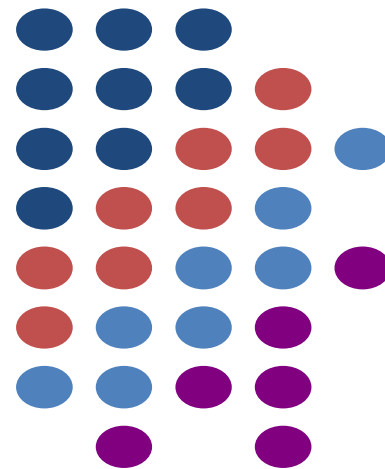




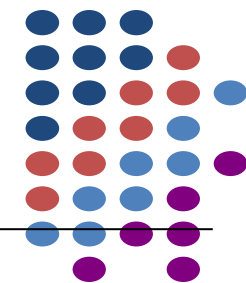
中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

十二月季度考核报告

学生：杨宣政
导师：朱科军
2023年12月28日



主要内容



- ◆ 单模块 DAQ 测试系统开发
- ◆ 单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 系统开发
- ◆ 性能测试与研究
- ◆ 阶段工作总结
- ◆ 下一阶段计划



HEPS-BPIX4 DAQ 介绍

HEPS-BPIX4 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 数据获取系统展开研究
- 根据性能指标，探测器最大读出带宽达到：

$6\text{ M} \times 16\text{ bit} \times 2 \times 1\text{ kHz} = 192\text{ Gbit/s} = \mathbf{24\text{ GB/s}}$

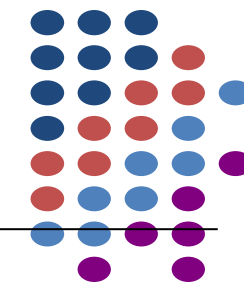
探测器	HEPS-BPIX4
像素尺寸	140 μm $\times$ 140 μm
模块大小	256 pixel $\times$ 576 pixel
模块数量	40
像素个数	6 M
能量阈值	2
最大帧频	1000 Hz
像素位宽	16 bit

- 探测面积大
- 空间分辨率高
- 采集帧频高
- 动态范围大



- HEPS-BPIX4 DAQ 系统特点
- 海量的数据**读出**
 - **高性能、低延迟**的实时处理
 - 可靠的**实时**存储
 - 高集成度+**部署空间**需求

