



9月-12月考核报告

报告人：杨宣政

导师：朱科军

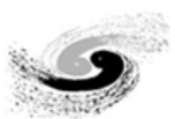
中国科学院高能物理研究所 触发与数据获取组

2025年12月25日



目 录

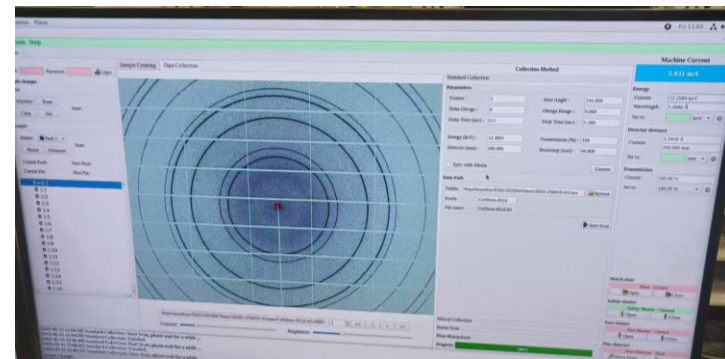
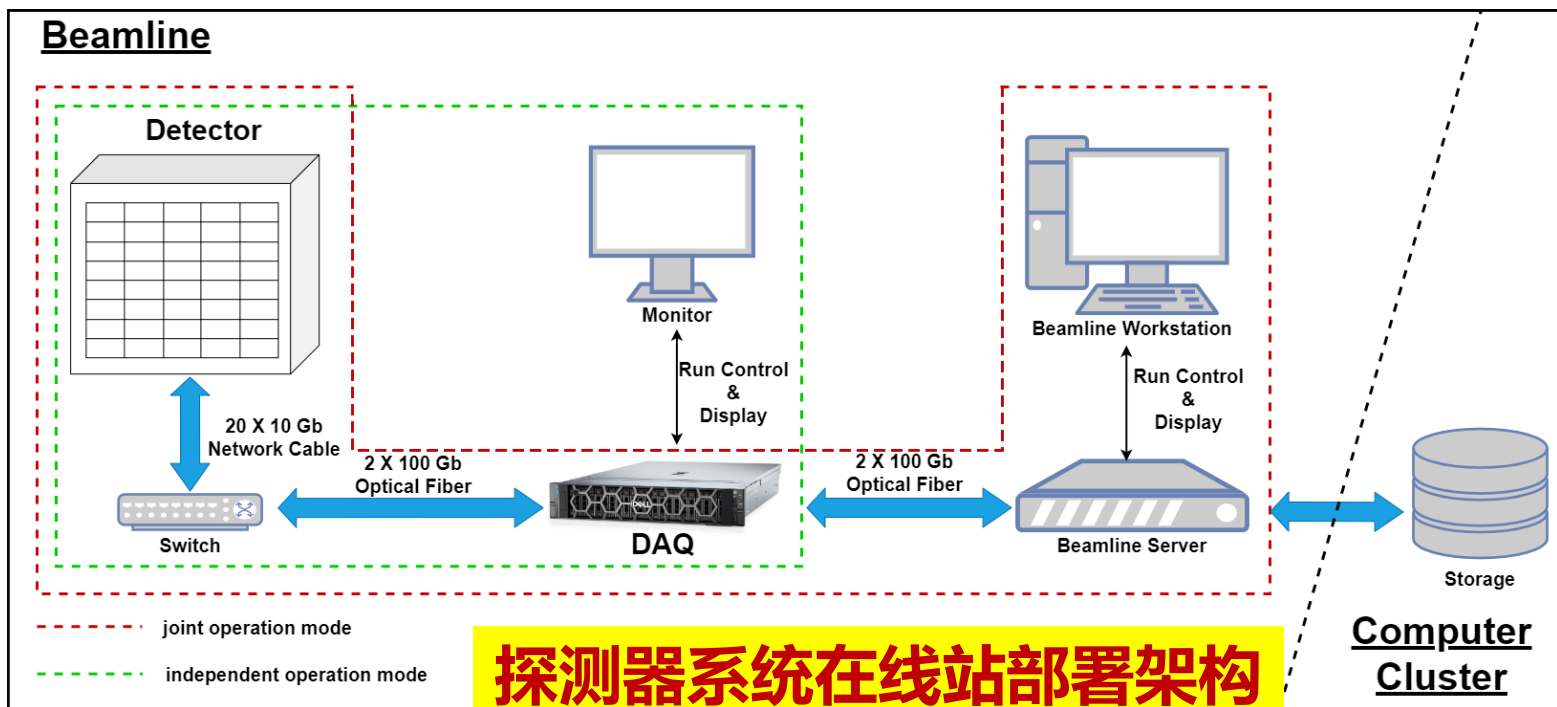
- ◆ 研究背景
- ◆ HEPS-BPIX4 DAQ
 - ◆ 功能开发
 - ◆ 高性能数据流方案研究
 - ◆ 异构加速研究
- ◆ 工作总结与下一阶段计划



