从专用模型到统一智能——PHM大模型的破局之路

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43016.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！

从专用模型到统一智能——PHM大模型的破局之路。西安交通大学严如强、陈雪峰团队联合华南理工大学李巍华教授，在中国工程院院刊Engineering发表题为PHM – GPT: A Large Language Model for Prognostics and Health Management的研究论文。该研究面向故障预测与健康管理（Prognostics and Health Management，PHM）领域，提出大语言模型PHM-GPT，探索利用统一模型完成传统上相对独立的异常检测、故障诊断和维修决策等PHM任务，并研究大语言模型在高端装备健康管理中的泛化、推理与交互能力。该研究探索了PHM从面向特定对象和单一任务的专用智能到面向多装备、多任务的统一智能演进的新范式，为构建面向高端装备的新一代智能运维体系提供了新的技术路径。

难以摆脱的专用化建模困局

随着航空航天、轨道交通、能源装备和高端制造等领域不断向智能化、复杂化方向发展，高端装备智能运维对状态感知、故障诊断和维修决策提出了更高要求。然而，现有PHM方法大多围绕特定装备、特定工况和特定任务建立专用模型，在很大程度上仍遵循一类设备一个模型、一项任务一个模型的技术路线。当监测对象、运行工况或应用任务发生变化时，原有模型往往难以直接适用，需要重新采集数据、设计模型并进行训练。这种专用化建模方式不仅增加了PHM模型开发和部署的成本，也限制了已有知识和模型能力在不同装备、不同工况以及不同任务之间的迁移与复用。

与此同时，随着装备监测数据由单一传感信号向多源、多模态数据发展，运维需求也由单一故障识别逐步向异常检测、故障诊断和维修决策等多任务协同演进。未来PHM模型不仅需要识别故障，还需要进一步具备理解装备状态、关联专业知识、开展逻辑推理以及支持运维决策的能力。这些需求对传统面向单一任务的深度学习范式提出了新的挑战。

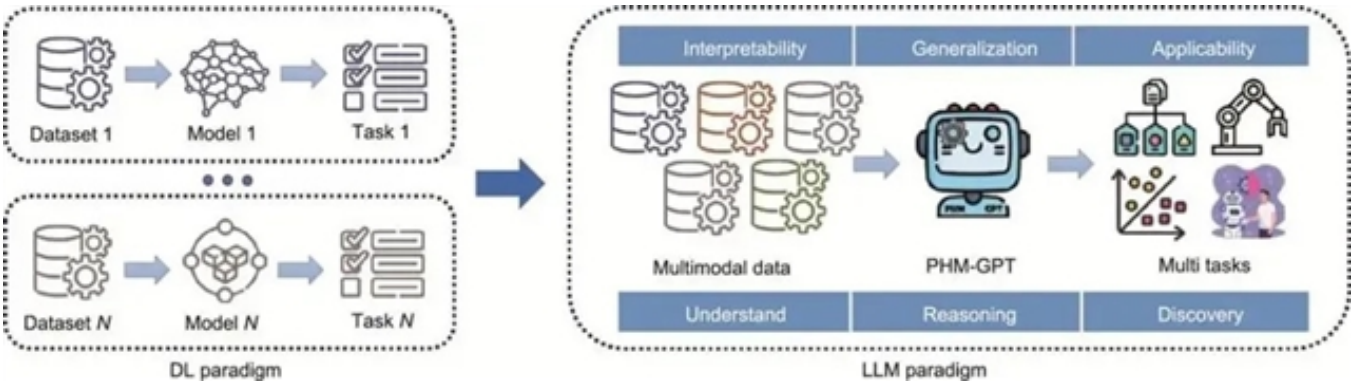


图1.传统深度学习与大语言模型驱动PHM范式对比

跨越工业信号与语言模型的表征鸿沟

将大语言模型引入PHM面临的首要问题，是如何让语言模型读懂工业信号。大语言模型主要面向自然语言进行训练，擅长文本的理解、推理和生成，而高端装备的健康状态通常蕴含在振动等连续时序信号之中。工业时序信号与自然语言之间存在显著的数据模态和表征差异，直接将原始信号输入语言模型难以充分发挥其已有的知识理解与推理能力。

针对这一问题，研究团队引入信号处理先验知识，提出信号到文本(Signal-to-Text，S2T)表示方法，将原始振动信号转换为大语言模型能够理解和处理的结构化文本表征。该方法并非简单地将信号数值文本化，而是借助具有物理和信号处理意义的特征描述，在保留装备健康状态关键信息的同时，建立工业时序信号与自然语言表征之间的桥梁。在此基础上，研究团队进一步构建面向PHM任务的指令数据集InstPHM-456k，将装备状态信息、PHM专业知识和不同任务指令组织到统一的数据表达框架之中，为大语言模型学习PHM领域知识以及多任务能力提供数据基础。

