

第二十一届全国科学计算与信 息化会议暨第十二届科研信息 化联盟会议

2025 年 8 月 24 日星期日 - 2025 年 8 月 30 日星期六

长春

摘要集

Contents

Resource Hub 理念及其在 HEPS 科学计算环境中的应用	1
基于闪烁光纤和 SiPM 的毫米级缪子探测器的研制与测试	1
基于低代码平台的科学实验用户服务系统的实施	1
HiHolo: 高性能 X 射线全息重建软件	2
融合分布式计算框架 Ray 实现高通量 XPCS 数据分析	2
基于 LLM 的钓鱼邮件识别智能体	3
JUNO 在线数据处理软件框架	3
Shale-Agent: 一种用于加速科研知识发现的 Text-to-Query 智能体架构	4
面向先进光源的高效 IO 方法研究及进展	4
中子谱仪高性能数据处理框架 DSNI 的设计与实践	4
HEPS-BPIX4 6M DAQ 系统设计与实现	5
基于 Tango 的 LACT 设备与数据获取系统控制集成	5
SPMT DAQ 系统的研究与实现	6
台中中微子实验低温监测及报警系统的实现	7
面向存储系统的异常行为智能检测系统	7
面向大型粒子加速器的 AI-Ready 数据集生成平台的设计与实现	7
应用于 TDAQ 系统的 RDMA 技术研究	8
基于 Foreman 与 Puppet 的大规模计算环境自动化运维系统	8
BESIII 智能化运行控制方案研究	9
自动化渗透测试系统	9
Daisy-BCDI 软件优化进展	10
JUNO DAQ 数据流读出模块的升级与实现	10
基于 juno 实验的实时事例监测方案研究	11

基于原初电离计数法漂移室模型的数据获取软件的研制	11
面向 JUNO 的移动端监测软件的实现	12
JUNO 数据获取系统的高可用研究与升级	12
高能物理科学数据汇交共享服务平台建设	12
基于迁移学习与 Attention U-Net 的同步辐射非人灵长类脑血管图像分割算法研究 . .	13
江门中微子实验慢控值班系统	13
通用天文卫星文件模板生成软件的设计与实现	14
基于 ANN 的光束线优化方法研究	14
CSNS 谱仪实验智能化控制体系的设计与应用研究	15
LHAASO 软件触发与在线数据处理框架升级	16
JUNODAQ 在线监控系统及智能化研究	16
基于机器学习的 HPC 集群资源需求预测研究	17
面向 WLCG 业务的高带宽流量监控架构的设计与实践	17
从构建到封装: HPC-AI 融合下磁约束聚变集成建模中数据 FAIR 的可追溯性研究 . .	17
同步辐射装置报警系统的开发与研究	18
面向高能物理异构计算平台的无认证安全文件共享设计与实现	19
HALF 光束线运动控制系统	19
人工智能在聚变等离子体控制中的应用	20
大模型在高能所信息化中的融合与应用	20
高能物理计算平台统一运维管理	21
中国科学院高能物理研究所异地多园区科研认证系统设计与实践	21
江门中微子实验中 8 英寸 PMT 高压监控系统的实现	22
ChatSOC: 面向高能所网络安全运营的智能体系统	22
BzScope: 高精度计算绝对量级非弹性中子散射谱的新型软件包	22
中子散射实验数据的无参化分析	23
重建中子散射实验绝对强度的中子光学模拟分析系统 Prompt	23
Challenges of the Data Storage at CERN IT	24
北京大学校级计算平台发展及相关系统软件研发	24
运行时效率—从高性能计算机核心部件的利用率说起	24
量子计算在高能物理中的应用	24

上海光源软 X 射线成像算法和方法学发展	24
Daisy: 先进光源上的数据处理软件框架	25
人工智能在聚变等离子体控制中的应用	25
人工智能在 LHAASO 中的需求、现状和前景	25
高能物理领域高质量科学数据体系建设与思考	25
JUNO DAQ 的设计与实现	25
大科学装置与科学数据中心网络安全联防联控平台	25
高压中子散射实验样品自动对准控制技术研究	25
X 射线自由电子激光装置科学数据管理软件建设与展望	26
AI@IHEP-CC-人工智能赋能高能物理的实践和展望	26
通用大模型与领域大模型的发展研究	26
Dr. Sai 物理分析智能体系统	26
AI 智能体和 MCP 的简介及应用	27
高能物理大规模数据传输技术研究和应用	27
可视化技术的设计及其在高能物理实验中的应用	27
Latex Copilot	27
CSNS2 期 DAQ 与控制系统设计概况	28
正电子技术在核材料缺陷分析领域的应用	28
软硬协同：国产异构算力助力高能物理研究	28
新型人工智能存储架构与实践	28
开幕式	28
科研范式“芯”需求——AI 时代算力、存储发展趋势	28
AI 编程助手：Claude Code 的基本原理和使用方法	28
AI 在 LHAASO 中伽马质子鉴别的应用	29
HepAI-高能物理人工智能平台	29
HERD 计算平台	29
面向高能物理的科学家工作台	29
高性能计算在等离子体尾波加速中的应用	29
科学计算软件新平台（XPT）研发进展	29
原初引力波探测相关科学及阿里实验最新进展	30

BESIII 离线软件系统研究与升级	30
GenAI 技术赋能网络安全的趋势洞察与实践思考	30
X 射线自由电子激光装置数据采集软件建设进展和展望	30
磐石·科学基础大模型	30

科学计算平台与应用 / 1

Resource Hub 理念及其在 HEPS 科学计算环境中的应用

作者: 庆宝胡¹

¹ 高能所

相应作者: huqb@ihep.ac.cn

“Resource Hub”通常指一个集中管理计算资源（如服务器、存储、网络、数据库等）的平台，核心理念是资源池化，按需分配。然而随着应用和计算紧密结合，单一的资源按需分配已无法满足当前的应用分析需求。以数据为基础，用户为中心，融合定制化的数据分析环境，在原有按需分配的基础上，不断丰富分析服务场景，实现资源的认证申请和认证访问，将成为新的 resource hub 设计理念。

TORCH 科学计算平台，是面向光子科学和中子科学等学科领域的异构资源供给和综合数据处理平台。该平台基于虚拟化技术，搭建数字化算力底座，和 HEPS 光源计算需求相结合，提供综合计算服务。当前平台已支持 OAuth2.0 认证机制，支持跨域资源管理，支持跨用户身份信息互信，支持异构资源申请，支持服务用户间共享访问，支持 Linux、window 多操作系统环境，支持 CLI、WEB-GUI、Remote-Desktop 等多种服务方式，满足网页交互式、桌面交互式、作业批处理等多种计算模式需求，当前已提供 Jupyterlab、vscode、volia、xfce 等应用，面向 HEPS 一期调光测试阶段提供计算服务。

Summary:

核电子学与探测技术 / 2

基于闪烁光纤和 SiPM 的毫米级缪子探测器的研制与测试

作者: 栋刘¹; 艳牛²; 博王²; 子奇黄²; 小帅秦^{None}; 存峰冯²

¹ Shandong University

² 山东大学

相应作者: fengcf@sdu.edu.cn, wangbo_ep@mail.sdu.edu.cn, nyan@mail.sdu.edu.cn, dliu@sdu.edu.cn

宇宙线缪子作为重要的“天然探针”，已在粒子物理实验中得到广泛使用。为实现宇宙线缪子径迹的高精度探测，我们成功研制出了基于 SiPM 和闪烁光纤的位置灵敏探测器，该探测器包含 8 个探测大层，每层有效面积为 400mm×200mm。每个大层内部由 2 层 X 方向和 2 层 Y 方向闪烁光纤垫构成，形成位置灵敏探测单元，闪烁光纤直接耦合到 3mm×3mm 尺寸的 SiPM 阵列上，每大层包含 128 个 X 方向通道和 64 个 Y 方向通道，配备独立 FPGA 单元，负责实时采集并预处理信号，再汇总至中央开发板完成数据采集。

本报告将重点介绍该位置灵敏探测器的设计原理、制作工艺，以及性能测试过程。测试结果表明，该探测器具备高探测效率，位置分辨率~1mm，适用于宇宙线缪子成像和带电粒子位置探测。

Summary:

科研信息化管理与系统 / 3

基于低代码平台的科学实验用户服务系统的实施

作者: 文帅王¹

合作者: Hongmei Zhang²; Ge 欧歌²

¹ *Institute of High Energy Physics* 高能所² 高能所

相应作者: hmzhang@ihep.ac.cn, wangws@ihep.ac.cn, oug@ihep.ac.cn

国家重大科技基础设施是科技创新的“国之重器”，是开展多学科交叉研究、突破关键科学问题的核心工具。中国科学院重大科技基础设施共享服务平台 (<https://lssf.cas.cn>) 适用于中国科学院多个重大科技基础设施，科研人员可以通过该平台进行课题申请，可在线预约实验机时。为了进一步给实验用户提供全周期服务支持，为科研人员创造更便捷的实验条件，我们基于低代码平台开发了科学实验用户服务系统，提供了课题申请、在线培训、实验预约、来访申请、自助终端等服务，减少行政流程消耗的时间成本，帮助用户高效完成实验，加速科研成果的产生与转化，本文介绍科学实验用户服务系统的实施详情。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 5

HiHolo: 高性能 X 射线全息重建软件

作者: Jingyan Shi¹; 家瑞胡 N^{one}; 斌冀²¹ *IHEP*² 高能所

相应作者: jibin@ihep.ac.cn, shijy@ihep.ac.cn, jrhu@ihep.ac.cn

基于传播的 X 射线相位衬度成像是同步辐射设施中新兴且应用广泛的成像技术，可实现高分辨率 3D 结构重建。然而，从全息图中恢复定量相位信息所需的相位恢复过程仍然是一个重大挑战。现有的软件解决方案面临性能瓶颈和硬件支持方面的限制等问题。在此，我们基于 CUDA-MPI 架构开发了高性能的全息系统软件 HiHolo，并提出了几种改进的迭代相位检索算法，为实现高质量的全息重建提供了有效的解决方案。实验结果表明，与当前主流软件相比，HiHolo 的性能提高了 24%-37%，并且在多 gpu 系统中表现出接近线性的可扩展性。联合探针的 AP 算法通过同时优化目标和探针波场，有效地减少了传统空波束校正中的伪影；EPI 方法通过计算外推技术提高有限视场的空间分辨率；此外，并行 IRP 算法优化了三维重建的效率，与串行版本相比，实现了约 6-14 倍的加速。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 6

融合分布式计算框架 Ray 实现高通量 XPCS 数据分析

作者: 建利刘 N^{one}; 浩凯孙¹; 誉胡¹¹ 高能所

相应作者: liujianli@ihep.ac.cn, sunhk@ihep.ac.cn, huyu@ihep.ac.cn

X 射线光子相关谱技术因其在探测纳米尺度动力学行为方面的独特优势，在材料科学、软凝聚态物理和生物物理等领域应用日益广泛。然而，随着同步辐射光源亮度的提升和探测器技术的发展，XPCS 实验产生的海量时间序列数据对后续计算分析，特别是自相关函数的计算，提出了严峻挑战。传统单机或简单并行化方法在处理大规模、高帧频 XPCS 数据时，面临着计算效率低下、扩展性不足和资源利用率不高等瓶颈问题。为应对这一挑战，本研究提出并实现了一种基于分布式计算架构的创新解决方案，其核心是采用 ray 框架将 XPCS 的大量非相关计算进行分布式处理。利用 Ray 的 Actor 模型封装核心计算任务（如 mutiltau 相关算法），通过其分布式任务调度能力，实现了计算任务在集群资源（包括 CPU 和 GPU）上的动态分配