研究背景

HEPS-BPIX4 6M 是高能所正在进行自主研发的第四代硅像素探测器

- 工作围绕 HEPS-BPIX4 6M DAQ 展开研究
- 全链路调通后，9-10月在线站进行了多次预实验和调试，确保顺利完成线站验收
- 需要对DAQ功能进行开发和优化



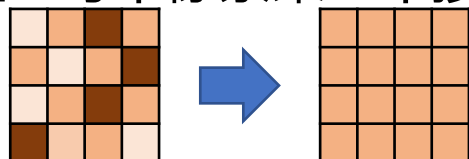
**HEPS 软件成功接收
BPIX4 探测器图像数据**



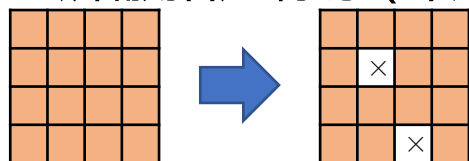
功能开发

增加平场校正和像素遮蔽功能

- **平场校正原理：**每个像素乘一个接近1的校正系数

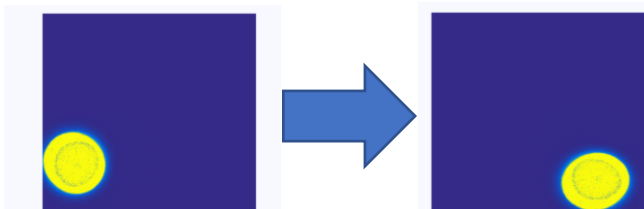


- **像素遮蔽原理：**屏蔽指定像素(坏点系数设为0)



- **功能实现：**平场校正和像素遮蔽合成一个**系数表** (.csv)，加载系数表，实现像素和系数相乘

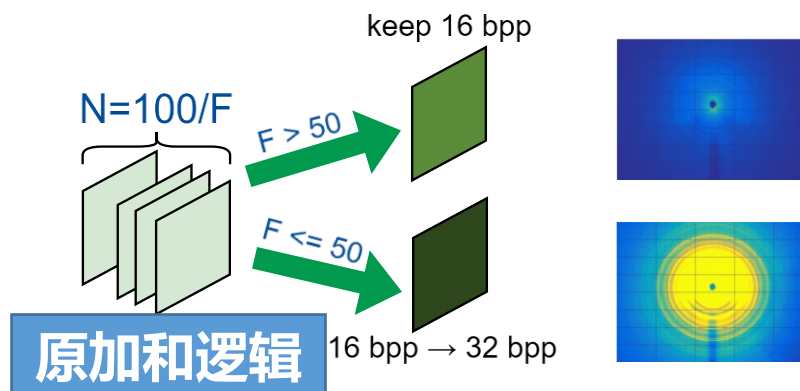
增加图像旋转功能



- B9 线站需要将模块旋转90度摆放做实验

修改加和逻辑

- **DAQ 将多帧数据叠加成一帧**



- 原先逻辑不符合用户需求，需要修改：
 - ◆ 叠加张数(0-65535)和**数据位宽**(16/32bit)改成**独立设置**
 - ◆ 用户参数**计算**后得到探测器配置的**实际参数**
- 参数的**计算和配置分离**，提高 DAQ 的可维护性
- 切换位宽无需重新初始化，可**快速切换配置**