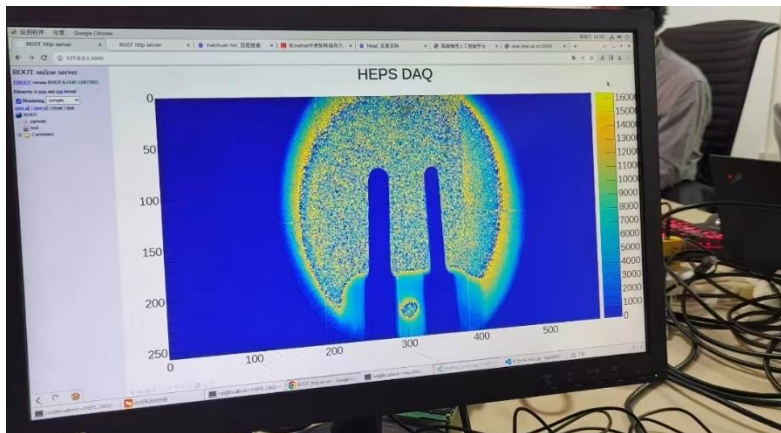
高性能指标对HEPS-BPIX4 DAQ 系统带来挑战



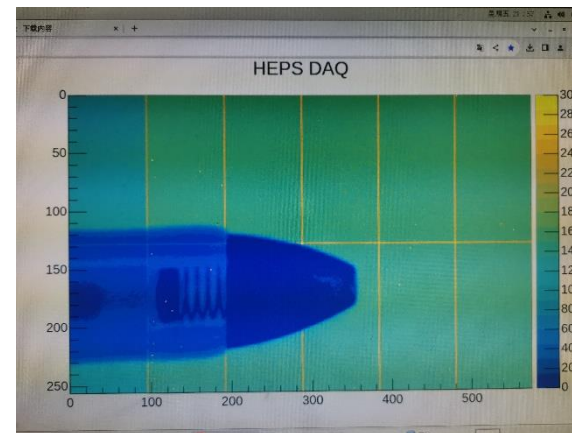
单模块 DAQ 测试系统开发

面向工程需求：短时间内开发了一套单模块 DAQ 测试系统

- 实现基本的 DAQ 功能
- 协助电子学进行单模块功能验证

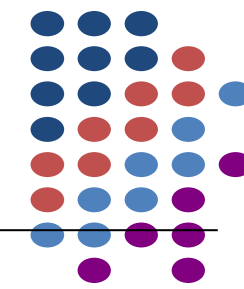


电子学联调



线站上光测试

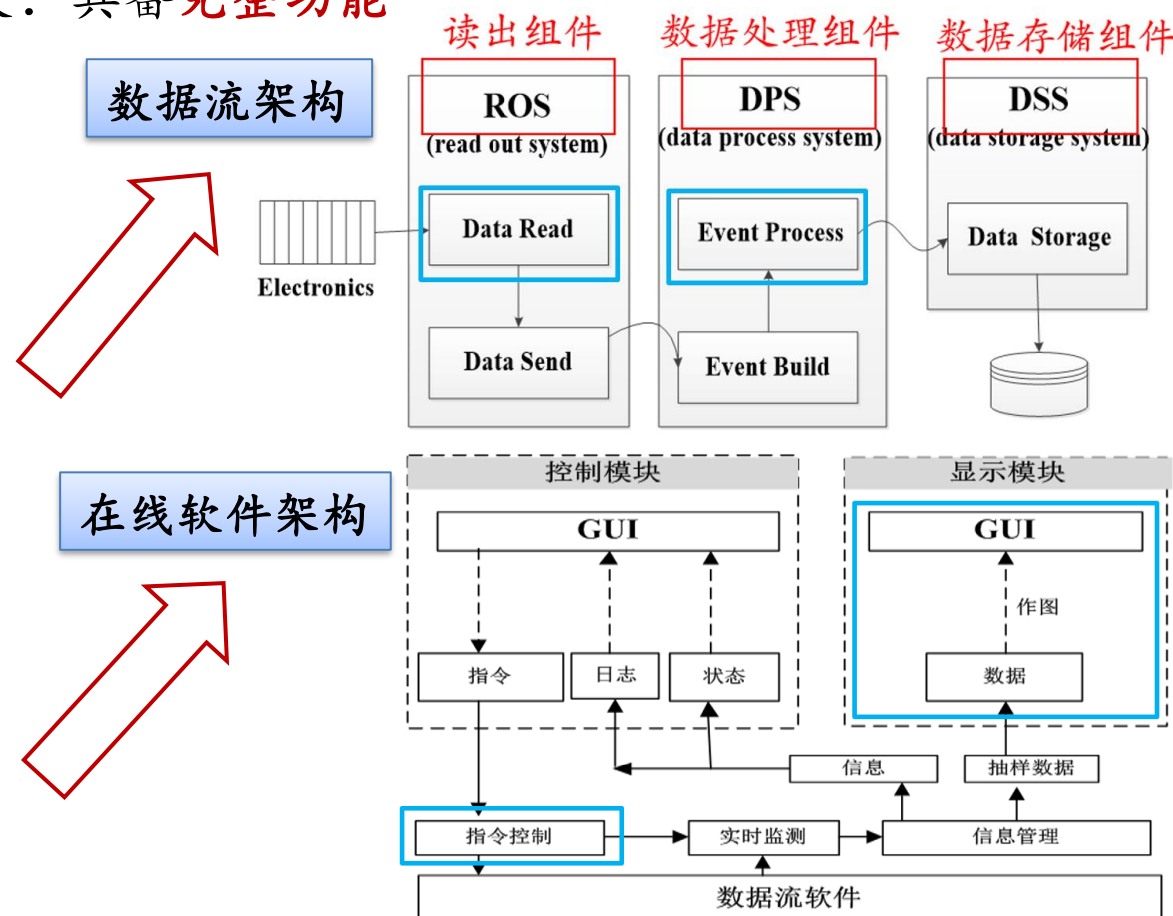
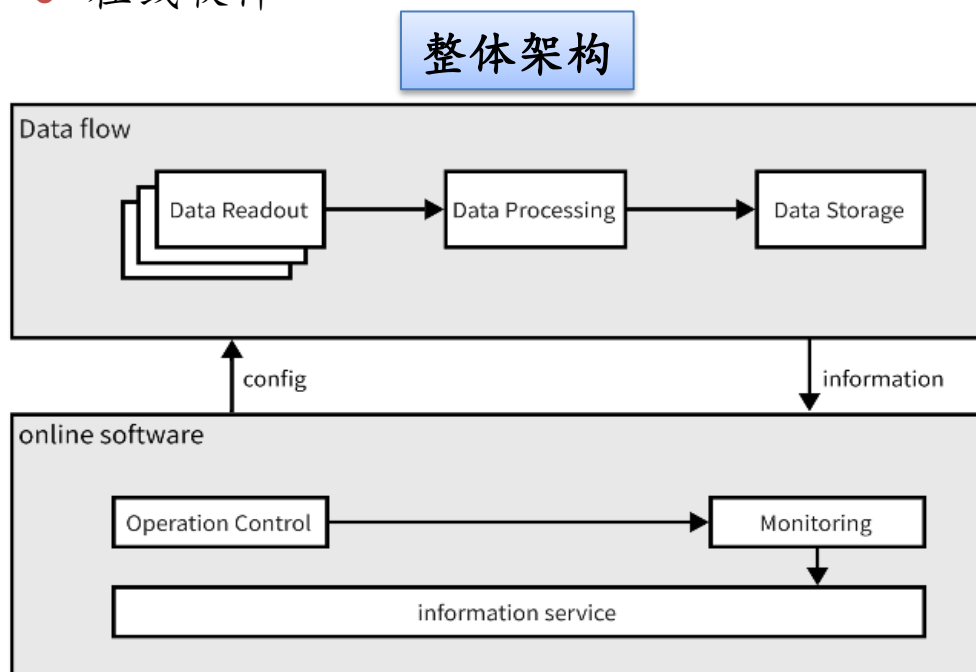
DAQ测试系统已经正式应用于10月份的上光测试，
DAQ成功完成和单模块电子学的联调测试，运行稳定