与负载均衡。实际应用表明，基于 Ray 构建的分布式 XPCS 处理系统能够线性扩展计算能力，大幅缩短数据处理时间（相比单机处理速度提升数十倍至百倍量级），并显著提升计算资源的整体利用率。

Summary:

科研信息化管理与系统 / 8

基于 LLM 的钓鱼邮件识别智能体

作者：新阳苑¹

¹ 中国科学院高能物理研究所

相应作者：xyyuan@ihep.ac.cn

随着数字化办公的普及，钓鱼邮件已成为网络攻击的主要载体。因存储着大量核心知识产权、未公开研究数据、涉密项目信息及人员敏感数据等，科研机构成为重点网络攻击目标，因此，构建具备多模态信息融合与深度推理能力的智能化钓鱼邮件识别机制，对提升科研机构网络安全防护水平、保障科研活动的连续性与安全性具有重要意义。

传统钓鱼邮件识别方法多依赖于单一模态分析，存在识别维度有限、复杂场景适应性弱等问题。针对这一局限性，本研究将思维链 (Chain-of-Thought) 技术与大语言模型 (Large Language Model, LLM) 结合构建了具有工具调用能力和强大推理能力的钓鱼邮件识别智能体，能够将复杂的识别任务拆解为结构化的推理步骤，并在关键节点通过工具调用补充所需的多模态信息，提升判断的置信度。

该智能体采用四模块架构，其中信息增强与推理决策为核心模块。LLM 对输入模块预处理后的邮件数据进行初步分析，生成包含置信度的判断结果，并决策是否调用信息增强模块；信息增强模块则提供用于获取开源威胁情报、网站截图与网站代码三类跨模态特征信息的工具，用于增强分析依据；随后，推理决策模块融合初步结论与获取的增强信息进行综合研判，输出最终的识别结果。

本研究不仅能够显著提升识别准确率与结果可解释性，还有效缓解了 LLM 在特定领域知识覆盖不足及信息时效性滞后的问题，为钓鱼邮件识别提供了一种新的技术路径，为提升网络安全防护能力提供了理论支撑与实践参考。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 9

JUNO 在线数据处理软件框架

作者：Fei Li¹; Xiaolu Ji²; 叙张³

¹ EPC, IHEP, Beijing, China

² Institute of High Energy Physics, CAS

³ 高能所

相应作者：jixl@ihep.ac.cn, zhangxu00@ihep.ac.cn, lifei@ihep.ac.cn

江门中微子实验 (JUNO) 的物理目标是精确测定中微子振荡参数，确定中微子质量顺序，并对超新星中微子进行观测等。为支撑上述科学目标，JUNO 的在线系统需要承担实时压缩数据量，监测超新星等任务。实验团队开发了在线事例辨别、超新星爆发监测等在线算法。为此，我们设计并实现了一套面向在线场景的数据处理软件框架，以实现对上述在线算法的调度与资源管理。本报告将系统阐述 JUNO 在线数据处理软件框架的总体设计与具体实现。

Summary:

人工智能与应用 / 10

Shale-Agent: 一种用于加速科研知识发现的 Text-to-Query 智能体架构

作者: 杨易 N^{one}; 鹏胡¹; 斌斌李²; 亚康李¹

¹ 高能所

² 中国科学院高能物理研究所

相应作者: yiyang@ihep.ac.cn, hup@ihep.ac.cn, liyk@ihep.ac.cn, bbli@ihep.ac.cn

现代科学研究中, 从海量非结构化文献中高效提取与整合关键数据面临巨大挑战。以中国散裂中子源的页岩孔隙结构研究为例, 跨多篇论文的参数比较分析过程依赖于人工查询, 其过程繁琐且效率低下。为解决此问题, 本文设计并实现了一个两阶段智能体系统: 首先, 利用大语言模型通过结构化指令模板, 将文献中的实体与关系抽取为 JSON 格式并存入数据库; 其次, 构建多层解耦的查询流程, 通过意图分类、查询优化与自适应结果生成, 实现对自然语言查询的精准响应。系统成功将非结构化文献转化为结构化知识库, 实现了对复杂自然语言查询的准确响应。实验表明, 关键参数提取准确率达 95% 以上, 将跨文献数据检索与对比的平均耗时从数小时级缩短至秒级。本研究证实了所提出的 Text-to-Query 智能体架构的有效性, 为特定科研领域的知识发现提供了一款高效、精准的自动化数据整合与分析工具。

Summary:

科学数据存储与管理 / 11

面向先进光源的高效 IO 方法研究及进展

作者: 世园符 N^{one}; 建利刘 N^{one}; 浩凯孙¹; 磊王 N^{one}; 誉胡¹

¹ 高能所

相应作者: liujianli@ihep.ac.cn, wanglei91@ihep.ac.cn, sunhk@ihep.ac.cn, huyu@ihep.ac.cn, fusy@ihep.ac.cn

随着同步辐射光源实验规模的持续扩大, 实验产生的数据量迎来急剧的增长, 导致数据分析过程中数据读取瓶颈问题日益凸显, 严重影响了科学计算的整体性能和效率。针对该问题, 设计实现三级优化方法: 首先, 设计实现了通用化数据 IO 抽象层, 屏蔽底层数据源与格式差异, 集成了并行异步等优化方法, 并向应用提供了统一易用的数据访问接口; 其次, 设计实现了数据流服务平台, 构建了分布式内存缓存池, 打通探测器至计算节点的直连通道, 规避传统落盘再读导致的 I/O 瓶颈; 最后, 为进一步优化数据流传输效率, 实现了领域定制的序列化引擎, 设计了专用二进制编解码方法, 显著提升数据流通效率。本方法可有效加速科学计算, 具备为前沿科研提供高速数据供给的能力。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 13

中子谱仪高性能数据处理框架 DSNI 的设计与实践

作者: 海云滕¹; jian Jian ZHUANG¹; 嘉杰李 N^{one}; Peixun Shen²; 勇翔邱³; Xiuku WANGN^{one}; 晓庄王¹

¹ 高能所

² IHEP

³ 中国科学院高能物理研究所

相应作者: qiuyx@ihep.ac.cn, zhuangj@ihep.ac.cn, wangxk@ihep.ac.cn, wangxiaozhuang@ihep.ac.cn, shenpx@ihep.ac.cn, lij@ihep.ac.cn, tenghy@ihep.ac.cn

中国散裂中子源 CSNS 近年来束流功率逐步提升, 新建谱仪也在规模与数量上得到迅猛发展。尤其各种新型实验方法的应用, 不仅数据处理环节的复杂度和性能瓶颈越发凸显, 并且与实验控制的即时交互要求也越来越高。针对这一变化趋势, CSNS-中科大联合开发团队从构架上对现有的数据获取与控制系统做彻底革新, 为下一代中子谱仪的数据处理与实验控制研究高性能的通用化技术方案。经过对中子谱仪的运行模式和数据流特征分析, 新方案选择基于数据驱动的分布式数据流处理框架, 在确保系统稳定性和冗余性的基础上, 达到高并发高吞吐的传输性能。同时在此基础上引入同步标签的设计, 实现了数据的高效异步处理和同步聚合, 打通实验控制与数据处理之间的即时反馈。该架构已经成功应用于多条合作谱仪的建设, 并在迭代升级中逐步扩展了完备的功能模组, 为诸多谱仪装置提供了各种实验方法与运行模式的重要支持。

Summary:

核电子学与探测技术 / 14

HEPS-BPIX4 6M DAQ 系统设计与实现

作者: 宣政杨¹; Xiaolu Ji²; Kejun ZHU³

¹ 中国科学院高能物理研究所

² Institute of High Energy Physics, CAS

³ 高能所

相应作者: zhukj@ihep.ac.cn, yangxz@ihep.ac.cn, jixl@ihep.ac.cn

HEPS-BPIX4 6M 是高能物理研究所正在研制的用于高能同步辐射光源 (HEPS) 的单光子计数型像素探测器, 其 192 Gbps 的最大设计带宽给数据获取系统 (DAQ) 带来了全方位的挑战。考虑到 HEPS-BPIX4 6M 体积较小, 光源线站的空间有限, 轻量级 DAQ 易于整机灵活部署、维护以及快速定制。为满足高性能指标和高集成度的要求, 设计并实现了 HEPS-BPIX4 6M 单机异构 DAQ 系统。

HEPS-BPIX4 6M DAQ 可按功能划分为数据流和在线软件两部分。数据流负责数据的读出、组装、处理、转发和存储; 在线软件负责运行控制、数据流监控和信息发布, 并提供 GUI。面对高带宽实时数据处理需求, 设计实现了基于 GPU 的在线处理模块, 优化后在 HEPS-BPIX4 6M DAQ 成功集成。结果表明, 基于 NVIDIA A30 GPU 的在线处理模块功能正确, 数据处理效率约为 Intel Xeon 6326 单核 CPU 的 35 倍。

HEPS-BPIX4 6M DAQ 在搭载两组 RAID5 的 Dell PowerEdge R760 服务器上部署。根据测试结果, 服务器在双路 RAID 5 同时写入时, 写入速度超过 20 GB/s。此外, 根据 HEPS-BPIX4 6M DAQ 数据流的性能评估结果, 单台服务器的资源能够满足 DAQ 在 192Gbps 读出带宽下的需求, 验证了 HEPS-BPIX4 6M DAQ 的可行性。

目前, HEPS-BPIX4 6M DAQ 所有核心功能均已完成开发, HEPS-BPIX4 6M 在 HEPS 光束线成功部署, 探测器系统能够以 100 Hz (19.2Gbps) 下稳定运行, 满足 2025 年性能指标。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 15

基于 Tango 的 LACT 设备与数据获取系统控制集成

作者: 晁黎¹; 匡皓顾¹; 斯马¹; 小川谢 N^{one}

¹ 高能所

相应作者: gumh@ihep.ac.cn, masi@ihep.ac.cn, xiexc@ihep.ac.cn, lihuang@ihep.ac.cn

LACT (Large Array of imaging atmospheric Cherenkov Telescope) 是由 32 台 6 米口径成像大气切伦科夫望远镜组成的超高能伽马射线观测阵列, 建成后将在角分辨率与灵敏度方面达到国际先进水平。首台望远镜计划于 2025 年投入观测运行。该类大型实验装置对控制系统与数据采集 (DAQ) 系统的协同效率提出了更高要求。

随着实验技术的发展, 控制与 DAQ 系统之间的集成程度不断提高。现代实验对系统响应速度、数据精度和操作灵活性的需求日益增强, 推动了控制与采集系统一体化设计的发展。本文围绕 Tango 控制框架, 分析其在控制系统与 DAQ 系统集成中的应用优势和技术实现方式。

Tango 是一种分布式、面向对象的控制框架, 具备模块化结构与良好的可扩展性, 适用于复杂科学装置的分层控制。通过统一的设备接口, 不同类型的控制单元与采集模块可协同运行, 实现集中管理与数据同步。该方式简化了系统设计, 减少了通信延迟和数据冗余。

本文结合工程实践, 验证了基于 Tango 的系统在数据流管理、设备控制与系统稳定性方面的良好表现。系统可适应多任务并行运行需求, 并支持长期稳定工作, 显著提升实验效率和数据质量。

综上所述, 基于 Tango 框架的控制与 DAQ 系统集成方案, 具备良好的灵活性与适应性, 为高性能实验平台的构建提供了可靠的技术基础。

Summary:

核电子学与探测技术 / 16

SPMT DAQ 系统的研究与实现

作者: 水涵张¹

合作者: Xiaolu Ji²

¹ 高能所

² Institute of High Energy Physics, CAS

相应作者: zhangshuihan@ihep.ac.cn, jixl@ihep.ac.cn

江门中微子实验 (Jiangmen Underground Neutrino Observatory, JUNO) 建设在广东省江门市, 是一个多物理目标的实验。为了精确测量中微子质量顺序和振荡参数, 实验采用了一个 2 万吨低本底、高透明度的液体闪烁体探测器。JUNO 探测器系统由中心探测器、水切伦科夫探测器和顶部径迹探测器组成。其中, 中心探测器作为 JUNO 的核心探测单元, 包含 17612 只 20 英寸光电倍增管 (Large Photomultiplier Tube, LPMT) 和 25600 只 3 英寸的光电倍增管 (Small Photomultiplier Tube, SPMT)。针对 JUNO-SPMT 数据获取系统面临的 25,600 个高密度通道的挑战, 本研究重点解决了大规模系统的数据获取、实时监测与异常诊断等关键技术难题。

在 JUNO 安装测试阶段, 为了验证与前端电子学的配置和读出接口的可用性, 针对 SPMT 数据获取系统的特性, 开发了一个具备完整功能的单机版原型系统。该系统不仅实现了基本的数据获取功能、且集成了面向大规模通道的实时数据质量监测, 为系统功能验证和性能评估提供了可靠的技术支持。同时, 作为 JUNO-SPMT 读出链路故障检测和诊断的可靠工具, 提供了友好的用户界面, 实现了运行控制、电子学配置、数据流状态监控等核心功能的一体化集成。同时, 为满足大规模系统数据展示的实时性需求, 通过并行计算优化, 确保了系统在复杂运行环境下的高效稳定运行。

在完成基本功能验证后, 成功将 SPMT DAQ 系统集成至 JUNO 整体数据获取系统架构中, 通过定制化的数据读出和处理插件, 实现了与 LPMT DAQ 系统的联合运行。目前, SPMT DAQ 系统已经顺利完成 10 次避光测试, 系统运行稳定, 数据获取系统性能达到预期目标。本文将对系统的整体设计思路、关键技术实现以及性能测试结果进行详细阐述。

Summary:

核电子学与探测技术 / 17

台中微子实验低温监测及报警系统的实现

作者: 生恒黄¹; 梅叶²; 小川谢²; 晃黎²; 桂鸿黄¹

¹ 五邑大学

² 高能物理研究所

相应作者: huangsh@ihep.ac.cn

台中微子实验 (TAO) 是江门中微子实验 (JUNO) 的近点实验。其建设目的为 JUNO 提供精确的参考能谱, 消除反应堆中微子能谱的模型依赖, 提高中微子质量顺序测量灵敏度。台中微子实验低温监测及报警系统的建设, 旨在通过精准把控探测器低温及内外部环境温度, 保障实验数据的精确采集与设备运行安全, 为实验的稳定开展提供核心支撑。系统以“精准实时监测、智能高效报警”为目标, 基于 EPICS 架构构建核心框架, 依托 IOC 系统实现探测器核心温度参数的实时获取; 采用 PT100 铂电阻配合 GM10 控制器完成环境温度采集, 形成对探测器核心及内外环境的全面监测覆盖。数据处理遵循“采集 - 存储 - 可视化”流程, 实时采集的温度数据同步存入分布式数据库, 同时推送至 Web 平台, 经处理后以直观形式呈现, 支撑历史追溯与趋势分析。报警机制基于多级阈值判据, 当监测值超出安全范围时, 通过企业微信 API 与 Web 平台双路径触发告警, 确保异常信息及时触达运维人员。该系统通过构建全链条温度管控体系, 为实验设备的稳定运行与数据质量的精准保障奠定了坚实基础。

Summary:

科学数据存储与管理 / 18

面向存储系统的异常行为智能检测系统

作者: 思琦侯^{NONE}

相应作者: housq@ihep.ac.cn

分布式文件系统如 Lustre 是现有的科学计算中的重要基座, 随着存储容量和用户业务量不断扩大, 存储系统的负载持续升高。单一用户的异常读写请求往往容易导致存储系统的卡顿, 影响整体的用户体验。传统的异常处理通常由运维人员浏览日志, 排查定位异常用户或异常读写请求, 最后实施故障排除策略恢复系统访问速度。由于日志数据庞大, 该传统的异常处理模式存在异常定位困难且处理滞后的问题, 极大影响了用户的使用体验。随着人工智能技术的发展, 深度学习逐渐被应用在软件运维过程中。本项目搭建面向存储系统的异常行为智能检测系统, 涉及用户行为数据采集、时序数据处理、模型搭建及训练和部署验证等过程。该系统利用深度学习技术, 将用户读写信息转换为时间序列数据, 通过搭建长短时记忆网络, 使用无监督学习的方式训练模型。该方法在 Lustre 的 MDT 和 OST 上分别进行训练验证, 异常识别精确率得到了提升, 异常误报率下降, 经验证, 该方法能够有效降低运维人员的错误定位时间成本, 提升科学计算系统中文件存储系统的异常处理效率。

Summary:

人工智能与应用 / 19

面向大型粒子加速器的 AI-Ready 数据集生成平台的设计与实现

作者: 伟鲍^{NONE}; 晓含 (Xiaohan) 卢 (Lu)¹; Sinong Cheng²; Yi Jiao¹; Yongcheng He¹; Weiling 黄蔚玲¹; Yuliang Zhang²

¹ 高能所² *Institute of High Energy Physics*

相应作者: heyongcheng@ihep.ac.cn, baowei@ihep.ac.cn, chengsn@ihep.ac.cn, luxh@ihep.ac.cn, zhangyl@ihep.ac.cn, huangwei@ihep.ac.cn, jiaoyi@ihep.ac.cn

随着人工智能技术在科学装置领域的深入应用，如何高效实现大型粒子加速器的智能调节、智能故障诊断及预测性维护，正在成为研究热点。但是在实际应用中，算法与数据之间存在不容忽视的挑战：加速器系统数据普遍存在异构性强、多模态耦合、时序特征复杂、因存储分散导致的数据孤岛效应、以及数据协议与标准的缺失，成为智能算法模型有效部署与迭代的核心障碍。

针对上述挑战，本文面向高能同步辐射光源（HEPS）和中国散裂中子源（CSNS），设计并实现了一个遵循 FAIR 原则的 AI-Ready 数据集生成平台——FARAD。该平台采用任务驱动的微服务架构，集成了数据清洗、多源时序对齐、特征工程及融合等核心功能模块，打通加速器数据从原始采集到算法训练的全链路流程。本平台基于 MongoDB 与 Kafka 构建高效的数据采集与存储体系，结合 Pandas 与 NumPy 实现数据清洗与特征工程。在数据融合方面，系统通过 RESTful API 打通异构系统，结合统一数据模型、元数据驱动和语义对齐，提升多模态数据集成效率，支持标准化与血缘追踪。平台采用 Docker 容器化部署，具备模块解耦与协议兼容能力，支持弹性扩缩容和快速迭代，能够适配 HEPS、CSNS 等加速器装置及主流 AI 框架，具备良好的扩展性与持续演进能力。FARAD 从根源上提升了数据质量与可用性，降低人工智能模型在加速器场景中的应用门槛。

Summary:

核电子学与探测技术 / 20

应用于 TDAQ 系统的 RDMA 技术研究

作者: Sheng DONG¹

¹ *IHEP, CAS*

相应作者: xuchang@ihep.ac.cn

高能对撞机亮度的持续攀升，为实时数据处理系统带来了前所未有的挑战。高亮度 LHC 等装置产生的 TB/s 级数据率，已超传统 TCP/IP 协议的处理极限，后者因固有的数据拷贝与内核开销，正成为触发与数据获取系统（TDAQ）的主要性能瓶颈。为了应对这一挑战，TDAQ 架构已转向采用内核旁路（Kernel Bypass）技术，特别是基于融合以太网的远程直接内存访问（RDMA over Converged Ethernet, RoCE）。这种先进的网络范式通过实现“零拷贝”和硬件卸载，将 CPU 从繁重的网络任务中解放出来，从而为未来高能物理的实时分析和发现提供了关键的技术支撑。该技术已在 ATLAS 等多个实验中完成初步设计与评估，但其深度应用与优化仍有巨大探索空间。面向未来环形正负电子对撞机（CEPC）的更高要求，为 CEPC 关键技术预研提供重要支撑，我们初步实现了基于 FPGA 的高性能 RDMA 传输链路以及主要性能评估，报告将详述传输协议核心设计以及吞吐率/传输延迟等性能测试结果，并展望其在下一代高能物理实验中的应用前景。

Summary:

科学计算技术 / 21

基于 Foreman 与 Puppet 的大规模计算环境自动化运维系统

作者: 晓飞闫¹

¹ *IHEP*

相应作者: yanxf@ihep.ac.cn

摘要:

随着计算集群规模的扩大和架构复杂度的提升,传统运维模式面临效率低下、人工成本高等挑战。本文提出 xMan 系统,一种基于 Foreman 与 Puppet 的自动化安装部署配置解决方案,旨在实现多站点、异构环境下的高效运维。xMan 通过 PXE 启动和 Kickstart 模板实现操作系统的全自动化安装,支持 CentOS、AlmaLinux、Ubuntu 等主流系统;结合 Puppet 的声明式配置管理,提供覆盖用户管理、存储 (Lustre/EOS)、监控 (Ganglia/NRPE)、计算调度 (Slurm/Condor) 等场景的模块化模板。系统采用负载均衡架构优化 Puppet 服务器性能,支持批量主机操作 (如 IPMI 远程控制) 和参数化配置,显著提升部署速度与容错能力。实际部署表明, xMan 已成功管理高能物理研究所 (HEPS)、拉索 (LHAASO) 等站点超过 4000 台主机,减少人工干预 50% 以上,为大规模计算环境提供了可扩展、高可靠的自动化运维实践。

关键词: 自动化运维; Foreman; Puppet; Kickstart; 计算集群; 负载均衡

Summary:

人工智能与应用 / 22

BESIII 智能化运行控制方案研究

作者: Kejun ZHU¹; 胡黄腾 N^{one}; Xiaolu Ji²

¹ 高能所

² Institute of High Energy Physics, CAS

相应作者: hthu@ihep.ac.cn, jixl@ihep.ac.cn, zhukj@ihep.ac.cn

面对 BESIII 实验长期运行中设备维护与数据质量保障的挑战,智能化运行控制系统的建设日益凸显其重要性。当前运行控制面临三大主要挑战:智能化水平不足、数据高度分散依赖人工质量检查,以及 DAQ 和 DCS 系统交互较少造成值班操作繁复。这些问题导致需要大量人工分析判断,难以迅速定位问题根本原因。

针对这些挑战,本文设计了一种基于多源数据融合与智能分析的 BESIII 智能化运行控制方案。在数据采集与预处理环节,系统从探测器、DAQ 系统和 DCS 系统获取数据并进行标准化处理,实时监控并对所有数据源进行统一展示,使值班人员能够全面掌握系统运行状态。在异常检测方面,系统采用了分层检测策略:第一层利用卡方距离、余弦相似度等统计方法进行快速筛选,识别潜在异常;第二层对筛选结果应用 XGBoost 和半监督学习等机器学习技术进行精确分类,提高检测准确率。异常分析环节将检测到的异常数据与当前运行状态和历史信息整合,通过检索增强生成 (RAG) 技术结合大语言模型进行深入分析,自动生成诊断报告并提供处理建议。