处理业务全部实现，功能满足实验需求



高性能数据流方案研究

数据处理业务分析

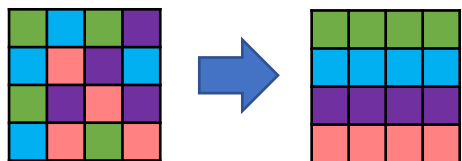
映射转换

像素修正

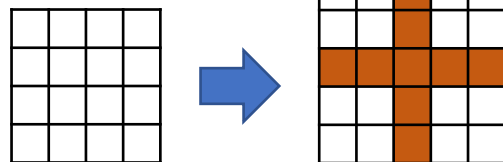
平场校正

模块拼装

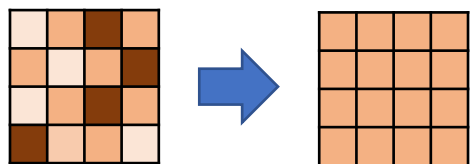
映射转换： 模块原始数据 -> **位置重排序** -> 模块图像数据



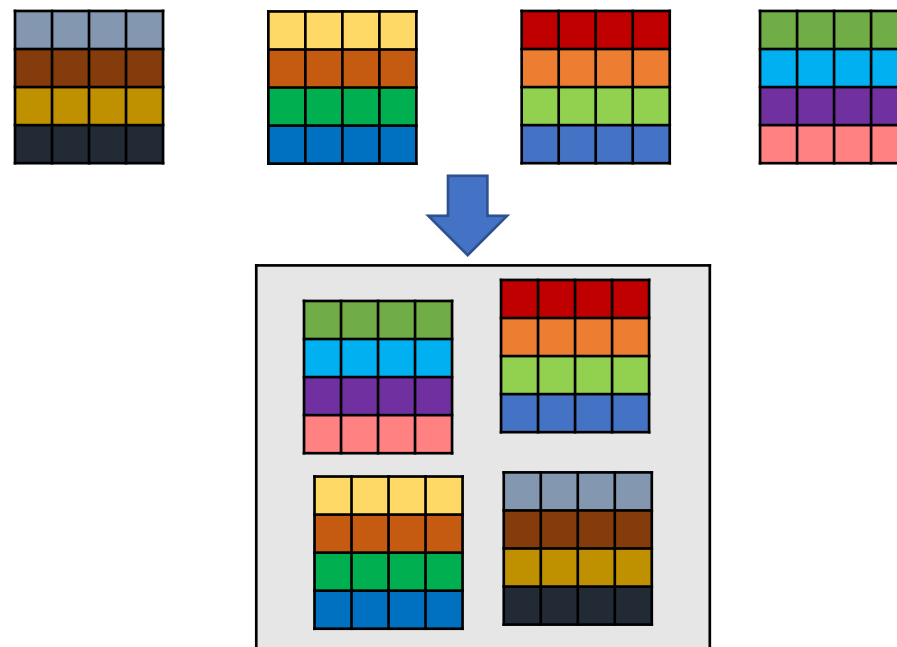
像素修正： 模块内插入行/列，并对插入区域及其相邻区域进行均值平滑处理



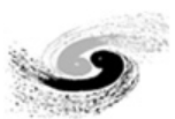
平场校正： 每个像素乘一个接近1的校正系数



模块拼装： 多个模块图像拼成完整一帧图像（模块间有缝隙，不完全对齐）