单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 开发-框架设计

DAQ 系统开发：应对单模块和多模块（低帧率）的调试与应用场景

- 基于 HEPS-BPIX3 的单机版 DAQ 框架开发：具备**完整功能**
- 基于单机高集成的HEPS-BPIX4 DAQ 系统
 - 数据流软件
 - 在线软件



对读出、数据处理和指令控制等部分进行相应升级

单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 开发-实现与联调

全面优化升级：适应 HEPS-BPIX4

■ 配置

- 芯片独立配置GDAC和LDAC→配合刻度需求
- 增加扫描 LDAC 功能→提升刻度效率

■ 取数

- 映射转换优化：3.2 ms → 0.5 ms

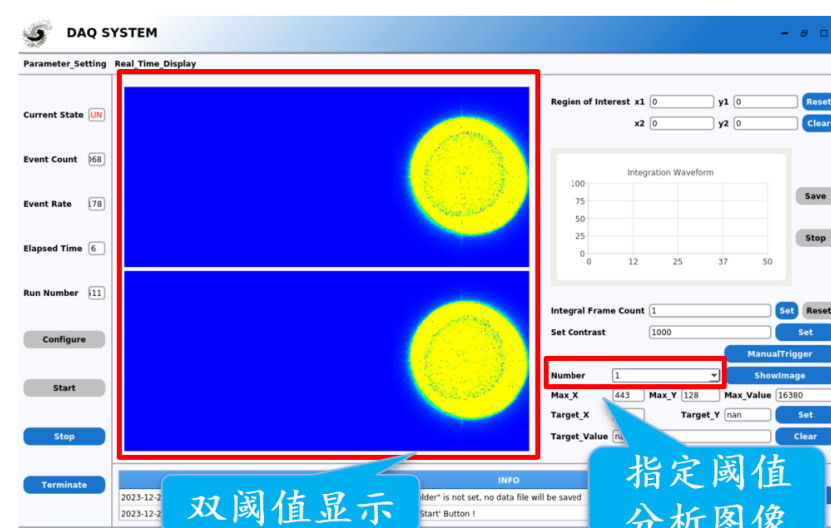
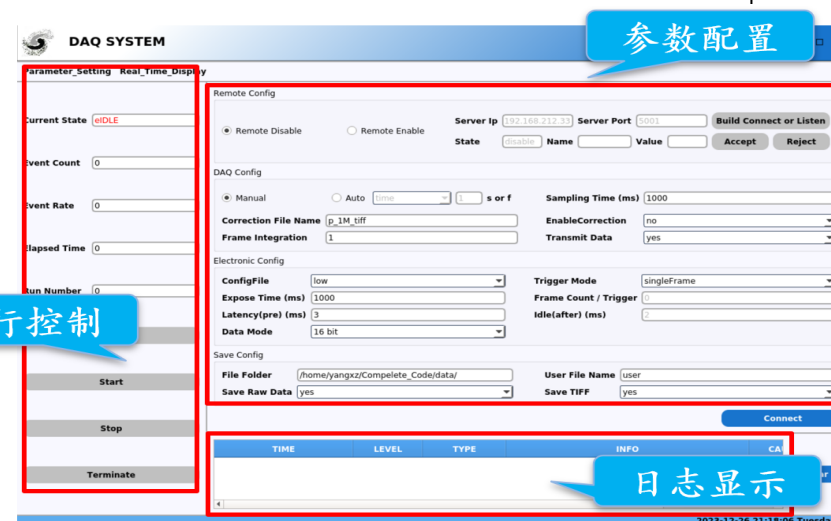
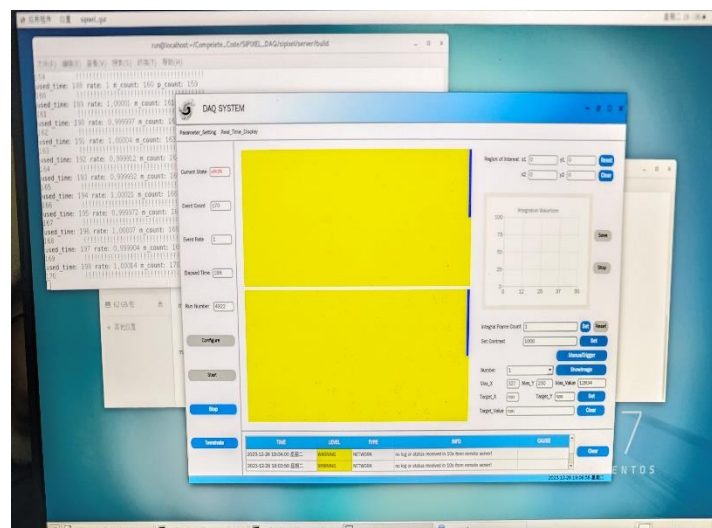
■ 存盘