预期该系统将通过多源数据整合和智能异常检测分析,显著减轻值班人员工作压力,提高异常处理效率。有望有效提升实验运行的稳定性和数据质量,为高能物理实验提供智能化运行控制的新思路。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 23

自动化渗透测试系统

作者: 明宇闫 N^{one}

相应作者: myyan@ihep.ac.cn

渗透测试是一种安全评估方法。该方法在不对目标系统造成影响的前提下,通过模拟黑客的攻击对目标系统进行安全评估。它能够有效地识别漏洞、预防网络攻击,进而提升目标系统

的安全性。然而，传统的渗透测试存在高度依赖人工、测试工具零散、多样化以及测试流程繁琐复杂等问题，这导致渗透测试的过程大量消耗人力和时间成本。鉴于以上问题，本文设计了基于自动化渗透测试的系统，该系统包括自动化渗透测试框架和渗透测试引擎两部分。其中，自动化渗透测试框架中集成了多种渗透测试工具，渗透测试引擎中包含了依据网络状态生成攻击路径的模块。通过渗透测试引擎模块控制管理测试的整个流程，并以报告的形式反馈测试结果。该系统有效的降低了对人工的依赖程度，同时将重复的流程智能化、系统化，极大的降低了时间成本。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 24

Daisy-BCDI 软件优化进展

作者：磊王^{None}; 建利刘^{None}; UNKNOWN FU Shiyuan^{None}; 浩凯孙¹; 誉胡¹

¹ 高能所

相应作者: fusy@ihep.ac.cn, sunhk@ihep.ac.cn, huyu@ihep.ac.cn, liujianli@ihep.ac.cn, wanglei91@ihep.ac.cn

基于高能所自研的 pyCXIM 软件专为 HEPS-BCDI 而设计，但该软件目前有三方面需要完善：(1) 软件只能使用命令行运行，没有友好的用户界面，使用较为繁琐；(2) 二维及三维重建时，只能基于 torch 在单 GPU 上进行计算，不能使用多 GPU 做并行计算，这大大降低了软件的可扩展性和计算效率；(3) 预处理时，HDF5 文件的读入速度较慢，在全处理流程时间中占比过高。针对以上三个问题，我们开发了基于 PyQt 的用户界面，用户的使用会更加流畅；之后使用线程池完成了单节点多卡的并行部署，在双卡节点上验证了正确性，速度提升 100%；同时，使用 Numba 进行了 IO 读入的提速，经过实际数据对比，加速比为 52.17%，对于将来 B4 线站更大规模的 BCDI 数据，该项优化会有更明显的加速效果。

Summary:

针对 Daisy-BCDI 软件的优化进展介绍

核电子学与探测技术 / 25

JUNO DAQ 数据流读出模块的升级与实现

作者：超陈¹

¹ 高能所

相应作者: chenchao@ihep.ac.cn

江门中微子实验 (JUNO) 旨在测量中微子的质量顺序和精确测量中微子的振荡参数。该实验的数据获取 (DAQ) 系统需要完成前端电子学超过 40 GB/s 的物理数据的读出、组装、在线处理和存储。其中，读出模块作为数据流软件的第一级，主要任务包括原始数据的网络读出、检查、分片打包和一级组装。

为了同时兼容有触发和无触发的数据组装，原先的读出模块采用了基于数据时间戳打包的预处理方案——将不同类型的数据按照固定时间间隔切分成时间片，这样就可以将相同时间的数据片数据组装成全通道时间片数据进行在线处理。但是，固定间隔的时间片策略在真实环境中，可能会导致一部分时间片包含大量的事例，造成处理超时甚至内存溢出等问题。为了应对该问题，本次升级增加了进行能够进行全局的动态时间分片决策的时间片管理模块，并为读出模块设计并实现了一套新的基于事件总线的两级处理架构。新设计的读出模块在前级处理中提取时间信息并发送给时间片管理模块进行集中式的动态长度分片，后级处理则根据分片决策完成分片和一级组装的过程。此外，为了应对异常通道，进一步提升软件高可用性，本次升级新增了通道管理模块，提供了内外一致的通道增加和删除的接口，实现了异常通道

的动态删除和恢复。

目前新版本的读出模块已经发布并投入了 JUNO 现场的物理取数，相比于旧版本的读出模块，其动态的时间分片策略为系统带来了更高的稳定性。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 26

基于 juno 实验的实时事例监测方案研究

作者: UNKNOWN 张水涵¹; Xiaolu Ji²; 浩王¹

¹ 高能所

² *Institute of High Energy Physics, CAS*

相应作者: zhangshuihan@ihep.ac.cn, jixl@ihep.ac.cn, wangh01@ihep.ac.cn

DP 作为江门中微子实验 (JUNO) 在线事例处理的核心子系统, 负责实时处理前端电子学系统每秒 40GB 量级的原始数据, 执行在线事例分类与数据压缩等关键任务。其事例分类功能可为事例添加标签, 并基于标签进行波形事例压缩, 将数据传输带宽有效压缩至 100MB/s 以内。然而, 这也导致压缩后的存盘数据无法完整反映数据处理过程中的原始状态信息。为此本研究设计并实现了一套事例监测系统, 通过实时捕获并分析 DP 原始事例数据, 并通过前端界面进行事例级信息展示, 为系统高效调试与稳定运行提供实时诊断依据。系统采用两套数据采集架构: 一方面通过嵌入 DP 进程的队列直接访问组装后事例数据, 规避数据拷贝开销; 另一方面借助 ZeroMQ 通讯库将指定数据通过独立进程按需传输至监测系统, 实现处理与监测的解耦。后端服务将原始数据封装为结构化信息, 支持按需手动触发特定事例数据的获取与刷新。基于此构建的前端可实时展示事例内部状态, 通过多级索引结构及筛选器, 可以快速定位目标通道的数据, 显著提升对数据流瓶颈和硬件故障的定位效率。本系统具备良好的通用性, 可作为高能物理数据获取框架的基础诊断组件, 通过适配数据格式, 部署在不同的实验装置中。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 27

基于原初电离计数法漂移室模型的数据获取软件的研制

作者: 梦阳纪¹

¹ *IHEP*

相应作者: myji@ihep.ac.cn

未来高能物理实验对粒子鉴别 (PID) 技术提出了更高要求。传统电离能损法 (dE/dx) 存在分辨率限制, 而原初电离计数法 (dN/dx) 通过统计带电粒子在漂移室中产生的原初电离数量, 理论上可将分辨率提升至 2%-3%, 较 dE/dx 截断平均法提高约一倍, 显著改善粒子鉴别性能。然而, dN/dx 方法的实现依赖于探测器信号的全波形高频采样, 带来了巨大的数据读出带宽与复杂的在线实时处理需求, 对数据获取 (DAQ) 系统构成了核心挑战。为此, 依托 120 通道漂移室模型实验平台, 设计并实现了一套高性能数据获取软件。该 DAQ 架构分为两大模块: 其一为作为底层的数据流模块, 负责数据的稳定读出、高效校验、多种在线寻峰处理 (如差分寻峰、机器学习寻峰) 及持久化存储; 其二为作为用户层的在线服务模块, 提供核心模块的运行监控、状态管理和图形化交互接口。实验结果表明, 该 DAQ 系统可以满足 dN/dx 方法所需的高数据吞吐量和实时性处理要求, 其架构不仅验证了该方法的可行性, 也为 CEPC 等下一代对撞机粒子鉴别系统提供了一条可靠且可扩展的数据处理技术路径。

Summary:

面向 JUNO 的移动端监测软件的实现

作者: 源石 N^{one}; Xiaolu Ji¹

¹ Institute of High Energy Physics, CAS

相应作者: shiyuan@ihep.ac.cn, jixl@ihep.ac.cn

针对传统高能物理实验监测系统存在的专家处理海量数据低效、专家实时响应不足及个性化监测能力欠缺等问题, 本研究设计并实现了一套轻量化移动端实时监测系统。后端架构采用 FastAPI 异步框架与 WebSocket 通信协议提升服务端性能; 集成 Prometheus 时序数据库与 Grafana 可视化平台, 支持用户基于 Grafana 自定义监测参数; 采用配置文件驱动机制, 灵活呈现不同实验和分组的运行状态。用户可为各类参数选择多元化的异常监测方法, 包括绝对阈值报警、基于 3σ 原则与动态滑动窗口的统计学方法、指数加权移动平均 (EWMA) 以及基于 Transformer 架构的 Informer 时间序列预测模型。前端基于 Flutter 框架构建跨平台 (Web/Android/iOS) 应用, 实施多级告警策略。此方案使专家能随时随地通过移动设备了解实验运行状态, 并通过高效、直观的告警方式第一时间获知系统异常。该监测软件有效减轻了专家负担, 提升了工作效率, 为大型科学装置提供了一套可扩展的智能监测解决方案。

Summary:

JUNO 数据获取系统的高可用研究与升级

作者: 向翊牟¹

¹ 高能物理研究所

相应作者: muxy@ihep.ac.cn

JUNO 实验位于中国广东省江门市, 在地下 700 米处建造一个 20 万吨的液体闪烁体探测器。该探测器将用于探测中微子, 包括反应堆中微子、超新星中微子、大气中微子和太阳中微子。据估计银河系中超新星的发生率仅为几十年一次, 为避免错过珍贵的超新星事件, DAQ 系统要尽可能减少故障时间, 减少故障带来的数据丢失, 以连续运行持续存储作为首要目标。本课题的主要研究内容是如何提高数据流软件的可用性, 尽可能减少故障时间, 减少故障带来的数据丢失。为了实现这一目标不仅需要数据流软件本身能够应对单点故障, 还需要其依赖的系统服务和网络环境的可靠性。

Summary:

高能物理科学数据汇交共享服务平台建设

作者: 爽王 N^{one}

高能物理科学数据由国内外高能物理领域的大科学装置实验产生, 主要用于开展物质基本组成、相互作用以及宇宙演化规律研究。随着实验装置复杂度不断增加、规模不断扩大, 高能物理科学数据呈现出海量性和专业性特点。开展数据汇交和共享能够促进数据资源利用、支撑科技创新, 具有重要的意义。本文设计并搭建了高能物理科学数据汇交共享服务平台, 实

现了元数据信息提交、实体数据上传、数据审核、数据发布、数据共享等功能，为高能物理、中子科学、光子科学、天体物理及其他相关领域科学数据提供一站式数据汇交服务。截至目前，该平台共支撑 76 项国家重点研发计划项目数据汇交，7 项中科院先导专项计划项目数据汇交，涉及多个大科学装置，所有数据集均发布到数据中心网站上供公众使用。汇交平台的建设能够推进高能物理科学数据的高效共享和利用，进而充分挖掘科学数据的科学价值，支撑科学研究和重大发现。

Summary:

人工智能与应用 / 31

基于迁移学习与 Attention U-Net 的同步辐射非人灵长类脑血管图像分割算法研究

作者：静叶¹；卓陈¹；沁桐李¹；宗泽李¹；家如张¹；春鹏王¹；宇光胡¹；仁忠邵¹

¹ 中国科学院上海高等研究院

相应作者：liqt@sari.ac.cn, lizz@sari.ac.cn, chenzhuo2025@sari.ac.cn, tairz@sari.ac.cn, zhangjr@sari.ac.cn, wangcp@sari.ac.cn, yej@sari.ac.cn, huyg@sari.ac.cn