原先算法涉及多次拷贝和计算，多次优化后依然占用大量资源

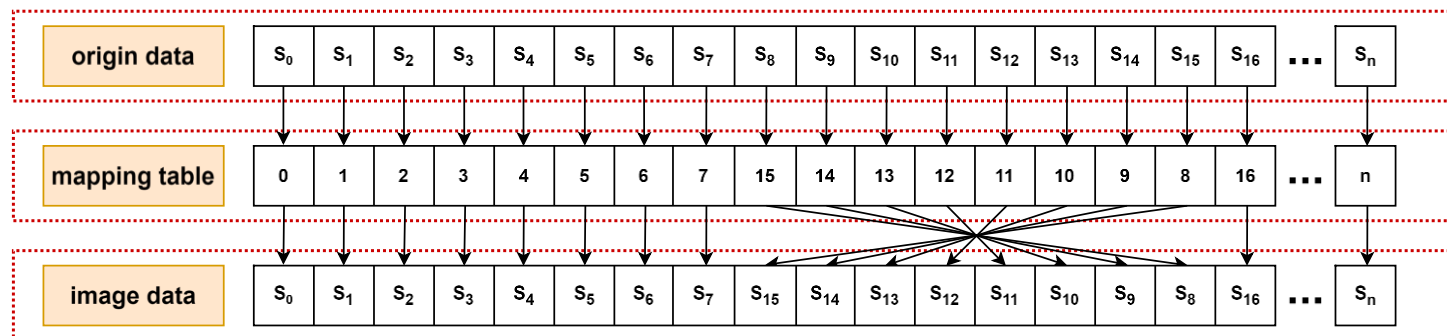


高性能数据流方案研究

处理算法优化

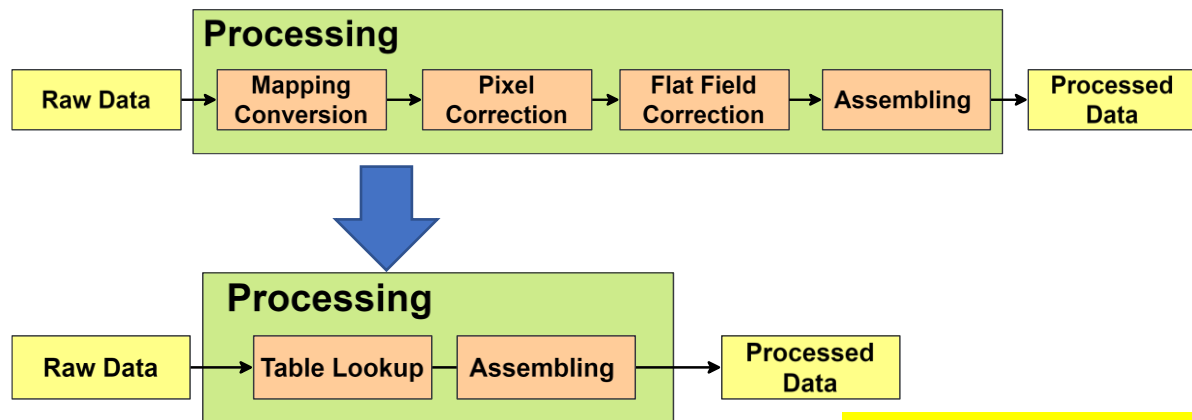
索引表处理算法

- 原始数据到最终图像数据的映射关系固定
- 映射表记录原始数据到图像数据的映射关系
- 通过索引表将原始数据重新排布



利用索引表合并数据处理

预先计算生成索引表，合并多个处理任务，减少拷贝以及计算开销



处理功能实现	一帧耗时	预估 2KHz 占用逻辑核
映射转换	3.56 ms	8
映射转换索引表	4.28 ms	9
像素修正	5.2 ms	11
像素修正索引表	6.8 ms	14
平场校正	5.9 ms	12
合并索引表	8.31 ms	17

