

FlowDNN: 一种用于快速精确流场预测的物理启发深度神经网络

陈东林¹, 高翔^{1,2}, 徐传福^{1,2}, 王思齐^{1,2}, 陈世钊¹, 方建滨¹, 王铮³

¹国防科技大学计算机学院, 中国长沙市, 410073

²国防科技大学高性能计算国家重点实验室, 中国长沙市, 410073

³利兹大学计算学院, 英国利兹市, LS29JT

摘要: 对于与流场相关的设计优化问题, 例如飞机和汽车空气动力学设计, 计算流体力学 (CFD) 模拟通常用于预测流场并分析性能。虽然CFD模拟十分重要, 但它的迭代计算非常需要计算资源且极其耗时。昂贵的模拟开销限制了大范围设计空间的探索, 并阻碍了实时的交互式设计。在本文中, 我们提出FlowDNN模型, 它是一种新颖的深度神经网络, 可从CFD结果中高效地学习流场表示。FlowDNN根据给定的流动条件和几何形状可以直接预测预期的流场结果, 从而极大地节省计算时间。FlowDNN首次结合了流体力学的基本守恒定律和注意力机制进行定常流场预测。这样做不仅可以提高预测准确性, 而且可以维持预测流场的物理一致性, 这对于CFD模拟至关重要。本文设计了多种指标以评估FlowDNN预测的整体流场和关键区域的结果 (如流场快速变化的边界层)。实验结果表明, FlowDNN明显优于其他方法且具有更短的推理时间和更准确的结果。它与最新的GPU并行求解器相比, 生成流场的速度提升14 000倍以上, 同时保持预测误差在5%以内。

关键词: 深度神经网络; 流场预测性能; 注意机制; 物理损失函数

<https://doi.org/10.1631/FITEE.2000435>