

【AI4CAE】量子力学启发AI新突破：深度学习革新CAE偏微分方程求解

原创 小欧同学 Opatiya欧帕提亚 2025年12月17日 06:00 江苏

点击蓝字 关注我们

当量子物理遇见深度学习，数值仿真领域迎来颠覆性变革。

传统计算机辅助工程（CAE）仿真依赖于有限元、有限差分等数值方法，在处理复杂物理场耦合问题时常面临计算成本高、稳定性差等挑战。近年来，AI与传统数值仿真的结合成为研究热点。

浙江大学熊诗颖团队最新发表在国际权威期刊《中国科学：物理学 力学 天文学》的研究，提出了一种基于量子力学启发的深度神经网络框架，为求解物理约束偏微分方程提供了全新思路。

传统CAE仿真的技术瓶颈

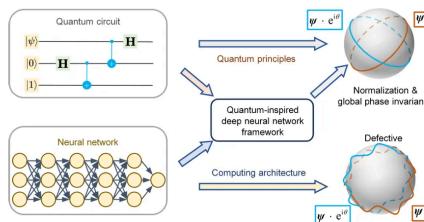
偏微分方程（PDEs）是描述物理现象的基本数学工具，从流体力学到结构力学，从电磁场到量子场，PDEs构成了CAE仿真的数学基础。传统数值方法虽然成熟，但在处理多物理场耦合、长期动态演化和复杂边界条件问题时存在明显不足：

- 时间步长限制：显式方法需要极小的时间步长保证稳定性
- 计算资源消耗大：高精度模拟需要密集网格划分
- 长期模拟误差累积：数值误差随时间推移而放大

量子启发神经网络：

QIDNNF框架的革命性创新

熊诗颖团队提出的量子启发深度神经网络框架（QIDNNF）巧妙地将量子力学基本原理融入神经网络设计，实现了物理约束PDE求解的突破。



核心创新原理

QIDNNF框架的核心在于量子力学原理的神经网络实现：

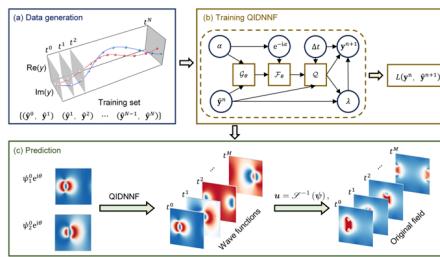
全局相位不变性：量子系统中的波函数全局相位不影响观测结果，这一特性被引入网络结构，增强了模型的物理一致性。
归一化条件：如同量子波函数的概率解释，网络强制解满足物理守恒定律，保证数值稳定性。
幺正性保持：量子时间演化的幺正性对应于物理系统的能量守恒，网络结构内置于这一约束。

与传统方法的性能对比

研究团队对QIDNNF进行了系统测试，结果显示：

相比有限差分法：QIDNNF在较大时间步长下仍保持稳定，计算效率显著提升。
相比神经常微分方程：在长期模拟中精度提高一个数量级，误差累积问题得到有效控制。

相比物理信息神经网络：对初始条件变化表现出更强鲁棒性，适应范围更广。



实际应用案例： 从理论到实践的跨越

研究团队通过一系列典型物理问题验证了QIDNNF的有效性：

一维非线性波传播
在经典波动方程求解中，QIDNNF成功模拟了非线性波的长时间演化，准确捕捉了波前变形和相互作用。
二维和三维流动演化
针对Navier-Stokes方程，框架有效描述了复杂流动模式，包括涡旋生成和湍流过渡现象，为流体力学仿真提供了新工具。

AI+CAE融合的未来展望

QIDNNF框架的成功开发标志着AI与CAE融合进入新阶段。这种量子启发的思路为解决长期困扰数值仿真的难题提供了新途径：

工业设计优化：加速复杂产品（如航空发动机、汽车车身）的多物理场仿真流程。

科学发现：为研究极端条件下的物理现象（如高温超导、等离子体行为）提供计算工具。

数字孪生：支持实时或近实时的物理系统模拟，赋能智能制造和智慧城市。

技术挑战与发展方向

尽管QIDNNF展现出巨大潜力，该技术走向成熟还需解决以下挑战：
理论完备性：需要更严格的数学理论支撑网络架构设计。
计算效率：大规模三维问题的计算成本仍需优化。
通用性拓展：如何适应更广泛的PDE类型和边界条件。
熊诗颖团队表示，下一步将聚焦于框架的通用性提升和工业级应用验证，推动这一创新方法从实验室走向工程实践。
这项研究不仅为PDE求解提供了新工具，更重要的是展示了跨学科思维在技术创新中的关键作用：量子力学与深度学习的碰撞，正催生着数值仿真领域的新浪潮。

论文信息：J. Tang et al., *Sci.China-Phys. Mech. Astron.* 68, 104703 (2025)

往期回顾

【AI4CFD】告别复杂CFD：用深度学习“看图”秒预测翼型压力分布

南京欧帕提亚信息科技有限公司
地址：南京市江宁区天元西路59号银城INC中心
电话：**13921197961**（微信同） **19005444324**
邮箱：owen9020@126.com

珠海欧帕提亚信息科技有限公司
地址：珠海市香洲区正方云溪谷A座1803
手机：**13921197961**
邮箱：owen9020@126.com

湖南云数仿真信息技术有限公司
地址：长沙市高新区芯城科技园一期2栋
手机：**15345188568**
邮箱：owen9020@126.com

 **Opatiya欧帕提亚**
基于深度学习的流固耦合国产CAE技术平台。提供深度学习、CFD、结构分析...
1497篇原创内容

公众号

/