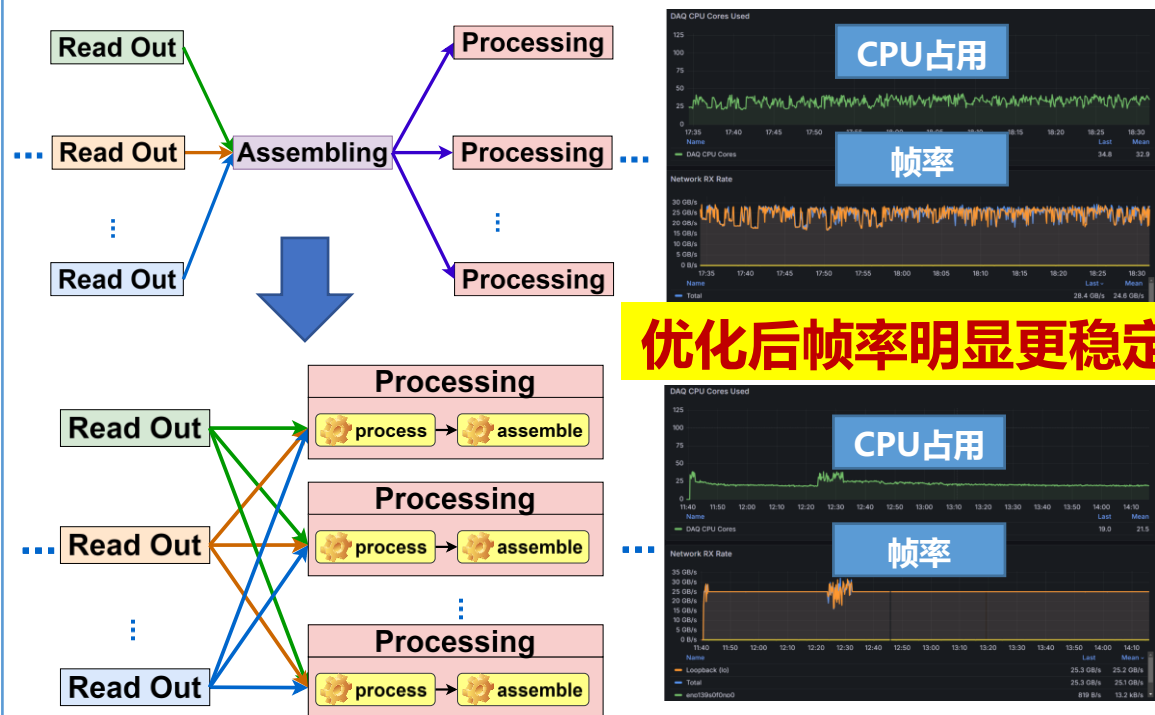
随着处理算法的数量和复杂度增加，索引表的性能提升会越来越明显



高性能数据流方案研究

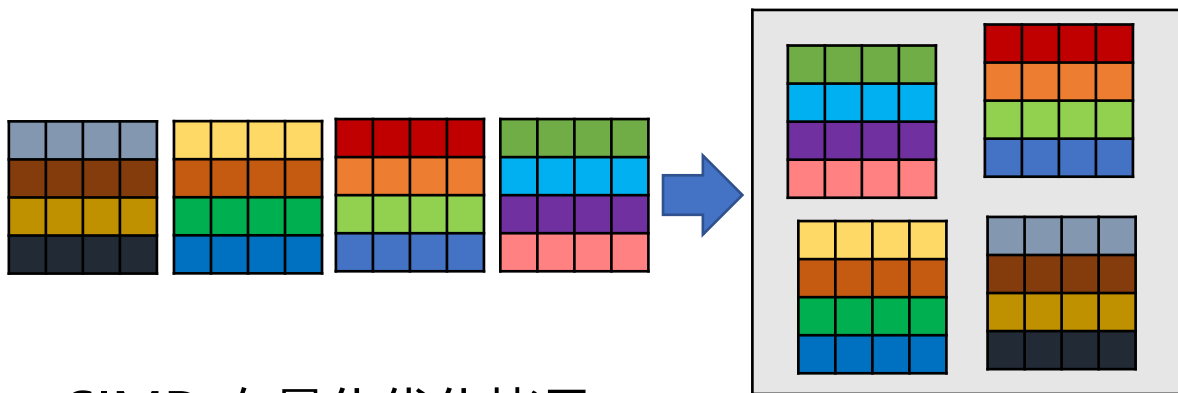
重构数据流架构

- 单个的组装线程成为性能瓶颈
- 减少冗余数据流转：去除组装，让处理模块完成数据处理和装配



模块拼装性能优化

模块拼装：多个模块图像拼成完整一帧图像

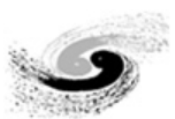


- SIMD 向量化优化拷贝

- ◆ 一次复制 **64 字节**
- ◆ 先处理对齐部分，再处理尾部
- ◆ 局限：数据不是 64 字节对齐，内存访问并非完全顺序

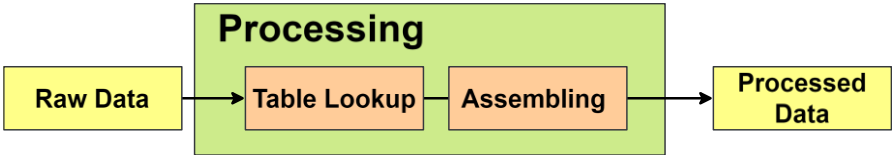
模块拼装	一帧耗时
Memcpy 拷贝	13.8 ms
AVX-512 拷贝	5.9 ms

性能提升2x↑，但数据特征限制了性能进一步优化



高性能数据流方案研究

处理性能瓶颈研究



基于perf report分析

Perf 可以查看进程的CPU执行情况
包括哪些函数消耗的CPU周期最多

模块拼装操作	占用比例
数据写入	33.14%
循环控制	26.84%
数据读取	18.69%
地址计算	12.6%
对齐检查	5.05%

操作分析	耗时占比
索引表处理	49.29%
模块拼装	47.17%

索引表处理操作	占用比例
随机读取	67.5%
循环控制	23.35%
顺序写入	5.77%
字节序转换	2.41%

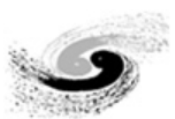
大部分耗时都在读写，优化空间有限

DAQ 实时处理性能达18000MB/s

(800 Hz)

