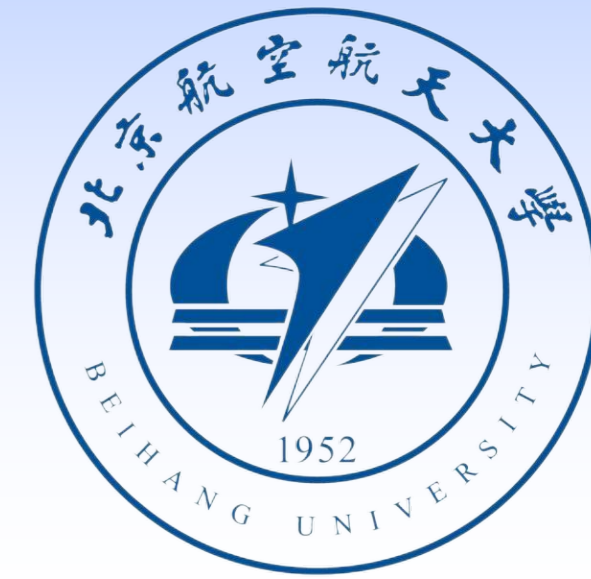


第十二届全国流体力学学术会议

层析PIV三维点云重构与定位的关键技术研究

袁锦乐, 潘翀*

北京航空航天大学航空科学与工程学院流体力学系, 北京 100191



介绍 Introduction

湍流、非定常流动等现象一直是流体力学研究的重点, 而这些现象的研究依赖于流场测量技术。现有的流场测量技术多应用于二维测量, 但无论是目前倍受关注的涡流、湍流等流体力学基本问题, 还是飞机、火箭、船舶等型号的研制, 都面临着非常复杂的三维非定常流动问题[1]。Elzinga等人[2]正式提出的层析PIV (Tomo-PIV)技术以其对瞬时三维流场的全场量化测量能力, 在近十几年得到了快速发展和应用。层析PIV主要包括多视角成像、三维流场重构以及互相关等步骤。其中流场重构是通过层析重构的方式获得粒子的空间分布, 但受体素空间分辨率的限制难以实现精细化测量。而3D-PTV技术通过三角定位可以实现确定三维点云坐标[3], 但只适用于低粒子播撒密度。

