

基于深度学习的 PMT 探测器暗噪声计数率实时异常监测系统

Thursday, 17 July 2025 10:50 (25 minutes)

JUNO 实验采用光电倍增管 (PMT) 阵列进行中微子信号探测。在正常工作状态下, PMT 的暗计数率保持相对稳定。当 PMT 出现异常发光现象时, 会诱发周边 PMT 产生响应, 导致虚假信号 (本底噪声) 的生成。为保障实验数据的可靠性, 监测系统会实时检测各 PMT 的工作状态, 一旦发现暗计数率异常, 将立即关闭异常 PMT, 以避免其对周边探测单元造成干扰。

因此针对这一需求开发了一套融合时空特征的实时异常检测系统。该系统通过整合图神经网络 (GNN) 与长短期记忆网络 (LSTM) 的混合架构, 实现了对 PMT 暗噪声计数率 (DCR) 的精准监测与异常预警。训练阶段首先构建时空协同的统一数据结构, 引入通道级百分位点统计量替代单一阈值; 随后通过 KD 树空间索引实现高效邻域查询, 支持距离阈值与 K 近邻两种拓扑构建方法; 最终设计 LSTM-GNN 混合自动编码器模型。实时检测模块采用双缓存流式处理机制: 设计动态数据接口支持分钟级延迟处理, 通过标准化的数据管道实时获取并处理 PMT 数据; 创新性引入通道自适应阈值机制, 结合历史百分位分布动态调整判定阈值。

该系统在保障时间完整性的前提下实现分钟级延迟响应, 目前系统还在测试阶段, 准备作为 JUNO 监测系统的子系统投入试运行。本研究提出的时空特征融合框架和轻量化实时处理算法, 为大型粒子探测器监测提供了创新解决方案。

Primary author: WU, Yinhui (中国科学院高能物理研究所)

Presenter: WU, Yinhui (中国科学院高能物理研究所)

Session Classification: 人工智能和机器学习的应用