功能模块	线程数
读出	20
处理	32





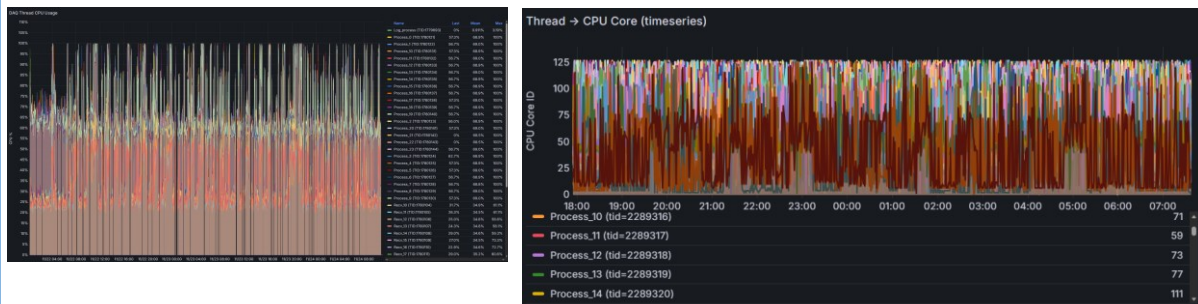
高性能数据流方案研究

开发性能监测模块

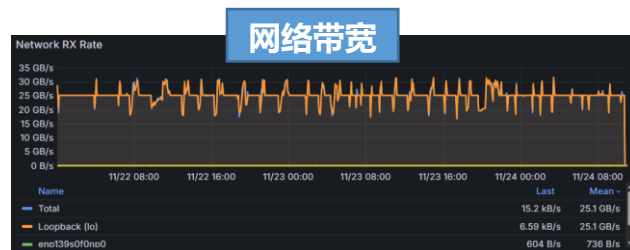
线程性能监测：比较线程各任务耗时占比，精确定位性能瓶颈



线程资源监测：记录各线程cpu占用和cpu核切换，寻找优化可能



系统监测：监控系统资源占用，评估daq整体性能表现



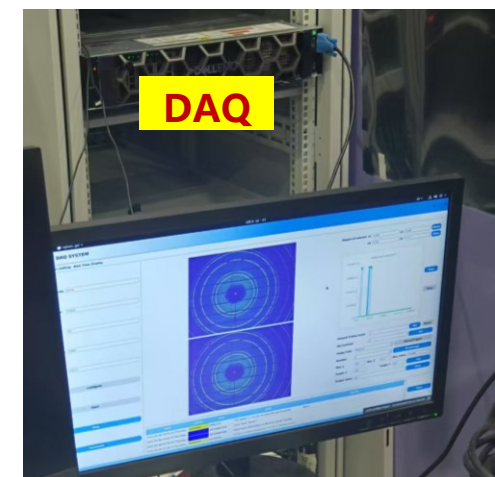
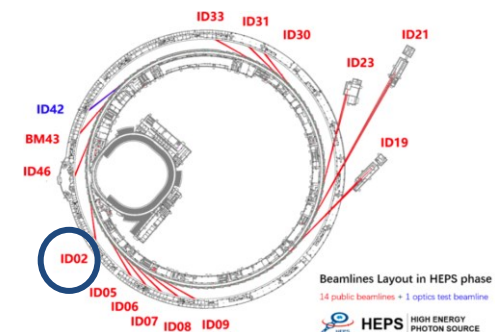
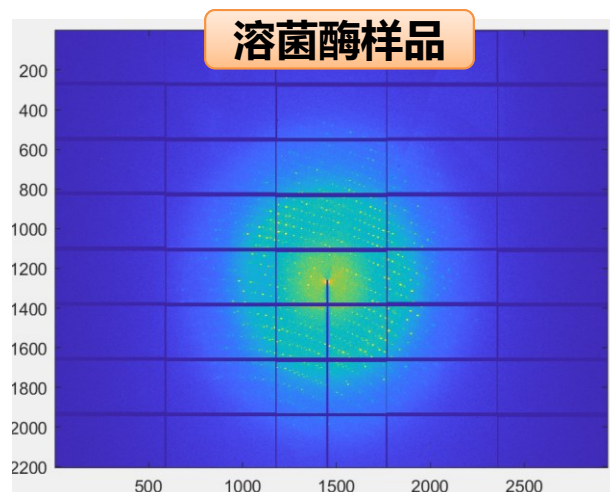
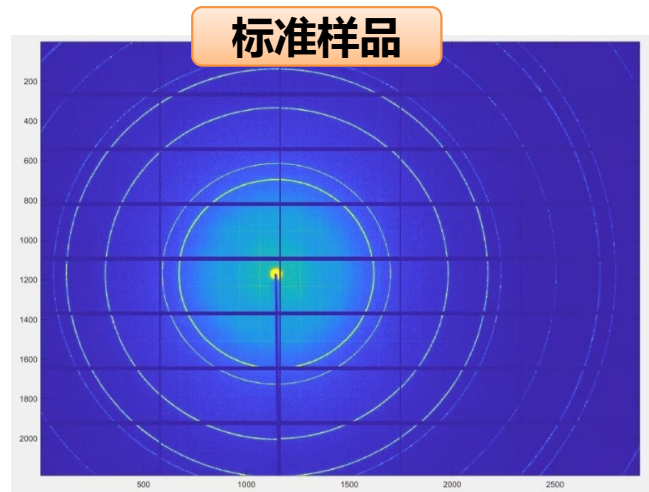
有效定位性能瓶颈，指导后续优化