针对单帧三维重构和精细化测量需求, 需要发展一种层析PIV/PTV三维点云重构算法。

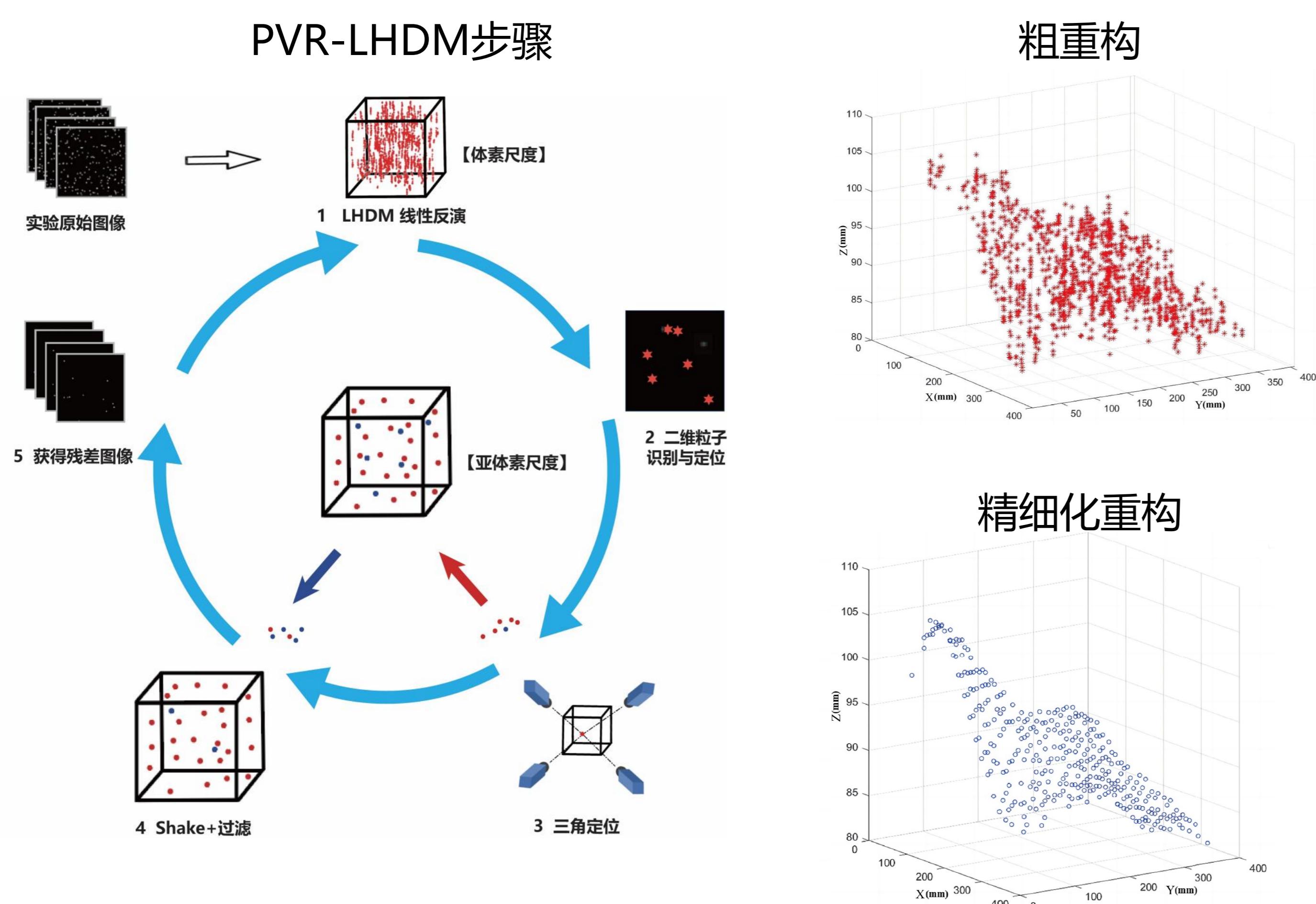
研究方法 Methods

在传统重构方法的基础上, 提出了一种三维点云重构与定位的方法——PVR-LHDM, 提高层析PIV/PTV的重构精准度。该算法的主要步骤如下图所示。PVR-LHDM方法主要由粗重构、精细化重构、后处理三部分组成, 本研究将分别展开分析。

