

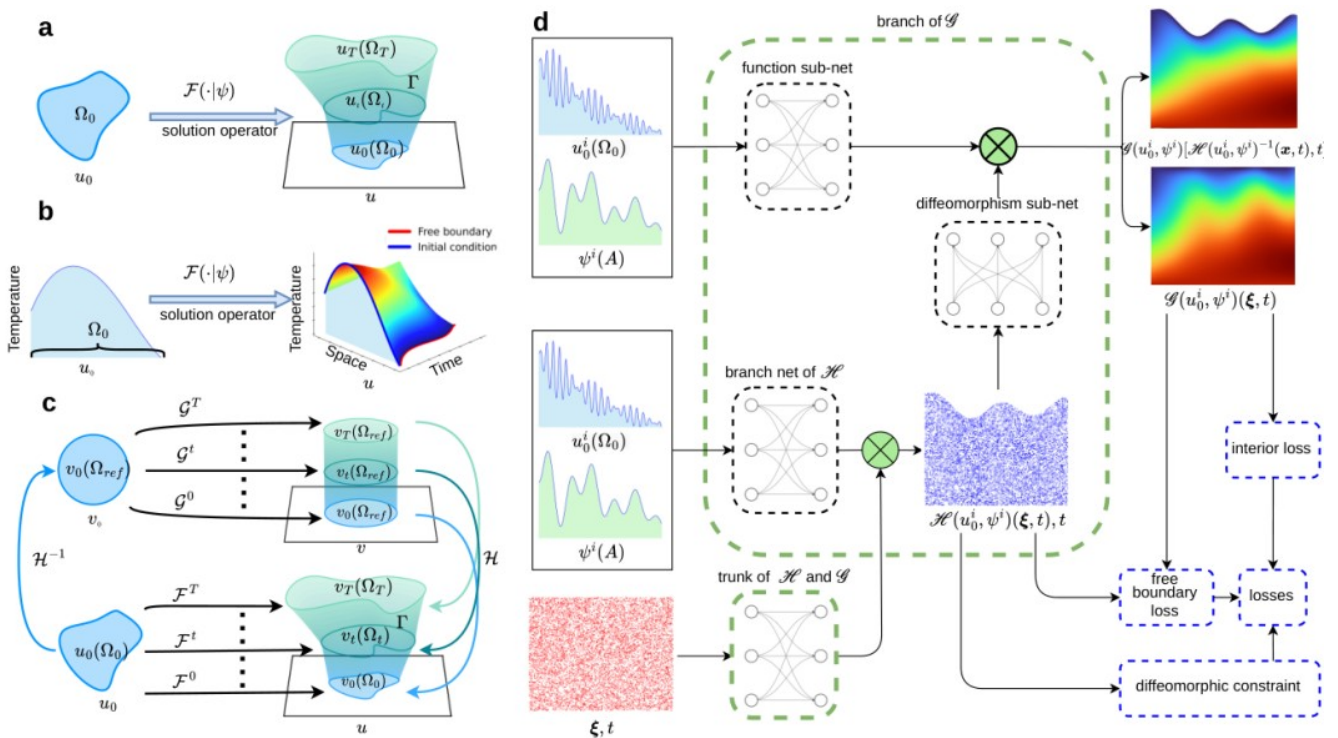
# 科学机器学习与偏微分方程交叉研究获重要进展

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40151.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学机器学习与偏微分方程交叉研究获重要进展。近日，华南理工大学电力学院教授戴栋团队联合中山大学电子与信息工程学院在读本科生刘逸群、新加坡国立大学数学系博士后祝爱卿等合作者，在科学机器学习与偏微分方程交叉研究方面取得重要进展，创新性地提出自由边界神经算子（FBNO）通用框架。近日，相关成果发表于《自然-机器智能》（Nature Machine Intelligence）。



FBNO概念框架与方法论示意图（a.自由边界问题的解算子；b.温度场与自由边界的耦合演化；c.经同胚映射H建立的共轭动力系统；d.FBNO的网络架构）。研究团队供图

论文共同第一作者、华南理工大学电力学院在读本科生龙宗加与吴贤铭智能工程学院在读本科生周祺表示，FBNO通用框架首次将神经算子方法的适用范围从预先给定的固定区域拓展至先验未知、动态演化的复杂区域，解决了神经算子框架长期以来无法直接求解自由边界问题的难题。

长期以来，自由边界问题广泛出现于相变物理、肿瘤生长、等离子体物理、生物力学、连续介质力学等众多前沿领域。这类问题的核心难点在于：求解区域本身随时间演化且事先无法预知，物

---

理场与几何边界相互耦合、彼此决定。传统数值方法依赖动网格或区域重构，计算成本高昂。近年来，兴起的神经算子虽然在固定区域偏微分方程求解中取得了最高五个数量级的加速效果，却始终受困于一个根本性限制——它们要求函数的定义域必须事先给定，因而对自由边界问题难以直接适用。

针对这一难题，戴栋教授指导团队从动力系统的拓扑共轭思想出发，提出了自由边界神经算子框架。其核心思路是：不直接逼近原系统的流映射，而是在固定参考域上构造一个共轭动力系统，并通过同胚映射 $H$ 将其与原问题严格对应。自由边界神经算子框架同时学习共轭系统的流映射和这一同胚映射，从而在数学上将边界运动与物理场演化彻底解耦。更进一步，研究团队证明了自由边界问题的通用近似定理，从理论上保证该构造可以任意精度逼近真实解算子，为方法的可行性提供了坚实的数学支撑。

在Stefan相变、热-结构多物理场耦合、肿瘤生长三个代表性算例中，自由边界神经算子框架均能准确预测演化区域与耦合的时空物理场，相对L2误差普遍低于1%。尤其在肿瘤生长这一非凸几何算例中，自由边界神经算子框架较传统数值方法获得约104倍的推理加速——单块GPU在数秒内即可完成，而等效模拟在16个CPU节点上需要两天以上。该突破为实时、个性化的临床诊疗预测提供了新的可能。（来源：中国科学报 朱汉斌）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s42256-026-01233-9>

作者：戴栋等 来源：《自然—机器智能》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发