基于收缩包裹与可见性引导的三角网格法向快速矫正

杜云云[1] 杨鑫[2] 翟月雯[3] 付营建[1] 赵国忠[1]* 关振群[1]

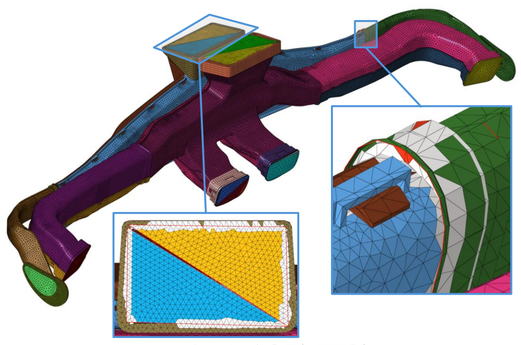
[1]大连理工大学力学与航空航天学院 [2]大连理工大学能源与动力工程学院

[3]中国机械总院集团北京机电研究所有限公司

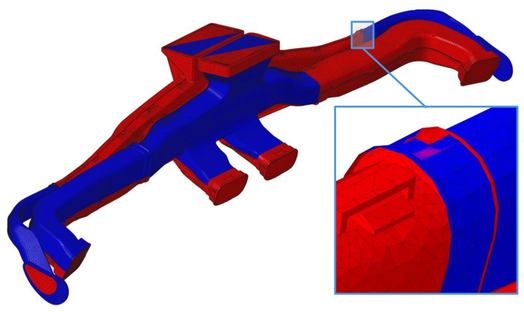
一、研究背景与目标

复杂缺陷使法向判定困难

非流形边造成传播歧义；孔洞破坏内外空间判定；自交与遮挡降低射线判定可靠性。错误法向进一步影响渲染、3D打印及鲁棒的四面体网格生成。



输入缺陷网格



法向错误分布

红色：法向朝向观察者；蓝色：背向观察者。
开放模型暴露的内表面可正常呈蓝色。

研究目标

在含非流形、孔洞、自交与遮挡等问题的三角网格上，实现快速、稳定的整体法向统一与矫正。

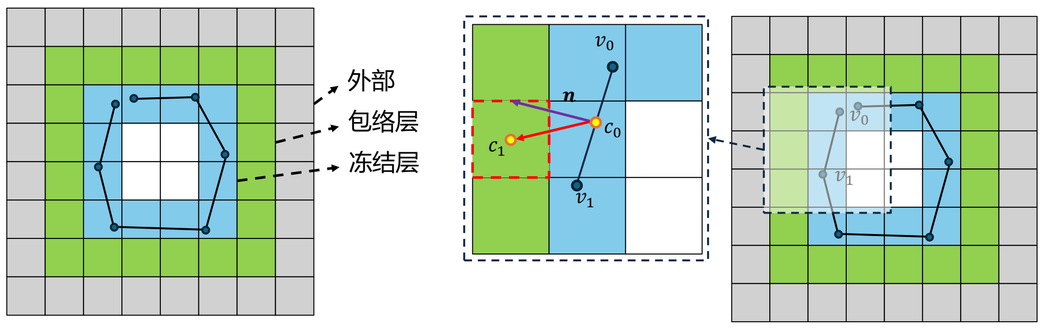
核心思路

利用均匀栅格构建包覆模型的包络体素层，为法向判定提供外部方向参考；引入多向可见性评分，结合流形聚类内部面积加权投票结果，确定法向朝向。

统一栅格复用：包络体素层构造、多向步进式可见性扫描，无需精确射线求交。

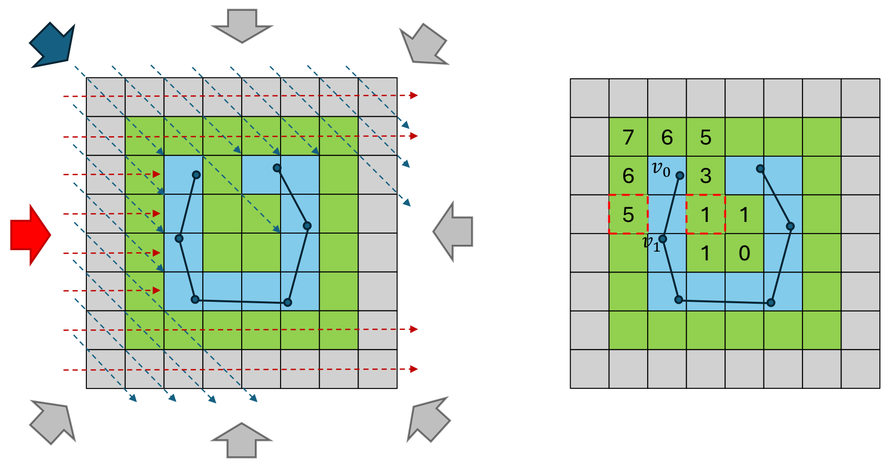
二、方法与框架

1 均匀栅格与包络构造



洪水填充提取包络体素层，为面片提供局部参考法向。

2 可见性引导参考法向