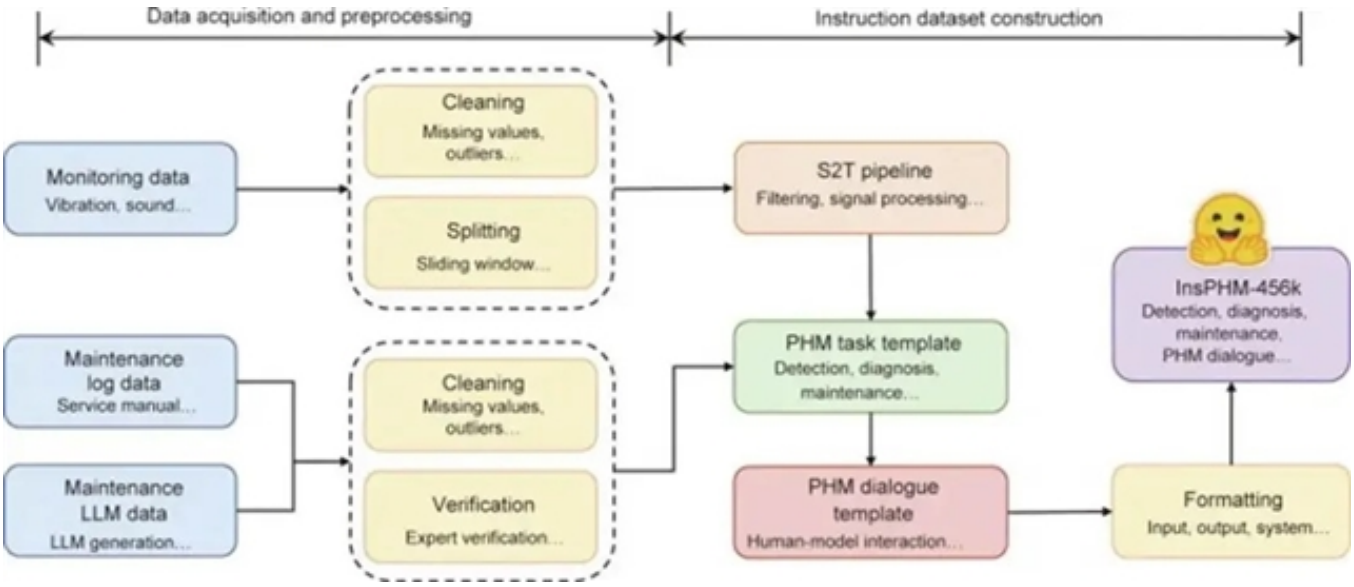


图2.InstPHM-456k的指令数据集构建方法

走向统一智能的PHM新范式

解决如何读懂工业信号之后，更关键的问题是如何让一个大模型具备完成不同PHM任务的能力。通用大语言模型虽然具有较强的语言理解和知识推理能力，但缺乏对故障机理、状态监测和维修知识的系统认知，也难以直接适应高端装备智能运维中的专业任务。

为此，PHM-GPT构建了由知识注入、指令微调和下游应用微调组成的训练与应用框架，逐步将通用大语言模型的能力迁移至故障预测与健康管理领域。其中，知识注入用于强化模型对PHM领域知识的理解；指令微调使模型能够在统一框架下理解并执行异常检测、故障诊断和维修决策等不同任务；面向下游应用的微调则进一步增强模型针对具体装备和实际场景的快速适配能力。与传统PHM方法针对不同设备和任务分别建立专用模型不同，PHM-GPT尝试以一个统一模型承载多类PHM任务，使异常检测、故障诊断和维修决策不再完全依赖彼此独立的模型体系。这种

由多个专用模型向一个统一模型转变的技术路线，使PHM系统开始具备跨任务知识共享和能力迁移的可能，为高端装备智能运维从任务智能向更加统一的领域智能演进提供了新的技术路径。