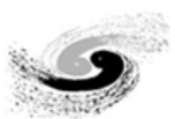
线站部署

线站部署及验证

- 10月：线站通过验收，DAQ 实现稳定采集，满足验收指标
- 12月：用户在线站开展实验，DAQ 功能稳定



HEPS-BPIX4 DAQ 在线站成功部署，为用户实验提供稳定支撑



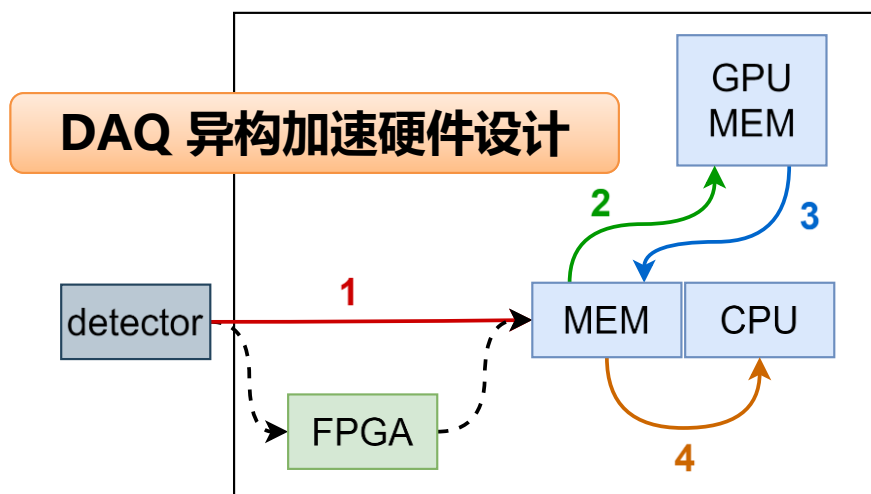
异构加速研究

针对高带宽像素探测器读出和处理，研究 DAQ 异构加速方案

异构加速方案

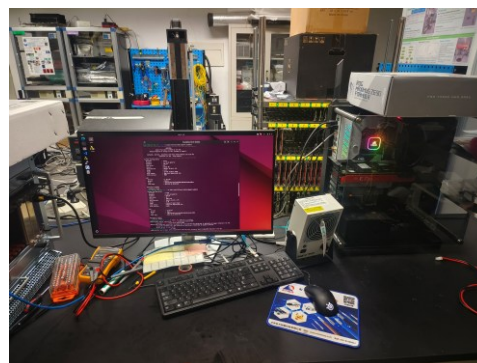
异构 DAQ 任务分工

CPU（逻辑控制）	格式转换、压缩
GPU（并行计算）	图像构建和图像质量优化算法
FPGA（低延迟处理）	数据读出与预处理



FPGA 研究

- 在服务器和工作站均尝试安装 FPGA 加速卡
- 安装了驱动和固件包后，**均发现 FPGA 没识别**
- 尝试了论坛发贴和联系官方，未得到解决
- 后续计划给 FPGA 恢复初始镜像
- 如安装不成功，则需购买国产 FPGA 加速卡

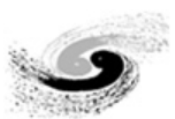


```
sheper@sheper-ADL-Ni:~/Desktop$ sudo /opt/xilinx/xrt/bin/xbmgnt examine
System Configuration
OS Name      : Linux
Release      : 6.8.0-64-generic
Machine     : x86_64
CPU Cores    : 24
Memory       : 64839 MB
Distribution : Ubuntu 24.04.3 LTS
GLIBC        : 2.39
Model        : System Product Name
BIOS Vendor  : American Megatrends Inc.
BIOS Version : 0803

XRT
Version      : 2.19.194
Branch       : 2025.1
Hash         : 7d8151e6ee73c6ec2e99501a58c9c2eca6cc68ce
Hash Date    : 2025-05-18 05:07:43

Device(s) Present
0 devices found
sheper@sheper-ADL-Ni:~/Desktop$ lspci -k | grep -A 3 -i xilinx
0000:01:00.0 Serial controller: Xilinx Corporation Device 903f
Subsystem: Xilinx Corporation Device 0007
0000:03:00.0 Ethernet controller: Broadcom Inc. and subsidiaries NetXtreme II BCM57810 10 Gigabit Ethernet (rev 10)
Subsystem: Broadcom Inc. and subsidiaries NetXtreme II BCM57810 10 Gigabit Ethernet
Kernel driver in use: bnxt2x
```

未识别加速卡



总结与下一步计划

工作总结

- 根据线站实验需求完成 DAQ 开发和修改
- 利用索引表实现所有处理算法，并优化模块拼装
- 优化数据流结构，构建高性能数据流框架
- 开发性能监测模块
- BPIX4 DAQ 在线站完成调试，已交付用户使用

下一步计划

- 根据后续实验场景优化 DAQ 功能
- 实现多 GPU 扩展方案
- 安装部署 FPGA 加速卡，实现数据读出与预处理

THANKS