沿14个方向（6个轴向、8个空间对角方向）进行栅格步进式扫描，无需射线求交，获取包络体素层可见性评分

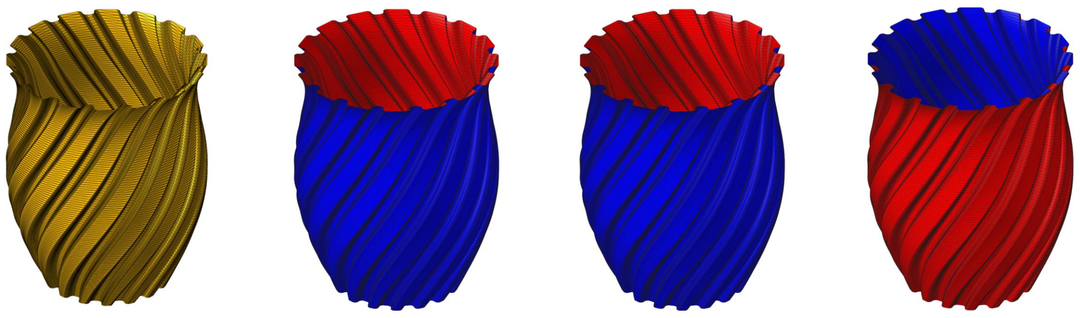
3 流形聚类与加权投票

BFS传播统一聚类内部法向，再通过面片投票决定是否翻转。

投票贡献 = 面片面积 × 可见性权重

三、矫正效果与机制验证

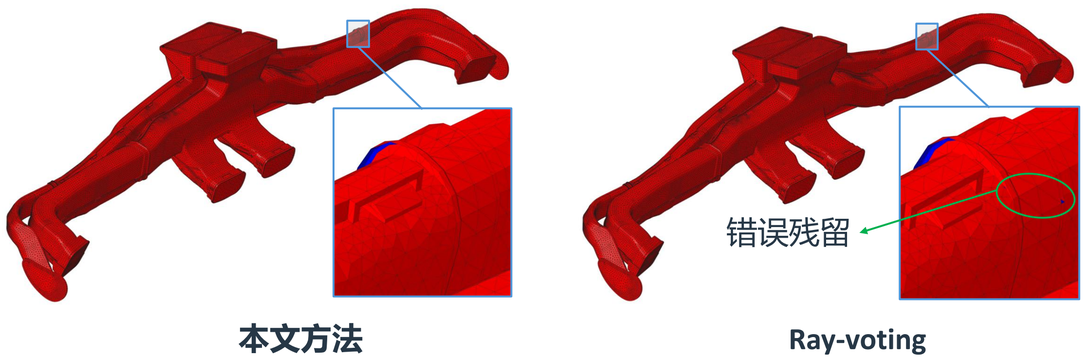
开放边界：花瓶模型



原始　　矫正前　　仅近距　　可见性引导

仅近距策略：翻转组与保持组的加权面积占比分别为42.87% 和 57.13%，导致整体方向误判。可见性评分抑制内侧参考，实现正确矫正。

复杂缺陷：汽车空调部件

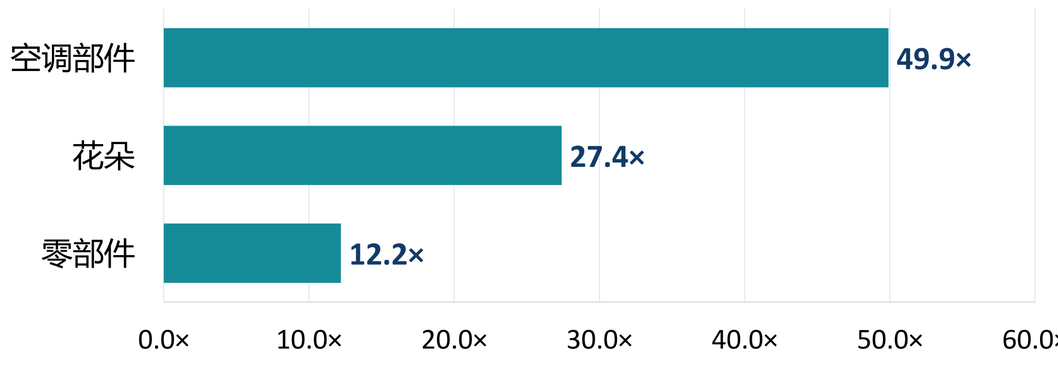


本文方法　　Ray-voting

针对自交、孔洞、重叠等缺陷集中位置实现法向矫正，射线投票法残留误判，本方法完成矫正。

四、计算效率与结论

相较 Ray-voting 加速约12–50倍



模型	Ray-voting / s	本文 / s	加速比
零部件	3.101	**0.255**	12.2×
花朵	65.444	**2.385**	27.4×
空调部件	138.203	**2.771**	49.9×

单线程，Intel Core Ultra 7 255H；计时含方法内部预处理，不含文件读写。

主要结论

包络参考与可见性评分互补，提高复杂区域法向判定可靠性；聚类加权投票减少异常面片影响，提升矫正稳定性；复用均匀栅格，提升包络构造与可见性扫描的效率。