化趋势

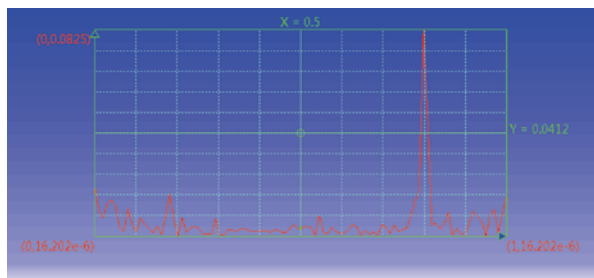


图6 曲线b曲率变化趋势

形设计”里面的“多截面曲面设计”命令，生成了一个曲面，将曲面和点云之间进行距离分析，没有进行“网格光顺”时形成的曲面，和点云之间距离分析结果，如图7所示，进行“网格光顺”后形成的曲面，和点云之间距离分析结果，如图8所示。从分析结果上可以看出，“网格光顺”前，垂直距离点云-0.01 ~ +0.06距离内，占56.7%，“网格光顺”后，垂直距离点云-0.01 ~ +0.06距离内，占60.31%。说明点云光顺后，点云和逆向生成曲面之间，接合更加紧密。

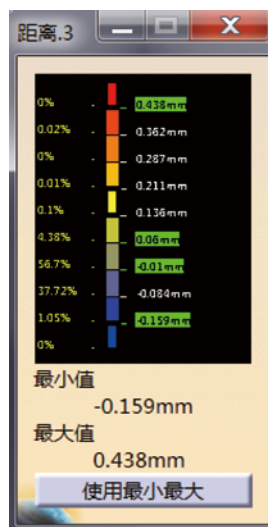


图7 网格光顺前曲面和点云距离分析

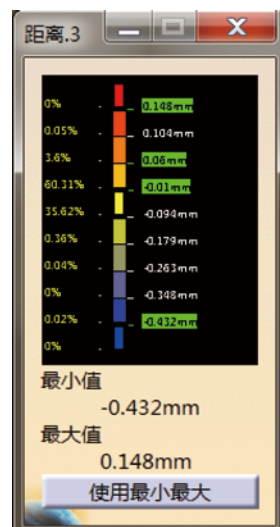


图8 网格光顺后曲面和点云距离分析

2. 截面数量对于逆向结果的影响

为了尽可能逆向出符合犁片点云的曲面，截面选取要有足够数量，在曲面 a 和曲面 b 之间，分别增加截面，形成不同数量的多截面曲面。截面数量分别为 5、7、9，然后分别把三种截面和点云之间垂直距离做分析，设置一个公差距离 $-0.01 \sim +0.06$ 的范围。从图 9、10、11 分别可以看出， $-0.01 \sim +0.06$ 的范围内的点分别是 68.3%，68.8%，71.28%，即截面越多，曲面和点云越接近，但最大值分别是 0.548、0.672、0.512，呈不规则分布状态。主要原因是截面增多，导致奇异点的增加，曲面偏离点云的最大值和最小值呈随机状态，以 9 截面曲面为例，截面位置如图 12 所示，距离正负极值点都在边缘处，如图 13 所示。

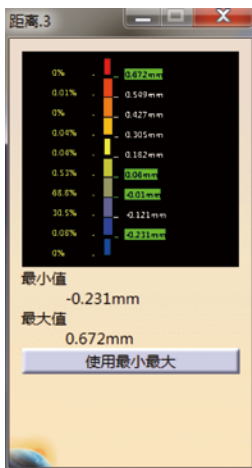


图 9 5 截面曲面和点云距离分析

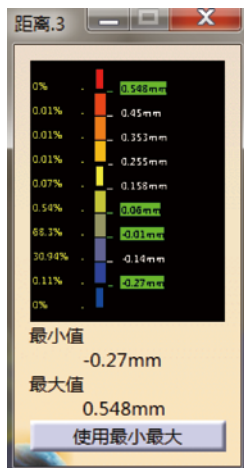


图 10 7 截面曲面和点云距离分析



图 11 9 截面曲面和点云距离分析

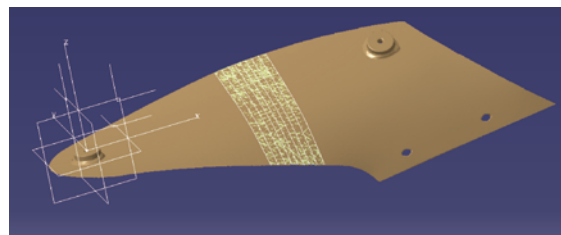


图 12 9 截面截取点云位置

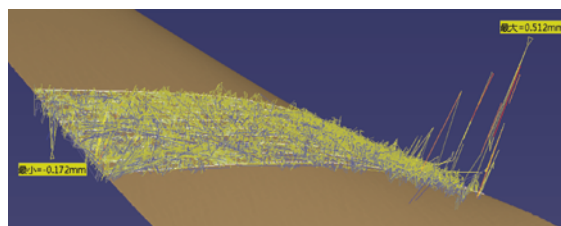


图 13 9 截面曲面距离点云极值点位置

三、结语

对农耕地犁片这类空间扭曲比较严重的异型面来说，为了兼顾精度和逆向效率，采取先扫描点云、然后点线面逐渐生成，最后逆向出实体的方法较好。无论是点云光滑的程度，还是截面的数量，对这类异型面的逆向结果影响都很大。扫描后对点云实施多次光滑操作，会明显增加犁片这种连续扭曲曲面的逆向效果。多截面固然会增加精度，但也会增加奇异点的数量，造成局部位置凹凸不平，影响逆向质量。故逆向后曲面和点云距离满足要求即可，不必一味追求截面数量。 