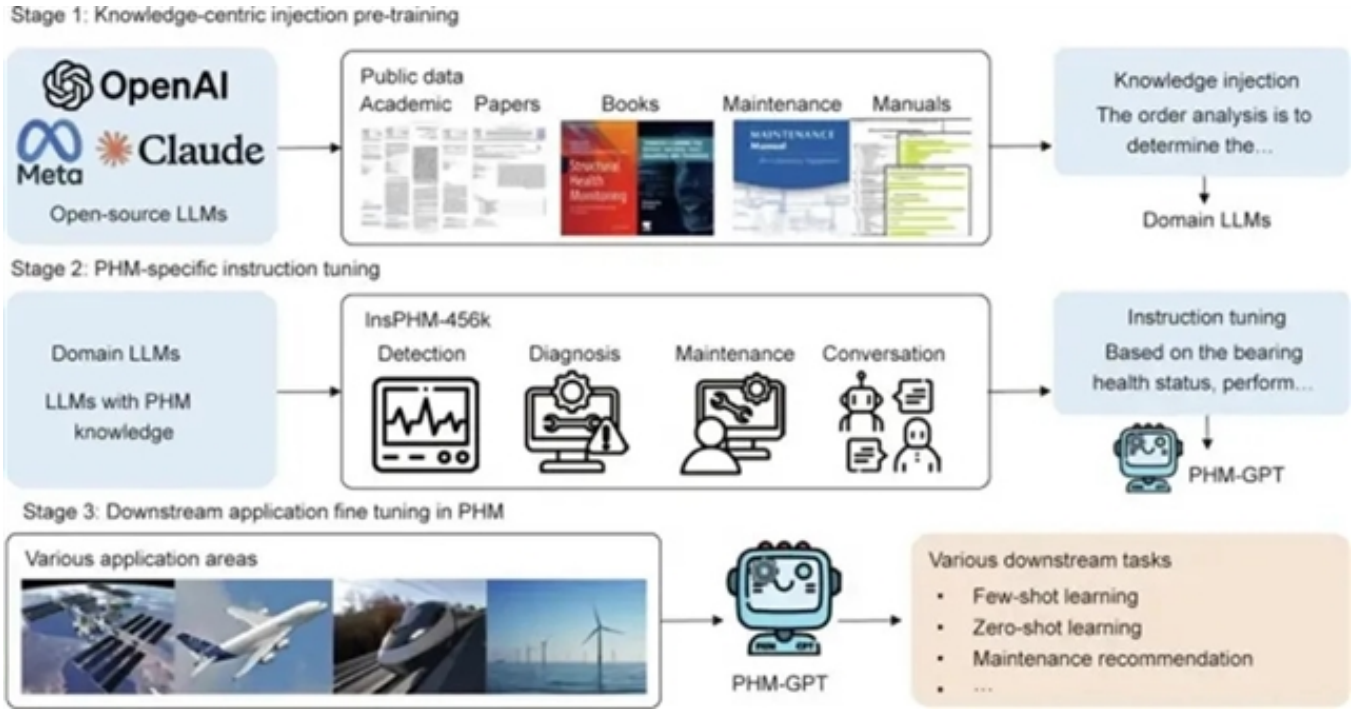


图3.PHM-GPT训练与应用框架

从公开数据走向真实装备验证

研究团队在多个公开轴承和齿轮数据集上对PHM-GPT进行了系统验证，并重点考察模型在不同数据集、不同机械部件、不同运行工况以及不同PHM任务之间的泛化能力。实验结果表明，PHM-GPT能够在统一框架下完成异常检测、故障诊断和维修决策等多类任务，并展现出跨数据集和跨机械部件的知识迁移与泛化潜力。这意味着模型学习到的能力不再完全局限于单一数据集或单一设备，而可以在一定程度上迁移到新的PHM场景之中。

在公开数据集实验基础上，研究团队进一步利用直升机主减速器故障试验数据开展验证，考察PHM-GPT面对复杂真实装备和未知应用场景时的适应能力。相关结果进一步展示了大语言模型由标准数据集向真实装备健康管理场景拓展的潜力，为PHM基础模型在高端装备中的进一步应用提供了实验依据。

从PHM大模型迈向自主运维智能体

PHM-GPT所探索的不仅是利用大语言模型完成某一项故障诊断任务，更重要的是尝试建立一个能够连接装备状态、PHM知识、任务推理与维修决策的统一智能框架。面向未来，高端装备智能运维有望不再局限于单一模型对设备状态进行识别和判断，而是进一步向具备感知、理解、推理、决策与交互能力的PHM智能体演进。PHM-GPT为这一方向提供了基础探索：通过统一多类PHM任务、融合领域专业知识并增强跨场景适应能力，使大模型开始具备围绕装备健康状态开展连续认知、任务推理和决策支持的能力。

随着多模态感知、大模型智能体和具身智能等技术进一步发展，未来PHM系统有望进一步贯通状态感知-故障认知-维修决策-运维执行全过程。届时，智能运维系统不仅需要能够感知装备和诊断故障，还可能进一步通过与物理装备、运维人员和运行环境的持续交互形成闭环，使高端装备智能运维逐步由单点智能和辅助决策走向更加自主的感知、推理、决策与执行。从这一意义上看，PHM-GPT所代表的探索，是PHM从为每一个任务训练一个模型向让一个模型理解多个PHM任务转变的重要尝试，也为进一步探索面向高端装备的PHM基础模型与自主运维智能体提供了新的研究方向。（来源：EngineeringJournals微信公众号）

相关论文信息：https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809925006745

作者：严如强等 来源：《工程》

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转发