大脑是人体最重要的器官，在脑疾病的诊疗、探索高级脑功能机制以及理解意识本源具有重大意义，是理解自然和人类本身的“最终疆域”。随着同步辐射光源装置的不断升级与 X 射线成像前沿技术的不断突破，非人灵长类脑微血管的三维精细结构观测突破了高分辨率、高信噪比与大视场并存的瓶颈。然而，获取海量的原始影像数据，仅仅是万里长征的第一步，如何处理和分析由此产生的 TB 级规模海量影像数据是更为艰巨的挑战，海量复杂图像数据的精准高效分割成为后续量化分析的关键瓶颈。传统的基于监督学习的分割方法往往需要大量的手工标记数据，且难以保持在微小血管拓扑结构完整性和抑制图像噪声之间取得平衡。

为应对此挑战，本研究提出一种结合迁移学习（Transfer Learning）与注意力机制 U-Net（Attention U-Net）的自动化血管分割框架。通过引入注意力门（Attention Gates）机制，自适应学习并聚焦于不同形态的目标血管区域，从而有效抑制背景区域的无关噪声。为了解决同步辐射脑成像数据集标注样本有限且训练成本高的问题，采用迁移学习策略，首先在大型公开医学图像数据集上对模型进行预训练，使其学习广泛而鲁棒的图像底层特征。随后，将预训练模型在极少量手工标注的高分辨同步辐射脑血管数据集上进行微调（fine tune），使其快速适应新数据域的独特特征分布。

实验结果表明，本研究构建的基于 Attention U-Net 的模型在公开数据集上的分割精度可达 99.5%。与从零开始训练的模型相比，本研究提出的基于迁移学习策略的模型在收敛速度和最终分割精度上均有显著提升。在同步辐射脑成像数据集上，该方法在 Dice 系数等关键评估指标上均表现出色，能够精确分割出微血管结构，同时有效克服了图像伪影的干扰，且分割结果在三维拓扑结构的连通性和细节上与手工标注高度一致。

本研究证实了基于迁移学习的 Attention U-Net 框架是解决同步辐射脑血管图像分割任务的一种高效、精准且鲁棒的自动化方案。该方法不仅显著降低了对大规模标注数据的依赖，也为处理同步辐射脑成像神经图像分割问题提供了一个极具潜力的解决方案，为后续的血管形态学量化分析、血管与神经的关联分析奠定了坚实的技术基础。

Summary:

本研究提出一种基于迁移学习和 Attention U-Net 的同步辐射脑成像血管图像自动化高效分割框架，显著降低了对大规模标注数据的依赖，同时也为处理同步辐射脑成像神经数据和后续的量化分析奠定了坚实的数据及技术基础。

数据处理软件与分析方法 / 32

江门中微子实验慢控值班系统

作者：小川谢^{NONE}；生辉刘¹；生恒黄²；梅叶¹

¹ 高能物理研究所 TDAQ² TDAQ

相应作者: huangsh@ihep.ac.cn, xiexc@ihep.ac.cn

江门中微子实验是世界上最大的单液体闪烁探测器,旨在测定中微子的质量顺序、精确测量中微子混合参数。针对江门中微子实验的控制需求,对 17000 路电子学通道进行大规模监测与控制,设计了一套面向值班员的分级、分组管理界面,实现了系统状态的集中监控与控制。本系统基于 Phoebus 开发,调用 phoebusgen 自动化生成交互界面,显著提升了系统部署效率。在 IOC 层面,将数据写入 Redis,以 redis 缓存代替直接的 PV 访问。界面方面,通过本地/模拟 PV 与外部 Python 程序协同,减小 PV 访问量,采用动态加载数据的方式,减少组件的调用,解决 Phoebus 界面首次连接耗时长、网络抖动导致卡顿等问题。为防止误操作,增加了重发、文件锁、操作日志的机制。同时,考虑到 Phoebus 权限管理依赖于操作系统的用户管理,借助 LDAP 工具加强了多用户分级管理能力。本值班系统实现了 Phoebus 对大规模通道的监控,在江门中微子实验中完成了对 17000 路通道的分组管理、一键升降高压、异常状态监控。本文的系统实现方案为类似实验监控系统的开发提供了重要参考。

Summary:

科学计算平台与应用 / 33

通用天文卫星文件模板生成软件的设计与实现

作者: 士元李¹¹ 中国科学院高能物理研究所

相应作者: lishiyuan@ihep.ac.cn

摘要: 天文学中,文件模板是存储标准化卫星数据产品的载体,能够保证数据一致性,提升数据处理效率,推动全天变源和暂现源等宇宙动态事件监测与研究。灵活图像传输系统(Flexible Image Transport System, FITS)格式用于存储和交换数据,因其具有自描述性、灵活性和兼容性,目前成为天文数据交换的标准格式,文件模板也采用该格式。天文卫星数据具有体量大、维度多、结构复杂等特点,通过不同的处理方式生成不同种类的数据产品,包含工程数据产品(姿态、轨道、温度等)和科学数据产品(0 级原始数据、1 级校正数据、2 级分析结果)。传统的文件模板生成方式严重依赖于数据处理过程,这种方式存在弊端,需要反复重建模板,不仅导致处理过程复杂,影响数据处理进度,还增加人工检验负担。针对以上问题,本文设计并实现了一种通用卫星文件模板生成软件。通过模块化设计,对关键词信息进行分类:不同卫星通用关键词、同卫星中不同数据产品通用关键词、特定数据产品独有关键词,通过不同的组合方式创建相应的数据产品文件模板。在数据处理过程中,无需重复定义关键词信息,通过读取相应科学数据产品模板文件,匹配并填充数据处理结果,生成科学数据产品,避免重复创建模板。通过对 Catch、SVOM、HXMT 等多颗卫星的关键词信息进行分类与文件模板创建测试,实验结果验证了该软件的高效性和实用性。

Summary:

人工智能与应用 / 35

基于 ANN 的光束线优化方法研究

作者: 佳慧张¹; 雪婷吴¹; 凌飞胡¹; 安博孔¹; 博贺¹; 留国陈¹; 功发刘²¹ 中国科学技术大学² 高能所

相应作者: xueting.wu@ustc.edu.cn, hulf88@ustc.edu.cn, chenliuguo@ustc.edu.cn, jhzhzhang618@mail.ustc.edu.cn, hbo@ustc.edu.cn, anbokong@ustc.edu.cn, gfliu@ustc.edu.cn

目的: 同步辐射光束线的性能对于实验的有效开展至关重要。合肥先进光源 (Hefei Advanced Light Facility, HALF) 是基于衍射极限储存环技术的第四代低能量区同步辐射装置, 测试光束线 (BL10U) 作为 X 射线光学技术实验平台, 为新一代光束线技术提供研发基础。由于光束线结构高度复杂, 手动调束通常需要数小时甚至更长时间。智能调束方法能显著提高效率, 但实际在线测试机会有限。因此, 开发光束线虚拟平台及智能调束算法是非常必要的。

方法: 本研究提出一种基于实验物理与工业控制系统 (Experimental Physics and Industrial Control System, EPICS) 架构的光束线虚拟平台。利用 XRayTracer (XRT) 软件构建 BL10U 的仿真模型, 并生成训练数据集。为了充分利用这些数据, 采用 K 折交叉验证方法训练人工神经网络 (Artificial Neural Network, ANN), 并获得 ANN 模型。此外, 本研究还在 XRT 模型和 ANN 模型上应用差分进化 (Differential Evolution, DE) 算法, 以优化光束性能。

结果: ANN 模型在测试集上的准确度达到 97%, 计算速度较 XRT 模型提高约 3000 倍。在 XRT 模型上应用 DE 算法需要 16.5 个小时才能收敛, 而将同样的算法迁移至 ANN 模型后, 收敛时间缩短至 65 秒, 且两者优化后得到的光通量和分辨率几乎一致。

结论: 本文提出的虚拟光束线平台为光束线智能调节方法的离线测试提供了安全、高效的环境, 是实现从手动调束过渡到智能调束的重要途径。

Summary:

核电子学与探测技术 / 36

CSNS 谱仪实验智能化控制体系的设计与应用研究

作者: 勇翔邱¹; 建庄¹; 培迅沈²; 海云滕²; 涛辉林³; 嘉杰李²; 俊徐²; 晓庄王²; 磊胡²; 东旭赵²

¹ 中国科学院高能物理研究所

² 中国科学院高能物理研究所散裂中子源科学中心

³ 东莞理工学院

相应作者: tenghy@ihep.ac.cn, zhuangj@ihep.ac.cn, 1600249313@qq.com, xujun@ihep.ac.cn, wangxiaozhuang@ihep.ac.cn, hulei@ihep.ac.cn, qiuyx@ihep.ac.cn, dxzhao@ihep.ac.cn, shenpx@ihep.ac.cn, lij@ihep.ac.cn

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:

科学计算技术 / 37

LHAASO 软件触发与在线数据处理框架升级

作者：航畅张¹; minhao 顾国皓²; 铭轩张³

¹ IHEP, 中国科学院高能物理研究所

² 高能所

³ IHEP

相应作者: gumh@ihep.ac.cn, zhanghc@ihep.ac.cn, mxzhang@ihep.ac.cn

高海拔宇宙线观测站 (Large High Altitude Air Shower Observatory, LHAASO) 是研究宇宙射线和 gamma 射线的超大规模的高能物理装置。随着邻近 LHAASO 阵列的大型超高能伽马源立体跟踪装置 (LACT) 的建设, 现有基于流处理架构的数据获取与在线计算系统在灵活性与拓展性方面逐渐显现局限。新兴物理需求与探测器升级对在线计算架构提出了重要挑战。

本文提出以分布式内存缓存为核心的数据获取与在线计算架构。该架构通过构建分布式内存缓存池, 实现前端电子学读出与在线处理的解耦。架构采用调度软件管理在线算法, 通过动态资源分配确保算法安全执行与软件运行稳定性。该设计范式显著提升了模块的灵活性, 并支持离线算法向在线环境的迁移。

该架构核心模块已完成开发与验证。在广角契伦科夫望远镜阵列 (WFCTA) 子系统开展的现场测试表明, 系统满足 LHAASO 实时数据处理需求, 在模拟环境的基准测试验证了其对未来 LACT 接入及联合运行的承载能力。

Summary:

核电子学与探测技术 / 38

JUNODAQ 在线监控系统及智能化研究

作者: 寅慧吴¹

¹ 高能物理研究所

相应作者: yhwu@ihep.ac.cn

江门中微子实验作为我国“十二五”国家重大科技基础设施, 致力于通过 2 万吨液体闪烁体探测器开展中微子质量顺序、振荡参数精确测量等前沿研究。实验数据获取系统 DAQ 作为重要的子系统, 需完成对原始数据的获取以及实时监控 20000+ 探测通道的电子学设备状态与数据质量。针对目前存在的信息分散、故障响应滞后等问题, 本研究开发了 JUNO-DAQ 在线监控系统。

该系统通过 Kafka 消息总线整合 Redis、Mongo、PostgreSQL 等多源异构的监控数据, 开发了包含 3D 探测器状态渲染、电子学参数、DAQ 指标数据、运行列表的多维度可视化界面。同时, 整合 Garafa 可视化平台和 ROOT 科学计算框架, 实现了对实验各子系统运行状态的统一监测, 构建了完整的实验数据监控生态体系。