- 双阈值tiff格式存盘

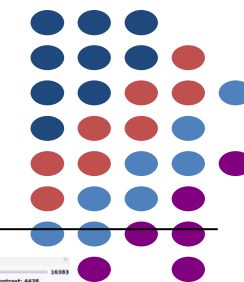
■ 图像显示

- 单阈值显示→双阈值显示
- 灰度图→伪彩图

完成单模块联调+刻度
能够满足探测器当前需求



单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 开发-模拟源测试

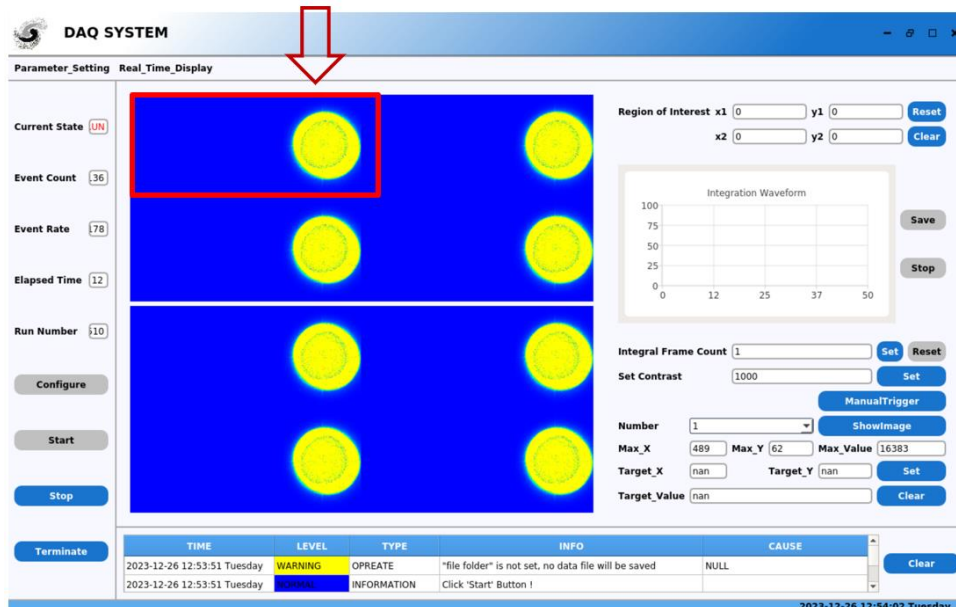


提前对数据获取系统进行测试：保障开发进度

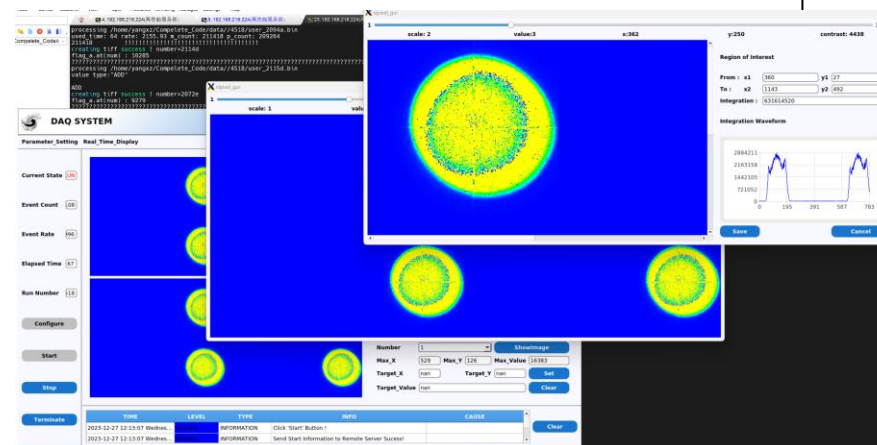
● 用 HEPS 模拟数据源模拟电子学工作场景

- 一个线程模拟一个电子学模块
- 多线程模拟电子学多模块发送

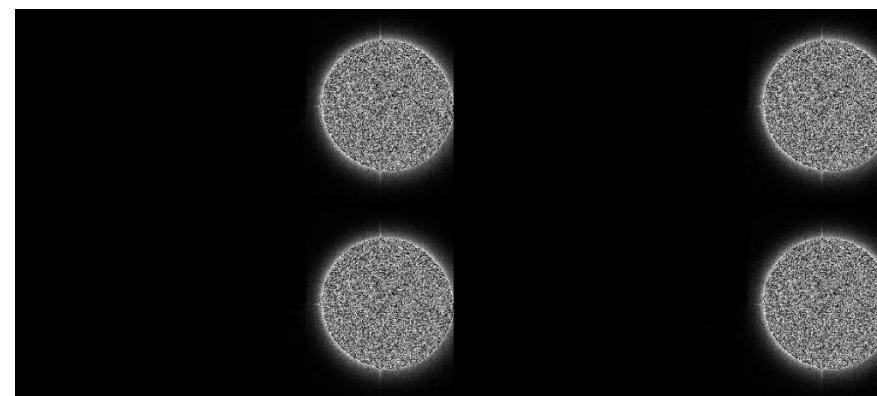
单模块真实数据



在线图像显示



在线图像分析



Tiff格式存盘文件

完成多模块 DAQ 功能验证



性能测试与研究

对单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 数据流进行性能验证

- heps01 作为数据接收端和单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 的节点
- daqheps 作为数据发送端
