

NEXT GENERATION DAQ FOR LXE-TPC

蔡畅 清华大学物理系

谌勋 上海交通大学物理与天文学院

2023年7月16日

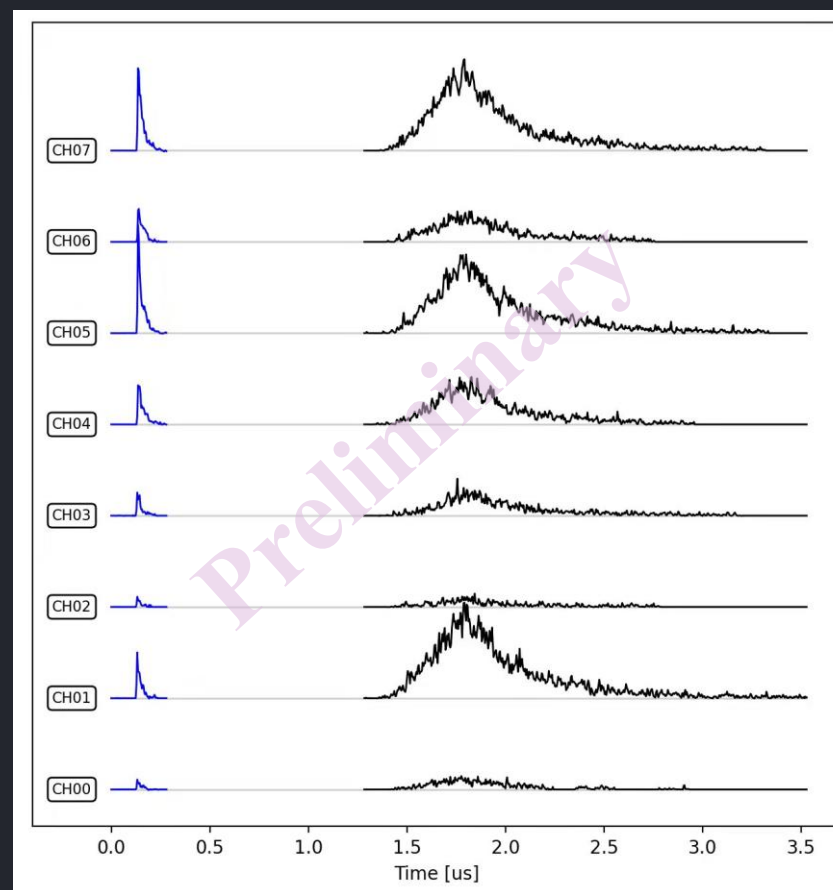
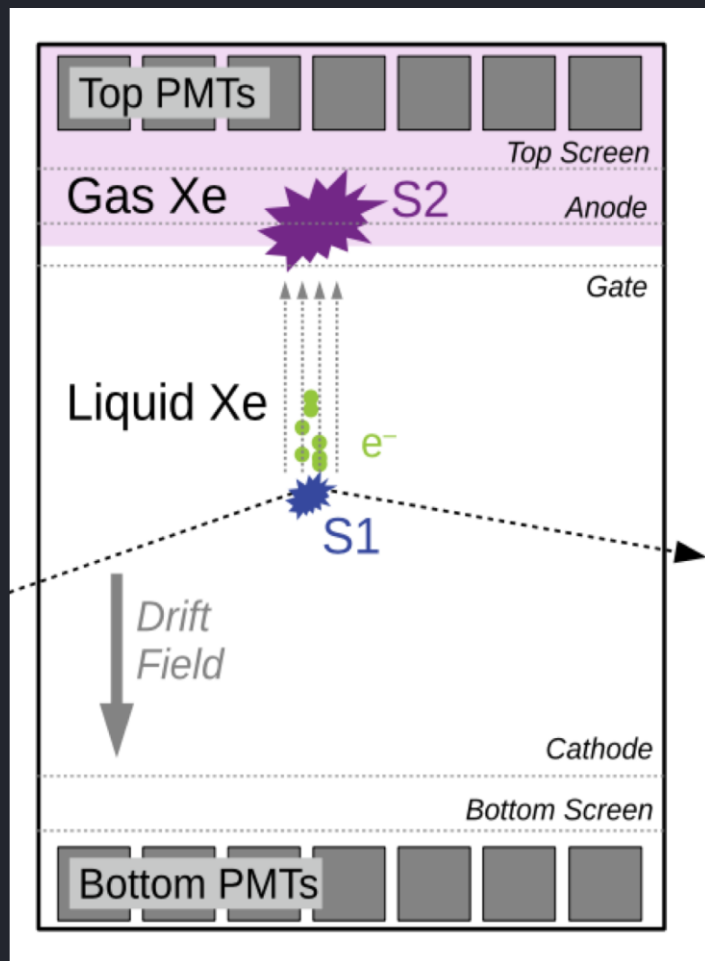


目录

- LXe-TPC探测器介绍
- LXe-TPC信号分析
- DAQ程序架构及分页内存介绍
- 未来展望



LXeTPC 探测器介绍



Lxe-TPC信号产生示意图[1]



