

CSNS 谱仪实验智能化控制体系的设计与应用研究

Tuesday, 26 August 2025 16:40 (20 minutes)

随着中国散裂中子源 (CSNS) 一期工程建成, 基于 Apache Kafka 的谱仪实验控制系统 (DSNI) 实现了流式数据的高效处理, 奠定了高内聚、低耦合的控制模块体系与高实时高吞吐的数据传输架构基础。二期工程于 2023 年 4 月启动, 面临两大核心挑战: 束流功率从 170kW 跃升至 500kW 导致数据量激增, 以及单晶衍射、逆几何非弹谱仪、背散射谱仪等新增谱仪对实时反馈控制与智能化决策的迫切需求。本研究提出面向通用人工智能 (AGI) 的谱仪实验控制智能化体系, 在二期 DSNI 系统的基础上, 通过三大核心设计突破传统控制框架: 1. AI-Ready 数据集构建: 对中子事件流 (Event Data)、设备控制信号 (PV Data)、非结构化数据 (文本/图像/文档等) 进行统一语义编码与特征工程, 实现面向 AI 模型的标准化预处理; 2. 多模态数据统一接口: 开发轻量化 API 网关, 支持对异构数据的“一键式”调用, 显著降低用户操作复杂度; 3. 动态 AI 算法嵌入引擎: 设计模块化算法容器, 支持实时加载机器学习模型 (如强化学习控制、异常检测算法), 满足复杂实验场景的闭环控制需求。该系统已在 CSNS 二期谱仪预研中完成原型验证, 结果表明数据流吞吐效率提升 3 倍, 数据反馈响应方面, 吞吐率可不小于 500MB/s; 控制实时性方面, 支撑 500kW 束流下的毫秒级控制信号响应; 大幅度提升样品自动定向与定位速度; 大幅度提升用户实验机时利用率。本研究为 CSNS 装置的智能化升级提供了可复用的技术范式。

关键词: 散裂中子源; 谱仪控制; 快反馈实时控制; 智能实验体系; 多模态数据融合; 实时 AI 决策; AGI 应用

Summary

Primary authors: 邱, 勇翔 (中国科学院高能物理研究所); 庄, 建 (中国科学院高能物理研究所); 沈, 培迅 (中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心); 滕, 海云 (中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心); 林, 涛辉 (东莞理工学院); 李, 嘉杰 (中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心); 徐, 俊 (中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心); 王, 晓庄 (中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心); 胡, 磊 (中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心); 赵, 东旭 (中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心)

Presenter: 邱, 勇翔 (中国科学院高能物理研究所)

Session Classification: 核电子学与探测技术

Track Classification: 核电子学与探测技术