- 根据单模块DAQ的测试结果预估多模块所需资源

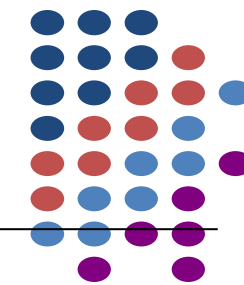
对单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 关键性能进行了全面评估

服务器	Dell PowerEdge R760 (heps01)
Linux 版本	4.18.0
CPU	Intel(R) Xeon(R) Platinum 8462Y+@2.8GHz
磁盘类型	NVME SSD RAID5
RAID型号	PERC 12
GCC 版本	11.2.1
是否多线程	单线程

HEPS-BPIX4数据流	
读 出	数据读出 + 检查
组 装	以每个模块为单位 拼接组装成完整帧图像
处 理	实时图像处理
存 储	实时全部存储

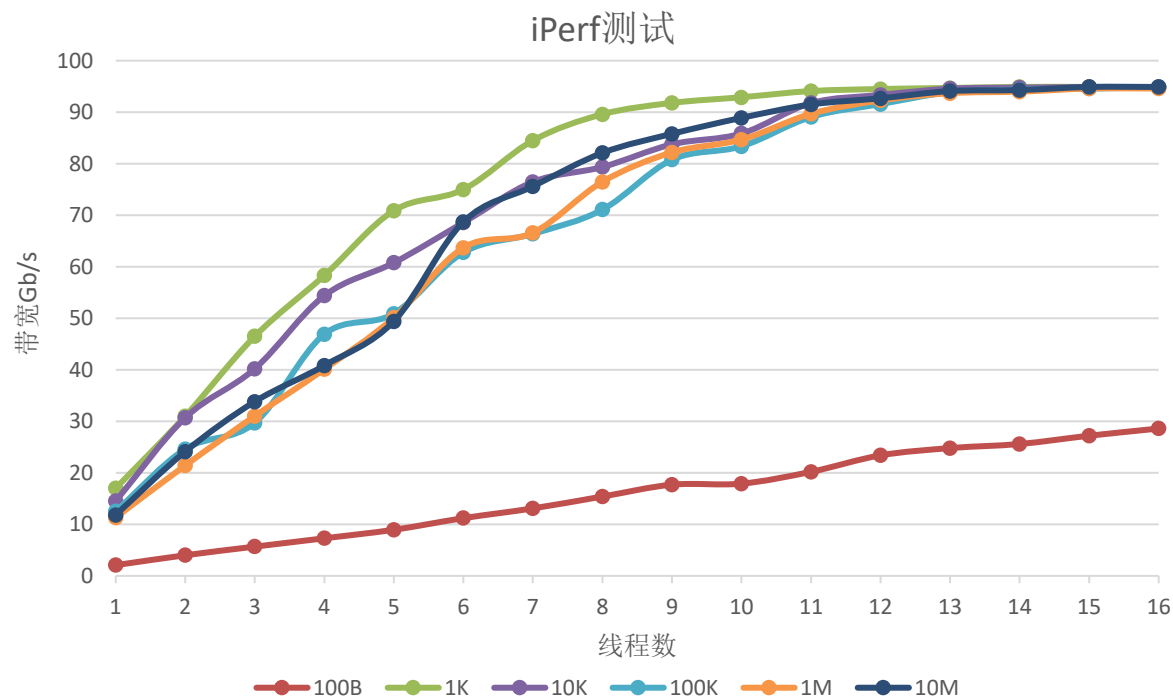
服务器名	daqheps(发送方)	heps01(接收方)
CPU型号	Intel(R) Xeon(R) Gold 6326 CPU@2.90 GHz	Intel(R) Xeon(R) Platinum 8462Y+@2.80GHz
CPU个数	2	2
CPU逻辑核数	64	128
是否开启超线程	是	是
占用逻辑核数	4	3
操作系统	Linux 3.10.0	Linux 4.18.0
网卡	100 Gbps网卡	