第一部分: 粗重构。包括建立线性成像模型、体素空间灰度初始化以及线性反演, 其中线性反演是算法的核心内容。

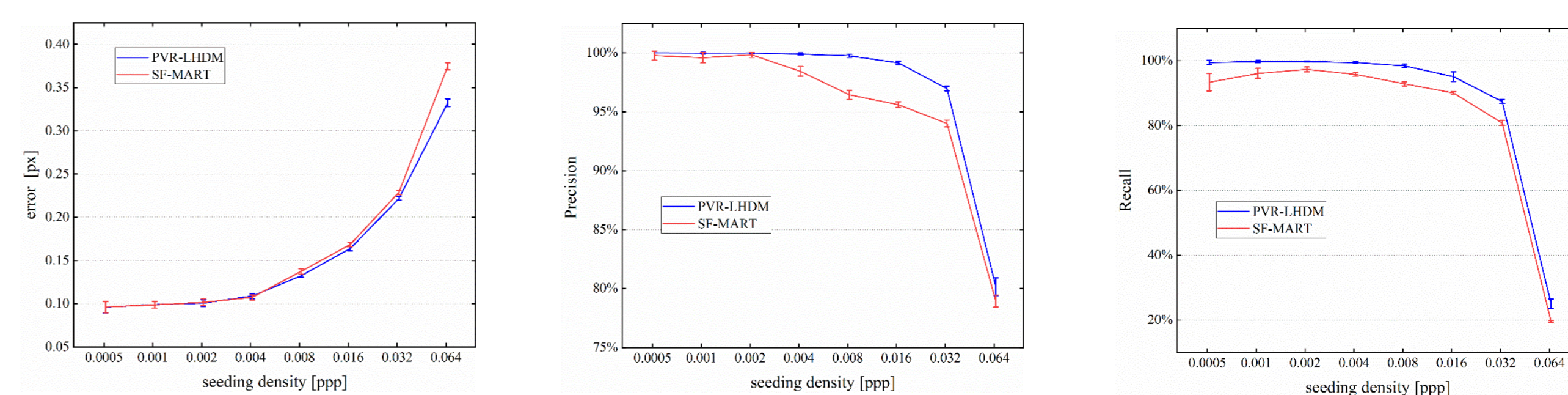
第二部分: 精细化重构。包括二维粒子识别与定位、重投影粒子同帧匹配和三角定位。

第三部分: 后处理。包括图像匹配技术、过滤以及残差图像外部迭代。



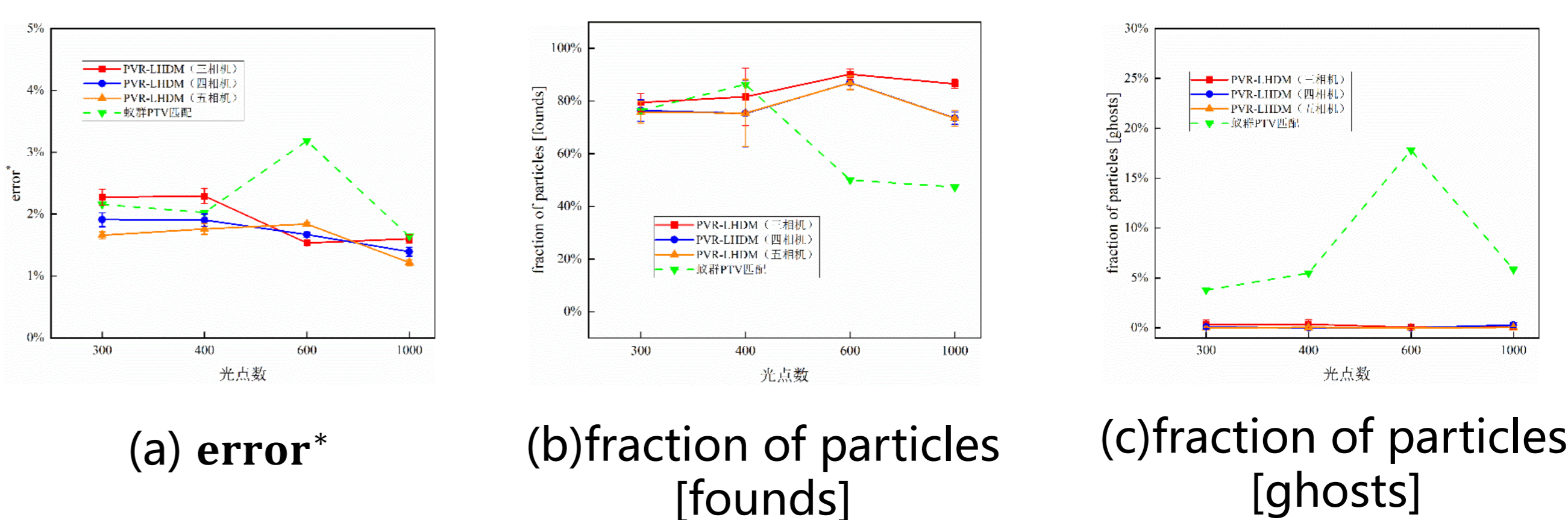
验证结果 Results

完成算法的搭建后, 使用合同图像对算法进行验证。仿真设置中基于小孔成像设置了仿真成像模型, 选择了不同相机数、不同粒子播撒密度、不同粒子的空间亮度概率分布, 从多个相机视角对空间粒子进行模拟成像, 并添加不同水平的噪声, 对算法进行验证。如下图所示, 与精细化后的SF-MART方法[3]相比, PVR-LHDM的精确率和召回率更高, 在中高粒子播撒密度下的重构性能更好。



(a) error (b) Precision (c) Recall
轻度噪声、均匀亮度分布下PVR-LHDM和SF-MART(精细化)重构结果

在仿真验证之后, 使用水波模型表面形貌实验测量数据对算法进行验证, 重构时使用了不同相机数的图像; 对于实验图像噪声严重的问题, 提出了伪图像生成的策略; 而对于虚假粒子等问题考虑曲面拟合过滤的方案如下图所示, 与蚁群PTV方法相比, 光点数增加时PVR-LHDM的误差更小, 虚假粒子明显更少, 凸显了更好的重构性能。



(a) error* (b) fraction of particles [found] (c) fraction of particles [ghosts]
PVR-LHDM与蚁群PTV重构结果

结论 Conclusions

本研究基于成像模型线性反演和精细化重构思路, 提出了PVR-LHDM重构算法进一步提高重构的精准度。验证结果表明与精细化后的SF-MART方法和蚁群PTV相比, 精准度更高。

参考文献 References

1. 李晓辉, 王宏伟, 黄湛, 赵俊波. 层析粒子图像测速技术研究进展[J]. 实验流体力学, 2021, 35(1): 86-96.
2. Elsinga G E, Scarano F, Wieneke B, et al. Tomographic particle image velocimetry[J]. Experiments in Fluids, 2006, 41(6):933-947.
3. Discetti S, Natale A, Astarita T. Spatial filtering improved tomographic PIV[J]. Experiments in fluids, 2013, 54(4): 1-13.