在控制层面, 基于自研的 Supervisor 管家构建了专家控制台与值班控制台的双模式操作界面。专家模式提供完整的参数配置与调试功能, 值班模式则聚焦标准化操作流程, 二者通过统一的 API 接口实现对数据获取工作的全链路管控。在安全机制层面, 该系统通过 JUNO 成员管理系统接入高能所统一身份认证平台, 并联动 JUNO Shift 值班系统进行值班员动态权限校验, 构建了包含身份认证、操作授权、行为追溯的三层安全防护体系。

目前系统自 2024 年 12 月正式上线后已运行 8 个月, 成为 JUNO 实验日常值班工作的重要支撑平台。通过该系统, 值班人员可以实时掌握实验运行状态, 快速定位并处理异常情况, 显著提升了实验运行效率。系统正在向智能化方向持续优化, 目前已尝试应用 LSTM 深度学习模型实现异常检测。未来将进一步探索基于知识图谱的智能诊断和预测性维护等先进技术, 为 JUNO 实验的长期稳定运行提供更智能化的保障。

Summary:

科学计算技术 / 39

基于机器学习的 HPC 集群资源需求预测研究

作者: 煜何^{None}; 京燕石¹; 然杜¹

¹ 高能物理研究所

相应作者: shijy@ihep.ac.cn, duran@ihep.ac.cn, heyu@ihep.ac.cn

本研究针对高能物理领域中高性能计算 (HPC) 集群资源调度所面临的低效利用与排队延迟问题, 提出了一种基于静态代码特征与作业运行特征融合的智能化资源需求预测与调度优化框架。首先, 通过对 Python 编写的高能物理作业源代码进行静态分析, 提取代码行数、函数调用、循环深度、并行接口和第三方库调用等关键结构特征; 同时, 从 SLURM 调度日志中获取作业提交信息、资源申请与实际使用情况等作业基础特征与历史运行特征, 并对多源特征进行规范化和降维处理, 构建统一的“embedded Slurm job”向量表示。进而, 基于历史运行特征采用层次聚类结合 K-Means 方法进行初步无监督聚类, 生成类别标签, 实现对作业资源使用混合特性的多标签标注。针对标注结果, 构建基于 Transformer、Resnet、DNN 的 Ensemble 分类模型, 通过加权交叉熵损失与注意力机制缓解类别不平衡问题, 实现对作业类型的高精度识别。随后, 在分类信息与“embedded Slurm job”向量的基础上, 设计多目标回归模型, 采用多任务学习策略并结合多分类模型隐藏层提取作业共性特征, 并针对 CPU 核数、内存容量与 GPU 数量三维资源需求执行联合预测。同时, 引入基于利用率均值与标准差的安全裕量计算, 生成符合调度需求的资源推荐标签以防止欠配或过度浪费。最后, 构建 SLURM 调度仿真环境, 将传统用户申请资源与模型预测资源两种策略进行对比实验, 并通过平均排队时间、集群资源利用率与作业吞吐量等指标定量评估所提方法的实际调度收益。实验结果表明, 该框架能够显著提高资源利用效率、降低任务等待时长, 为高能物理及其他 HPC 应用场景提供了一种可推广的智能化调度优化解决方案。

Summary:

科研信息化管理与系统 / 41

面向 WLCG 业务的高带宽流量监控架构的设计与实践

作者: 涛崔¹

¹ 高能所

相应作者: cuit@ihep.ac.cn

随着高能所 WLCG 业务的不断扩展, 国际带宽的增加, 高能所 WLCG 的运行面临四个问题, 业务流量的识别, 站点\项目流量统计, 流量控制, 数据传输故障分析等. 我们设计了一个架构, 能够实现大流量数据的获取, 细粒地分析, 标记, 统计分类, 并能够通过协同 API 实现国际链路的流量避让, 以及端到端的流量分析等功能。上述框架完整的解决了高能所 WLCG 流量业务的各种问题, 并已经实际部署, 相关数据的可视化呈现为 WLCG 站点运维提供了有力支持

Summary:

科学数据存储与管理 / 42

从构建到封装: HPC-AI 融合下磁约束聚变集成建模中数据 FAIR 的可追溯性研究

作者: 晓娟刘¹

合作者: ZHI YU

¹ Institute of plasma physics, Chinese Academy of Sciences

相应作者: lxj@ipp.ac.cn, yuzhi@ipp.ac.cn

科学数据的管理正从单纯的数据存储与共享,向确保研究过程和结果的**可追溯性** (provenance) 和**可重复性** (reproducibility) 演进。FAIR 原则 [1] (可发现、可访问、可互操作、可重用) 为这一目标提供了指导框架。然而,正如 FAIR4RS[2] 所强调的,将这些原则应用于“研究软件”比应用于静态数据更具挑战性,因为软件是动态的、可执行的,并且其行为高度依赖于其运行环境。

在复杂大科学工程磁约束聚变研究中,由多个物理模拟程序耦合的集成建模是探索复杂聚变发生过程的核心。数据结果的可靠性就要求我们首先保证集成计算过程的 FAIR。因此,我们开发了用来管理于磁约束聚变集成建模流程软件环境管理的工具, FyDev[3], 保证**软件**的**整个生命周期** (获取、构建、测试、部署、调用) 进行标准化、自动化和可追溯化。但是,随着 AI/ML 的发展,集成建模中的部分传统物理程序逐渐被替代模型、数据驱动推理模型、基于 GPU 的求解算法等代替, IM 经历着传统高性能计算 (HPC) 向融合人工智能 (AI) 的范式转变,这给软件环境的可追溯性 (provenance) 与 FAIR (可发现、可访问、互操作、可重用) 管理带来了严峻挑战。

传统的 HPC 软件依赖于系统级安装 (如 EasyBuild[4]), 环境稳定且易于追踪; 而 AI 应用则依赖于动态、易变的 Python 生态和容器化技术。前者是系统级的构建, 后者是应用级的封装。完全基于传统包管理、构建工具, 很难同时维护 AI 应用的环境。两种模型运行环境的割裂, 必然导致计算过程的 provenance 链条在边界处断裂。进一步, 虽然业界从虚拟化/云原生的领域衍生出很多成熟的工具, 提供对基于 slurm 的传统 HPC 和基于 K8S 的容器化环境的统一管理, 但是, 这些工具大都构架庞大, 服务繁琐, 彻底改变用户的使用模式, 不考虑实际应用场景、用户使用习惯的生搬硬套, 很难彻底解决问题。**磁约束聚变集成模拟 (IM) 中日益增加的 HPC 与 AI 的融合, 是一种“自底向上”、由传统 HPC 科学计算环境“演化”而来的需求, 而非“自顶向下”、由云计算/虚拟化平台“嫁接”过去的模式。**

因此, 我们在 FyDev 之前版本的基础上, 将“软件环境的构建过程形式化、自动化和可追溯化”这一普适理念, 从 HPC 软件的“构建”扩展到融合 AI 应用“封装”。我们引入“计算单元” (Computational Unit, CU) 的概念, 将传统的 HPC 程序和容器化的 AI 应用统一抽象为可管理的实体。为此, 我们在 CU_description 文件中增加了 container 字段, 使其能同时描述 HPC 依赖和容器化环境。构建系统 (Build System) 也随之演进: 对于 HPC 组件, 它调用 EasyBuild 进行编译; 对于 AI 组件, 它根据 container 字段描述的内容自动生成 Dockerfile 并构建镜像。最终的软件栈 (Software Stack) 不再仅仅是二进制文件目录, 而是一个包含本地 HPC 软件和容器镜像仓库的混合体。

我们以磁约束聚变集成建模中典型的“平衡-输运”耦合工作流为例验证了该框架: 首先使用 EFIT (HPC 程序) 反演等离子体平衡, 然后将结果作为输运程序 TORAX (基于 JAX 加速的 GPU 优化代码) 的输入, 同时调用一个数据驱动的代理模型 QLKNN (AI 应用, 运行在容器内, 依赖驱动版本和 python 环境) 来预测芯部输运剖面。在 FyDev 中, 提供标准化的程序调用 API, 通过基于配置文件的描述, 使用 Slurm, 自动化地协调了 HPC 作业的和容器的启动, 并追踪了数据传递的过程, 实现了该工作流的可重复部署。通过统一的 @pid 和完整的 provenance 记录, 有效弥合了 HPC 与 AI 之间的管理鸿沟, 为融合时代的科学计算提供了端到端的 FAIR 管理解决方案。

[1] Wilkinson, M. D. et al. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci. Data 3, 160018 (2016).

[2] Barker, M. et al. Introducing the fair principles for research software. Sci. Data 9, 1–6 (2022).

[3] Liu, X., Yu, Z. & Xiang, N. Building an integrated modeling and analysis software environment that follows FAIR principles. Preprint at <https://doi.org/10.48550/arXiv.2310.12345> (2023).

[4] Hoste, K., Timmerman, J., Georges, A. & De Weirtdt, S. EasyBuild: Building Software with Ease. In SC Companion, 572–582 (2012).

Summary:

本研究针对磁约束聚变集成建模中 HPC 与 AI 融合带来的软件环境管理挑战, 提出并实现了 FyDev 框架的演进。传统的 HPC 环境依赖系统级构建, 而 AI 应用则依赖动态的容器化技术, 两者构建方法的割裂导致在一个集成的计算过程中的结果可追溯性 (provenance) 中断。为此, 我们引入“计算单元” (Computational Unit, CU) 的统一抽象概念, 并扩展 CU_description 文件以同时描述 HPC 依赖和容器化环境。FyDev 的构建系统据此可自动化地调用 EasyBuild 编译 HPC 组件, 并生成 Dockerfile 构建 AI 容器镜像, 形成混合软件栈。通过一个典型的“平衡-输运”耦合工作流 (EFIT-HPC → TORAX-JAX → QLKNN-容器化 AI) 的验证, FyDev 利用标准化 API 和 Slurm 调度, 实现了 HPC 作业与容器化 AI 应用的自动化协调与数据传递追踪。该框架为融合时代的科学计算提供了从构建到执行的端到端可追溯、可重复的 FAIR 管理解决方案

数据处理软件与分析方法 / 43

同步辐射装置报警系统的开发与研究

作者: 双徐¹

¹ *ustc*

相应作者: xus@ustc.edu.cn

同步辐射装置规模大, 涉及的过程变量可达到百万量级, 而接入报警系统的过程变量可达到十万量级。合肥先进光源 (Hefei Advanced Light Facility, HALF) 是基于衍射极限储存环技术的第四代低能量区同步辐射装置, 由国家同步辐射实验室承担建设。HALF 报警系统用于监测过程变量的异常状态, 发布报警消息, 以便工作人员及时进行故障维修或隐患排除, 对提高装置可用性具有重要意义。因此, 为了保障装置的稳定运行, 本文基于 EPICS 社区报警软件 Alarms, 开展了实时报警信息分发、历史数据分析和配置管理三个方面的开发和研究工作。同时, 为了减少报警系统的误报率, 本文提出了一种基于数据驱动的报警死区和延时计时器的设计方法, 可以有效减少滋扰报警。

Summary:

科学数据存储与管理 / 44

面向高能物理异构计算平台的无认证安全文件共享设计与实现

作者: 歌欧¹; Jingyan Shi²; Yujiang Bi²

¹ 高能所

² *IHEP*

相应作者: biyujiang@ihep.ac.cn, oug@ihep.ac.cn, shijy@ihep.ac.cn

现代高能物理研究依托于大规模、异构的计算与存储基础设施, 其数据分析流程的复杂性对用户交互的便捷性和协同工作的效率提出了前所未有的挑战。高能物理研究所的计算平台是一个集成了 HTCondor、Slurm 等多种作业调度系统以及 LUSTRE、EOS、CVMFS 等异构存储资源的典型大规模科研计算环境。传统基于命令行的交互模式在新一代科研人员面前日益显得低效与不便。ink-Interactive ANalysis worKbench (INK) 平台, 通过将 VSCode、Jupyter 等分析工具容器化 Web 化, 为用户提供了现代化的交互式分析体验。本文着重阐述了在 INK 平台基础上设计并实现的一种新型文件共享功能, 其核心目标是在保障数据安全的前提下, 为用户提供一种“即时生成、无需认证”的便捷数据分享。设计了精细化的安全机制来解决无认证访问带来的潜在数据泄露风险。当用户选择共享文件时, 动态创建包含签名令牌的临时访问 URL, 采用基于 JSON Web Token (JWT) 的方案, 将授权信息编码在令牌中。任何通过该链接发起的访问请求, 都必须首先通过 FastAPI 网关的令牌校验。网关会验证令牌的签名、时效性和其中编码的权限规则, 只有完全合规的请求才会被转发至后端的 xrootd 服务执行。这种将授权策略与访问凭证绑定的无状态验证模式, 既避免了要求终端用户进行繁琐的身份认证, 又实现了对共享资源的强安全管控。

Summary:

核电子学与探测技术 / 45

HALF 光束线运动控制系统

作者: 雪婷吴¹; 安博孔²; 啸汪³; 博贺²; 文红贾³; 留国陈²; 功发刘⁴

¹ USTC

² 中国科学技术大学

³ 中国科学技术大学国家同步辐射实验室

⁴ 高能所

相应作者: wuxu@ustc.edu.cn, anbokong@ustc.edu.cn, jiawenhong@ustc.edu.cn, hbo@ustc.edu.cn, typhoon@ustc.edu.cn, gfliu@ustc.edu.cn, chenliuguo@ustc.edu.cn

合肥先进光源 (Hefei Advanced Light Facility - HALF) 是国家重大科技基础设施项目, 将建成一台国际先进的基于衍射极限储存环的低能区第四代同步辐射光源。储存环能量 2.2 GeV, 束流水平自然发射度约 $86 \text{ pm} \cdot \text{rad}$, 具有国际同类装置领先水平。

HALF首期建设10光束线站, 涉及大量精密光机电运动设备, 需对五百多个电机轴进行控制。由于不同运动机

Summary:

46

人工智能在聚变等离子体控制中的应用

作者: 旗平袁¹

合作者: 云虎贾; 仲黄; 俊杰黄; 建秋朱; 悦航汪; 文慧胡; 晏慈张; 根徐; 浩宇王; 炳甲肖¹; 睿瑞张¹; 耀黄

¹ 中科院等离子体物理研究所

相应作者: qpyuan@ipp.ac.cn

核聚变能具有资源丰富、环境友好和固有安全性等明显优势, 是目前认识到的最终解决人类社会能源和环境问题的重要途径。然而聚变堆燃烧等离子体具有亿度以上的高温, 其物理过程具有高度非线性自组织、多时空尺度耦合的特点。为维持安全可靠燃烧, 数十个等离子体参数和各种不稳定性需要在毫秒、毫米级的时空尺度下得到控制, 各种异常事件需要及时预测并采取有效手段加以避免。近年来 EAST 控制团队在等离子体稳态控制技术方面取得了重要进展, 建立了具有完全自主知识产权的等离子体控制系统, 在东方超环 EAST 上控制完成了 9000 余次放电, 具有最快 50 微秒的控制周期, 支持多任务跨 CPU、跨主机灵活部署, 以及异常事件检测和实时调度处理能力等, 达到了国际领先水平, 为先进控制算法的开发集成提供了控制平台。随着人工智能技术在聚变领域的应用, 针对等离子体控制难点发展了基于人工智能的破裂预测、等离子体磁位形控制、等离子体剖面参数控制等, 在 EAST 上实现了等离子体实时破裂预警和可控下降, 有效降低了装置运行风险, 并实现了控制误差小于 1 厘米的基于强化学习的等离子体位形控制, 显示了 AI 算法优异的控制性能, 验证了人工智能在聚变控制应用中的可行性。

Summary:

科研信息化管理与系统 / 47

大模型在高能所信息化中的融合与应用

作者: 睿张 None; zhihui 孙智慧¹

¹ IHEP

相应作者: sunzh@ihep.ac.cn, rzhang@ihep.ac.cn

本报告介绍大模型技术在高能所信息化建设中的融合与应用实践。围绕科研管理与学术生产的实际需求，我们构建了面向内部制度的智能问答助手，实现政策制度的快速解答，提升管理服务智能化水平。同时，基于 LaTeX 平台集成了智能插件，支持论文写作过程中的智能润色、语法校正等，显著提升科研人员的写作效率与稿件质量。实践表明，大模型在科研管理与学术协作中具有广阔应用前景，为科研机构的数字化转型提供了可复用的技术路径与实施经验。

Summary:

科学计算技术 / 48

高能物理计算平台统一运维管理

作者：伟郑¹; 晓飞 Yan¹; 胡 HU Qingbao²

¹ IHEP

² 高能所

相应作者：huqb@ihep.ac.cn, yanxf@ihep.ac.cn, zhengw@ihep.ac.cn

高能物理计算平台在大规模科学计算与数据分析中至关重要，其运维规模和复杂性不断增加。本文针对现状与挑战，提出物理机与容器环境的统一部署方案，构建大规模统一监控与报警系统，集成运维数据管理技术，实现监控与作业管理的自动联动，并引入故障智能分析技术以提升运维效率与可靠性。本研究为高能物理及其他大规模计算平台的运维优化提供了技术参考。。

Summary:

科研信息化管理与系统 / 49

中国科学院高能物理研究所异地多园区科研认证系统设计与实践

作者：齐罗¹; 皓胡¹

¹ 高能所

相应作者：huhao@ihep.ac.cn, luoq@ihep.ac.cn

中国科学院高能物理研究所（IHEP）作为国家战略科技力量核心组成部分，是我国高能物理、粒子天体物理、加速器物理与技术、射线技术与应用领域的综合性研究基地。研究所主导了我国粒子物理实验、粒子天体物理观测、大型加速器技术研发等学科方向的发展，建成北京同步辐射装置（BSRF）、中国散裂中子源（CSNS）、高能同步辐射光源（HEPS）等重大科技基础设施，形成覆盖多学科、多地域的“大科学装置集群”。

针对多园区协同研究中面临的认证体系挑战，IHEP 认证系统通过技术创新构建了适应复杂科研场景的解决方案：

1. 多源数据融合认证：集成中科院重大科技基础设施共享服务平台（LSSF）、CSNS、IHEP 及 HEPS 四维用户数据库，建立统一身份认证中枢，实现跨北京、广东等地的“认证授权”功能，支持科研人员在实验申请、数据计算、图像重建到成果获取的全流程业务中使用标准化账号体系。
2. 动态精细化权限管理：基于 RBAC 模型构建弹性权限架构，为每个科研账号配置独立权限矩阵。针对交叉学科研究中用户同时参与多课题组的特殊需求，创新设计“申请-审批-实时生效”的权限流转机制，由实验管理员通过可视化控制台进行多维权限动态配置，确保数据访问与操作权限的精准匹配。
3. 跨平台认证一致性保障：研发异构系统适配中间件，解决 Windows Web 端应用与 Linux 高性能计算集群间的凭证同步技术问题，通过化票单转换协议实现跨操作系统平台的权限无感

传递，保障科研数据在生命周期各环节的安全可控。

4. 国际化认证联盟接入：深度对接国内 CARS1 认证联盟与国际 EduGAIN 框架，支持科研人员通过机构邮箱实现 SSO 单点登录，显著提升国内外合作单位的接入效率。

本认证体系通过技术创新有效解决了多园区科研协作中的身份认证、权限管控、跨域协同等关键问题，为 IHEP 高效运行和前沿科学研究提供了安全可靠的支撑，其技术架构对同类大科学装置的信息化建设具有重要参考价值。

Summary:

核电子学与探测技术 / 50

江门中微子实验中 8 英寸 PMT 高压监控系统的实现

作者：生辉刘¹

¹ 高能所

相应作者：liushh@ihep.ac.cn

江门中微子实验 (Jiangmen Underground Neutrino Observatory, JUNO) 旨在通过地下液体闪烁体探测器精确测量中微子质量顺序，并开展多项前沿科学研究。作为水切伦科夫探测器的核心组成部分，8 英寸光电倍增管 (PMT) 为实验提供了关键数据，其高压监控系统的稳定性和安全性直接影响实验数据质量与探测器运行。本文设计并实现了一套基于 Python 的分布式高压控制系统，实验采用了 CAEN 公司的 SY1527 高压电源模块为 8 英寸 PMT 提供工作高压，通过 TCP/IP 协议实现对多台设备的集中控制。监控系统采用模块化架构，主要包括 PyQt 图形控制界面、后台监控服务和底层硬件通信三个核心组件。控制模块提供实时参数监控、批量控制和用户权限管理等功能；监控模块基于 MySQL 数据库实现数据的周期性采集与存档，并集成企业微信开发了智能报警系统；底层通信基于 CAEN 官方提供的 HVWrapper 软件库实现，支持系统、板卡和通道三级参数的读出。该系统已成功部署于 JUNO 实验现场，稳定监控 600 个 8 英寸 PMT 高压通道和相关参数，实现了高精度的电压电流监控与报警功能，有效保障了 PMT 的安全运行与数据采集质量。系统的模块化设计与标准化接口具有良好的可扩展性，为大型粒子物理实验的 PMT 高压控制提供了重要的技术支撑与参考价值。

Summary:

人工智能与应用 / 51

ChatSOC：面向高能所网络安全运营的智能体系统

作者：佳荣王^{None}

相应作者：wangjr@ihep.ac.cn

为抵御大量网络攻击，中国科学院高能物理研究所 (IHEP) 于 2021 年建成安全运营中心 (IHEP SOC)。IHEP SOC 制定了标准化流程，调用多种安全工具执行自动化响应任务。该标准化流程预置固定工具，保障 IHEP SOC 响应时间达分钟级，且误拦率极低，万分之一左右。但工具调用的固定流程更新和管理难度大，通常应对孤立的安全运营任务。针对此问题，本文引入 ChatSOC，这是由大语言模型 (LLM) 赋能、面向网络安全运营的自主智能体，可完成识别、防护、检测、响应等各类运营任务。在高能物理研究所部署后，ChatSOC 可自动规划并调用不同工具，有效提升安全运营效率。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 52

BzScope: 高精度计算绝对量级非弹性中子散射谱的新型软件包

作者: Ni Yang¹; 明唐²; 晓晓蔡²; 梓毅潘^{None}

¹ Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences

² 高能所

相应作者: zypan@ihep.ac.cn, yangni@ihep.ac.cn, caixx@ihep.ac.cn, tangm@ihep.ac.cn

中子动力学结构因子 $S(Q, \omega)$ 的计算是利用非弹性中子散射 (INS) 技术研究材料动力学性质的基础, 其中低阶相干声子的贡献尤为重要。传统的计算软件通常使用非相干近似来近似相干散射, 并采用常规的采样方法在中子和声子的动量空间进行采样, 导致计算结果的精度和分辨率有限。