性能测试与研究-网络传输



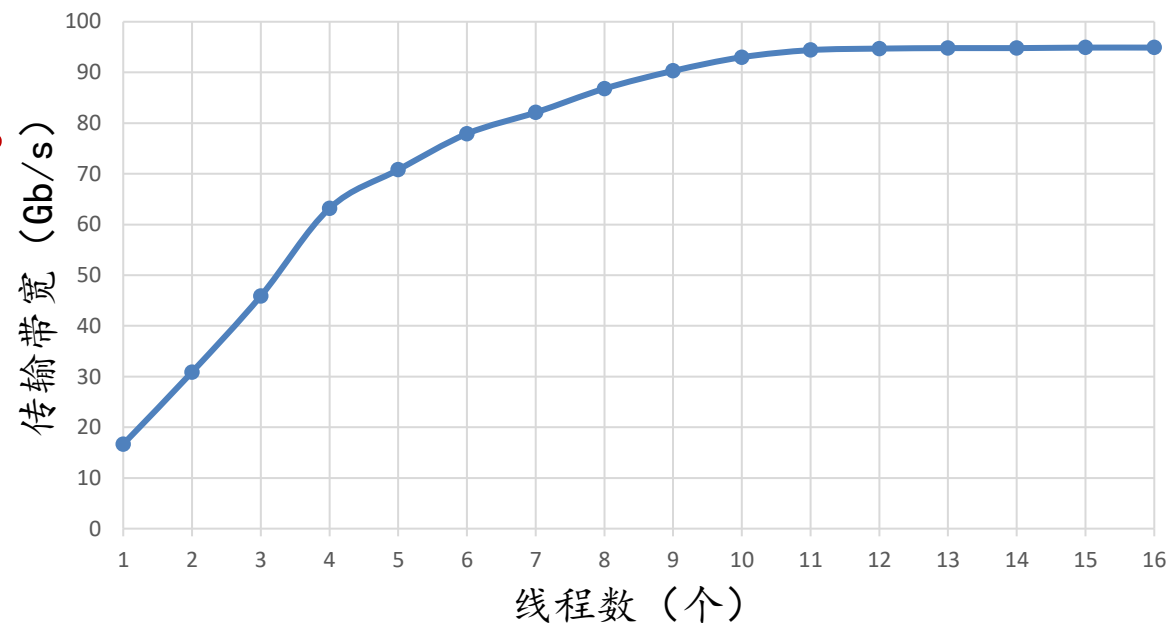
基于 TCP 的网络传输性能研究

- 设置数据包长为1 KB，每个线程测试 300 s
- 12 个及以上线程：网络带宽达到最大值 **94.9 Gb/s**



数据包在 1 KB 左右时网络带宽表现最好

1K数据包大小 iPerf测试



服务器名	daqheps(发送方)	heps01(接收方)
占用逻辑核数	10	4

实际传输时能充分利用 100 Gb 的网络带宽



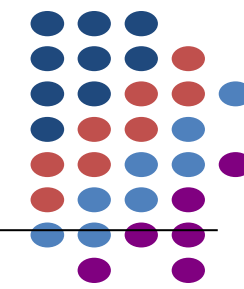
性能测试与研究-组装与数据处理

组装和数据处理性能研究

- ◆ 组装分为一级组装和二级组装
- ◆ 数据处理是数据流**最核心也是消耗计算资源最多**的部分
- ◆ 映射转换经过优化后对资源占用依然较高，还有待进一步优化

数据处理	单模块单阈值耗时	6M像素预估耗时(40模块双阈值)	预计占用逻辑核数
映射转换	0.487ms	~40ms	40
平场校正	0.087ms	~7ms	7
像素修正	0.029ms	2.3ms	3
转tiff格式	0.049ms	~4ms	4
一级组装	0.007ms	0.56ms	2
二级组装	0.015ms	1.2ms	