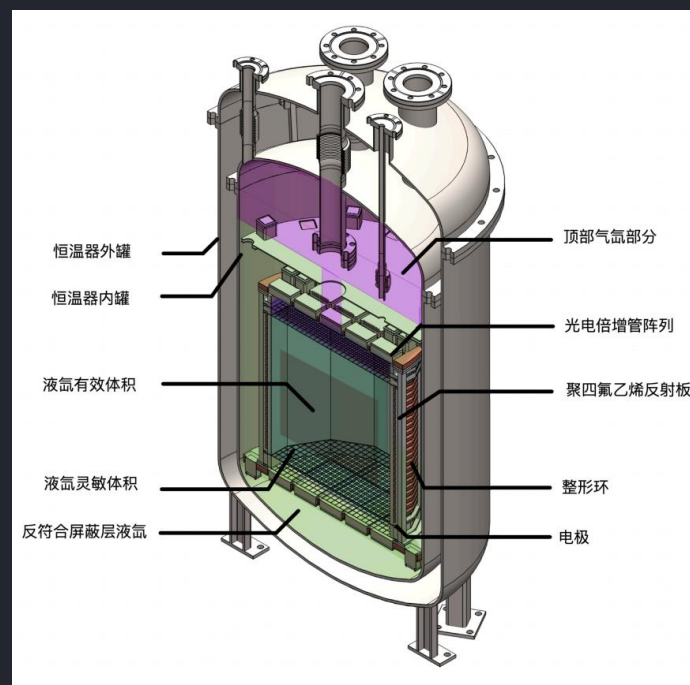
NG DAQ两类应用场景

PANDAX, LZ, XENON ...

