

# 基于图神经网络的网格平滑方法研究

王志超<sup>1,2</sup>, 陈新海<sup>1,2</sup>, 颜君峻<sup>1,2</sup>, 刘杰<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>国防科技大学并行与分布计算全国重点实验室, 中国长沙市, 410073

<sup>2</sup>国防科技大学高端装备数字化软件重点实验室, 中国长沙市, 410073

**摘要:** 在计算流体力学中, 网格平滑方法通常被应用于优化网格质量, 以实现高精度的数值模拟。其中, 基于优化的平滑方法广泛用于高质量网格平滑, 但其计算成本相对较高。一些先驱性研究工作尝试采用监督学习的方法, 从高质量网格样本中学习平滑方法, 以提高其平滑效率。然而, 该方法存在一些限制, 例如难以处理不同度节点的问题, 并且需要数据增强来解决网格节点输入顺序的问题。此外, 对于高质量网格数据的依赖也限制了该方法的适用性。为解决这些问题, 本文提出一种轻量级神经网络模型GMSNet, 以实现智能化的网格平滑。GMSNet采用图神经网络来提取节点邻居的特征, 并输出最优的节点位置。在平滑过程中, 本文还引入了一种容错机制, 以防止GMSNet生成负体积元素。通过轻量级的模型架构, GMSNet能够有效地平滑不同度的网格节点, 并且不受输入数据顺序的影响。此外, 本文还提出一种新颖的损失函数MetricLoss, 用于消除对高质量网格数据的依赖, 并促进训练的稳定、快速收敛。本文在二维非结构网格上将GMSNet与常用的网格平滑方法进行对比。实验结果表明, 相较于之前的模型, GMSNet在具有出色的网格平滑性能的同时, 仅需要其5%的参数, 并且平滑速度是基于优化的方法的13.56倍。

**关键词:** 非结构网格; 网格平滑; 图神经网络; 优化式平滑方法

<https://doi.org/10.1631/FITEE.2300878>