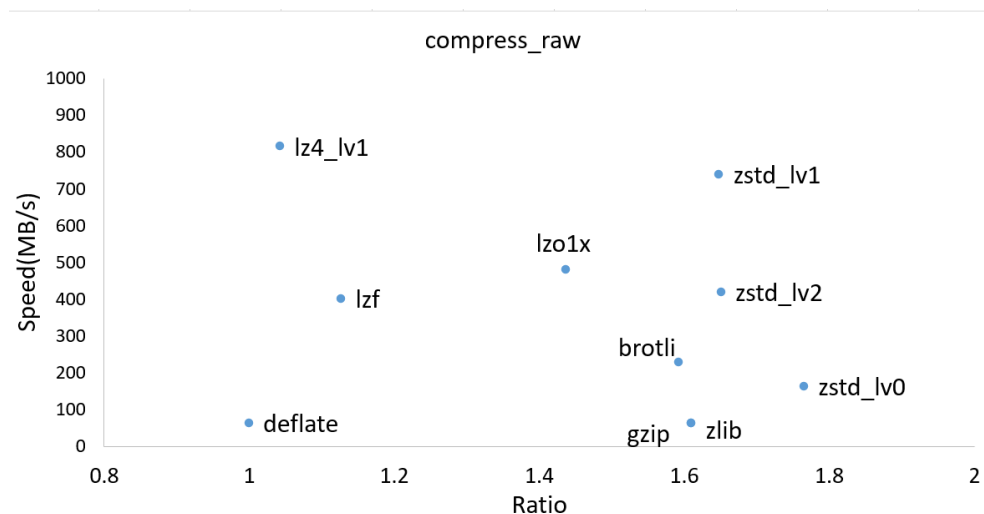
根据目前测试结果，单机资源能够满足数据流的基本需要



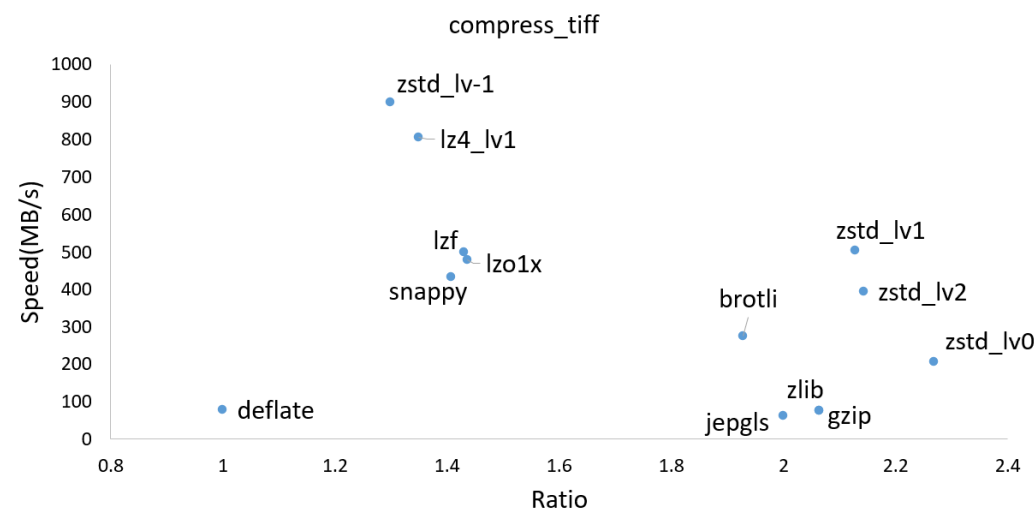
性能测试与研究-数据压缩

数据压缩：减轻存储压力（24 GB/s）

- ◆ 调研了适用于图像数据的多种无损压缩算法
- ◆ 对不同图像，测试不同算法对硅像素原始数据和tiff格式数据的压缩效果
- ◆ 结论
 - ◆ 根据目前测试结果，lz4和Zstd算法的表现较好，在大部分情况下满足需求
 - ◆ 由于不同图像压缩效果差异较大，还需要进一步研究

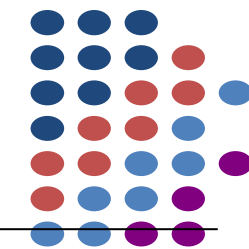


原始数据压缩



Tiff格式压缩

性能测试与研究-数据存储



高集成度需求：基于服务器本身完成数据存储

◆ 调研市面上各种高性能存储方案

- ◆ 选定服务器Dell PowerEdge R760 (heps01)