BzScope 是中国散裂中子源 (CSNS) 开发的一种新型计算工具, 旨在通过提供绝对强度的高精度动力学结构因子来应对这些挑战。BzScope 基于简谐近似理论, 从晶体结构和力常数出发计算声子谱和中子-声子散射谱。BzScope 采用了一种新的无超参数自适应采样策略, 在高维空间中对声子和中子的动量进行采样, 从而能够在较广的中子动量转移范围内 ($0 \sim 100 \text{\AA}^{-1}$) 精确计算单声子、两声子相干事件的贡献, 显著提高计算散射谱的分辨率, 并保持优秀的数值稳定性。BzScope 可扩展到 N 声子相干计算, 同时支持温度效应。

BzScope 可以独立使用, 计算晶体的中子动力学结构因子, 也可以通过插件与热中子输运软件 NCrystal 集成, 计算中子散射微分截面和总截面。BzScope 可与双模式蒙特卡洛引擎 Prompt 集成, 模拟完整的 INS 实验, 从而连接计算和实验。BzScope 还可以直接使用 Phonopy 在线声子数据库。

BzScope 基准测试结果与现有软件和实验观测结果一致。BzScope 目前适用于晶体粉末样品, 未来将增加对单晶样品和磁散射的支持。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 53

中子散射实验数据的无参化分析

作者: 晓晓蔡¹; 梓毅潘^{None}; 明唐^{None}; 妮杨^{None}

¹ 高能所

相应作者: caixx@ihep.ac.cn

在中子散射实验中, 原始数据易受吸收、多次散射、非弹性散射及探测器性能等多因素影响。传统解析与半经验修正方法需调节大量参数, 对用户经验依赖性强, 难以保证普适性。本报告介绍基于蒙特卡洛输运模拟系统 Prompt 的实验模拟框架, 通过从头计算获取材料物理参数, 精准模拟散射全过程并生成探测器响应信号, 直接用于原始数据的规约、分析与修正。该方法无需人工干预参数, 显著降低数据分析门槛。重点展示其在轻水、重水全散射实验中的验证结果。对多次散射、非弹性散射的修正效果优于传统方法, 修正数据与文献精修结果高度吻合, 验证了方法的可靠性与准确性。

Summary:

数据处理软件与分析方法 / 54

重建中子散射实验绝对强度的中子光学模拟分析系统 Prompt

作者: Ming TANG¹; Ni Yang²; 晓晓蔡¹; 梓毅潘^{None}

¹ 高能所

² *Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences*

相应作者: zypan@ihep.ac.cn, caixx@ihep.ac.cn, tangm@ihep.ac.cn, yangni@ihep.ac.cn

中子散射实验模拟软件工具对于中子散射研究大装置的重要意义贯穿包括谱仪概念设计、中子光学器件设计、实验规划、运行监控、实验数据分析等关键环节在内的全生命周期。中子散射实验绝对强度的数据重建一直是领域内的重点需求，也是 McStas、Vitesse 等传统中子光学追踪软件从软件设计原理上就无法解决的难题。

Prompt (Pan Z Y et al, *Comput. Phys. Commun.*, 2024, 295: 109004.) 是我们团队开发的开源中子光学模拟分析系统，能够完整重建中子散射实验的绝对强度，已在散裂中子源有丰富的应用实践。本报告将围绕 Prompt 近期的开发、应用进展，着重介绍包括 Prompt 的软件工程架构设计、开源软件生态的上下游工具国际间协作方式、中子散射实验建模及分析的套件开发、中子散射实验重建案例及高通量模拟数据生成等内容。

本报告还将介绍 Prompt 接入传统中子散射大装置生命周期的方式，以及在此基础上的基于 Prompt+AI 对中子散射大装置的材料表征、持续运行能力提升的展望。

Summary:

大会报告 / 55

Challenges of the Data Storage at CERN IT

大会报告 / 56

北京大学校级计算平台发展及相关系统软件研发

相应作者: fanchun@pku.edu.cn

大会报告 / 57

运行时效率—从高性能计算机核心部件的利用率说起

相应作者: wlp@iapcm.ac.cn

大会报告 / 58

量子计算在高能物理中的应用

相应作者: okawa@ihep.ac.cn

大会报告 / 59

上海光源软 X 射线成像算法和方法学发展

大会报告 / 60

Daisy: 先进光源上的数据处理软件框架

相应作者: huyu@ihep.ac.cn

大会报告 / 61

人工智能在聚变等离子体控制中的应用

相应作者: qpyuan@ipp.ac.cn

大会报告 / 62

人工智能在 LHAASO 中的需求、现状和前景

相应作者: zhangxp@ihep.ac.cn

大会报告 / 63

高能物理领域高质量科学数据体系建设与思考

相应作者: huhao@ihep.ac.cn

大会报告 / 64

JUNO DAQ 的设计与实现

相应作者: jixl@ihep.ac.cn

大会报告 / 65

大科学装置与科学数据中心网络安全联防联控平台

相应作者: yant@ihep.ac.cn

数据处理软件与分析方法 / 66

高压中子散射实验样品自动对准控制技术研究

作者: 培迅沈¹; jian Jian ZHUANG²; Haiyun Teng³; 勇翔邱⁴; UNKNOWN 李嘉杰 N^{one}; UNKNOWN WANG XiukuN^{one}; Jun Xu⁴; h Hu Lei²; Xiaozhuang WANG Xiaozhuang²; Dongxu ZHAO Dongxu²; boda li⁴; mingzhe zhang⁴; 涛辉林⁵

¹ IHEP

² 高能所

³ PKU

⁴ 中国科学院高能物理研究所

⁵ 东莞理工学院

相应作者: qiuyx@ihep.ac.cn, wangxk@ihep.ac.cn, dxzhao@ihep.ac.cn, libd@ihep.ac.cn, hul@ihep.ac.cn, 1600249313@qq.com, jiajie.li@ihep.ac.cn, xzwang@ihep.ac.cn, xujun@ihep.ac.cn, zhangmz@ihep.ac.cn, shenpx@ihep.ac.cn, hyteng@pku.edu.cn, zhuangj@ihep.ac.cn

高压条件下材料的原子结构和物性会发生显著变化，是当前极具科学意义的研究前沿领域。中子散射是探测高压材料内部结构的关键手段。然而，高压中子散射实验中样品体积极小、束流通量有限，如果样品位置偏离中子束中心将严重削弱衍射信号。目前通常通过扫描方式人工定位样品中心，但该方法效率低下，无法及时优化样品位置，导致宝贵的中子束流时间浪费。针对这一难题，本文面向中国散裂中子源的高压中子衍射谱仪，进行实时数据处理与自动对准闭环控制系统的研究，实现了高压实验中样品的秒级精确定位和动态对准。通过构建流式中子数据实时处理平台，开发自适应多模型拟合算法以快速提取样品中心信号，并集成 EPICS 控制系统实现分析结果对实验设备的自动反馈调整。该技术路线可实时优化样品位置，显著提高高压中子散射实验的数据质量和效率，为高压条件下的材料研究提供智能化实验手段。

Summary:

大会报告 / 67

X 射线自由电子激光装置科学数据管理软件建设与展望

相应作者: leilei1@shanghaitech.edu.cn

大会报告 / 68

AI@IHEP-CC-人工智能赋能高能物理的实践和展望

相应作者: zdzhang@ihep.ac.cn

大会报告 / 69

通用大模型与领域大模型的发展研究

相应作者: wanghong@ihep.ac.cn

人工智能与应用 / 70

Dr. Sai 物理分析智能体系统

作者: 伯伦张¹

¹ IHEP

相应作者: zhangbolun@ihep.ac.cn

自 ChatGPT 等大语言模型普及以来, AI 作为新型生产工具已逐步深度融入人类生产活动。当前基于大语言模型的智能体可自主规划、调用工具和一定程度解释结果, 成为近年来的热点领域。高能物理物理分析存在数据处理、文本解析等 AI 适配的固定步骤, 同时具有分析流程复杂、需要专业知识等领域特点, 成为 AI4Science 的一个典型场景。基于此, 我们开发了用于 BESIII 物理分析的 Dr.Sai 多智能体系统: 通过将复杂任务拆解为子任务序列, 由数个专家型智能体协同执行算法生成、作业脚本构建与提交、结果可视化等核心环节。该系统已初步实现物理分析数据处理的自动化, 未来将聚焦人机交互优化与数据驱动模型能力增强, 持续提升复杂科研任务的执行效率。

Summary:

大会报告 / 71

AI 智能体和 MCP 的简介及应用

相应作者: xdb@mail.ustc.edu.cn

大会报告 / 72

高能物理大规模数据传输技术研究和应用

相应作者: zhuangbo@ihep.ac.cn

科学计算平台与应用 / 74

可视化技术的设计及其在高能物理实验中的应用

作者: 明华廖¹; 郑昀尤¹

¹ 中山大学

相应作者: youzhy5@mail.sysu.edu.cn, liaomh7@mail2.sysu.edu.cn

当前高能物理实验依托大科学装置开展各项研究, 如新物理信号的寻找等。而一款可视化系统需要将大科学装置中的探测器几何可视化, 以及显示物理事例在探测器中的击中情况, 对于稀有事例的寻找、数据质量监控、异常信号检测、重建算法研究、以及科学宣传上起到重要作用。本文围绕大科学装置江门中微子实验 (JUNO)、北京谱仪 III 实验 (BESIII)、以及环形正负电子对撞机实验 (CEPC) 介绍多款可视化软件的设计以及在高能物理实验上的应用, 包括基于 ROOT 的可视化软件, 基于游戏引擎 Unity 的可视化软件, 以及基于 Phoneix 的可视化系统网页。

Summary:

科研信息化管理与系统 / 75

Latex Copilot

相应作者: qmy@ihep.ac.cn

大会报告 / 76

CSNS2 期 DAQ 与控制系统设计概况

相应作者: tenghy@ihep.ac.cn

核电子学与探测技术 / 77

正电子技术在核材料缺陷分析领域的应用

大会报告 / 78

软硬协同：国产异构算力助力高能物理研究

联盟报告 / 79

新型人工智能存储架构与实践

相应作者: chyd@ihep.ac.cn

联盟报告 / 80

开幕式

联盟报告 / 81

科研范式“芯”需求——AI 时代算力、存储发展趋势

联盟报告 / 82

AI 编程助手：Claude Code 的基本原理和使用方法

相应作者: zdzhang@ihep.ac.cn

联盟报告 / 83

AI 在 LHAASO 中伽马质子鉴别的应用

相应作者: zhuyf@ihep.ac.cn

联盟报告 / 84

HepAI-高能物理人工智能平台

相应作者: zhangyiyu@ihep.ac.cn

科学计算平台与应用 / 85

HERD 计算平台

相应作者: lizh@ihep.ac.cn

Summary:

科学计算平台与应用 / 86

面向高能物理的科学家工作台

相应作者: guocq@ihep.ac.cn

Summary:

科学计算平台与应用 / 87

高性能计算在等离子体尾波加速中的应用

相应作者: anweiming@bnu.edu.cn

Summary:

科学计算平台与应用 / 88

科学计算软件新平台 (XPT) 研发进展

相应作者: gongming@ihep.ac.cn

Summary:

科学计算技术 / 89

原初引力波探测相关科学及阿里实验最新进展

相应作者: liuy92@ihep.ac.cn

Summary:

科学计算平台与应用 / 91

BESIII 离线软件系统研究与升级

相应作者: mrli@ihep.ac.cn

Summary:

联盟报告 / 92

GenAI 技术赋能网络安全的趋势洞察与实践思考

大会报告 / 93

X 射线自由电子激光装置数据采集软件建设进展和展望

相应作者: yincc@shanghaitech.edu.cn

大会报告 / 94

磐石·科学基础大模型