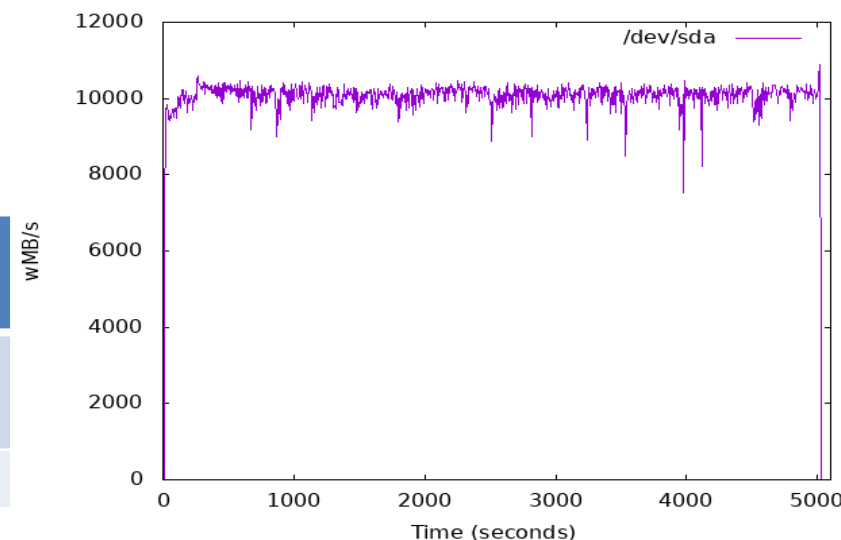
◆ fio写盘测试

- ◆ 单盘性能超过10 GB/s
- ◆ 双盘写入性能超过 20 GB/s

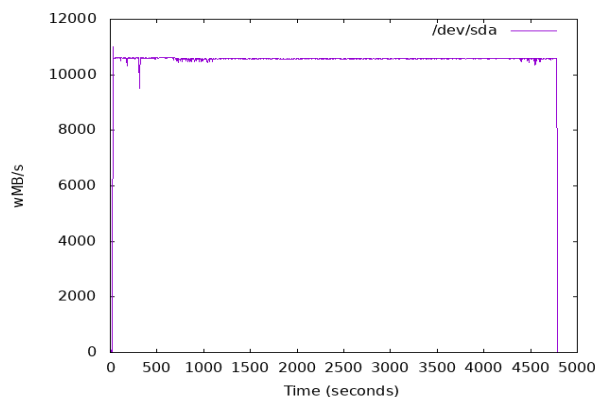
◆ C++程序写盘

- ◆ 用HEPS数据源发送单模块数据，用C++程序模拟实际情况取数存盘，测试**单盘性能达到10 GB/s**

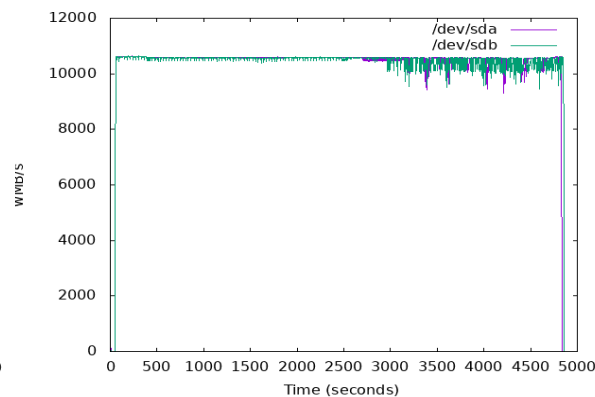
服务器	Dell PowerEdge R760 (heps01)
CPU	Intel(R) Xeon(R) Platinum 8462Y+@2.8GHz
RAID	Dell PERC12 (RAID5)



C++ 单盘写入测试



fio 单盘写入测试

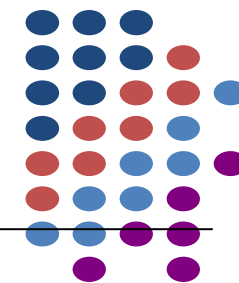


fio 双盘写入测试

heps01	fio单盘写入	fio双盘写入	C++单盘写入
写入速度	>10 GB/s	>20GB/s	~10GB/s
占用逻辑核数	14	20	14

单盘存储性能达到预期

阶段总结



- 单模块硅像素 DAQ 测试系统开发：成功用于上光测试
- 单机版 HEPS-BPIX4 DAQ 系统开发：完成多模块 DAQ 功能验证
- 性能测试与研究：单机资源能够满足 DAQ 基本需要
- 其他工作
 - 报名IEEE Real Time 2024会议，提交了摘要和支持文档
 - 配置服务器daq11-daq16和heps01的网络

下一阶段计划

- 进一步研究压缩和存储性能
- 进行单机版HEPS-BPIX4 DAQ 多模块联调测试
- 进一步提升单机版HEPS-BPIX4 DAQ 性能指标

THANKS