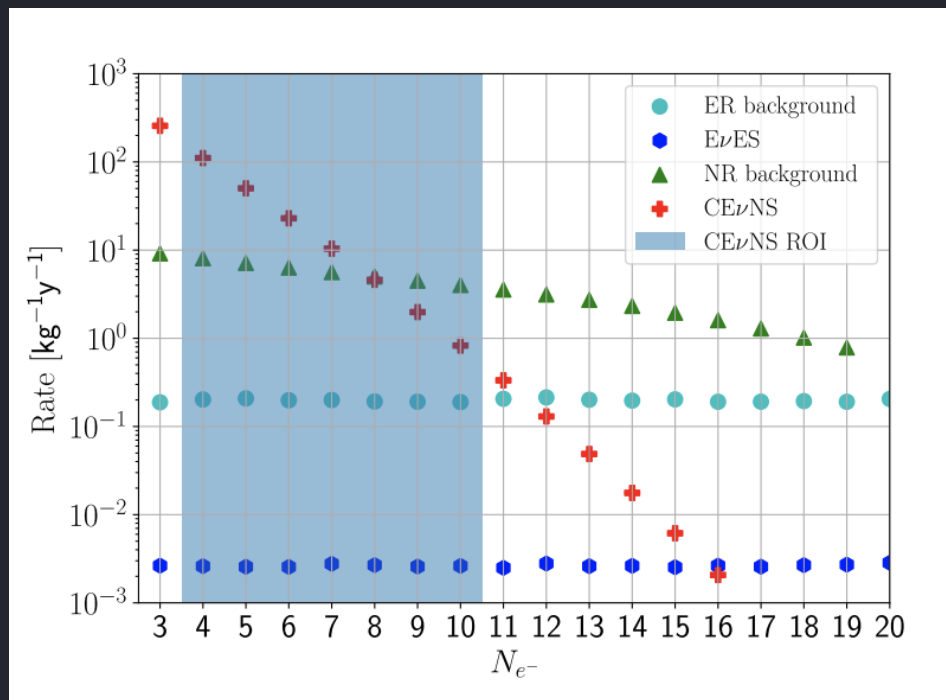
- 更低的实验本底
- 更大的有效质量
- 更多的探测器通道数

RELICS

- 探测反应堆中微子相干弹性散射
- 有效质量相对较小
- 地面实验室，更高的宇宙线本底



CEVNS信号特征

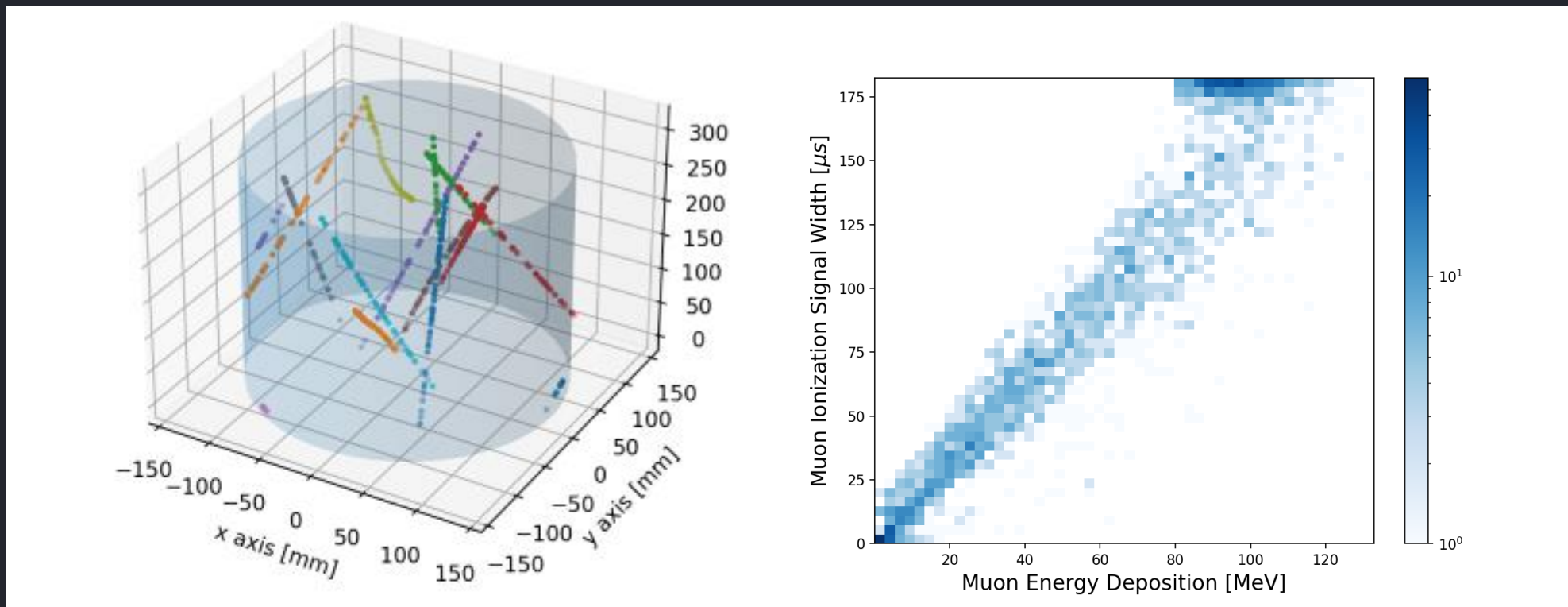


RELICS预计CEVNS与本底事例率

- 需要探测的中微子核反冲能量最低在1keV以下；
- 数据采集与数据处理至少对4电子信号保持较高的探测效率，争取将探测阈值降至3电子信号；



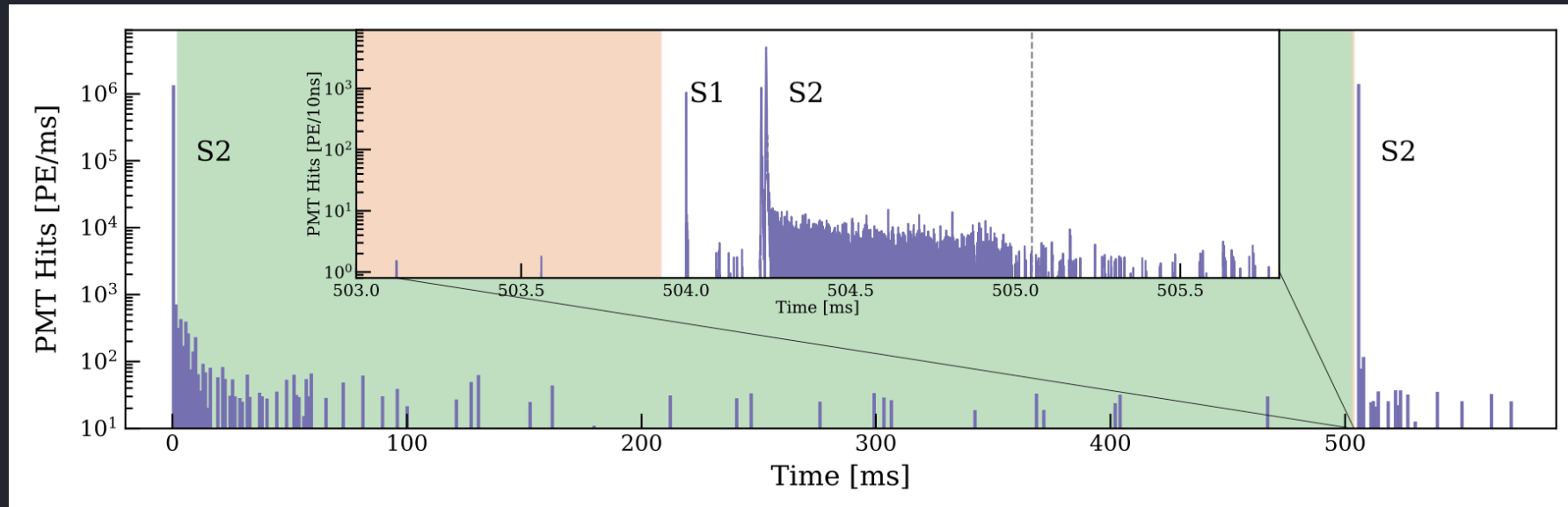
DAQ挑战：MUON信号



- 对于地面实验室的LXeTPC， Muon Rate会远高于同类型实验($O(10)$ Hz)；
- 较长的信号导致通道长时间出发，形成较大数据流量, ~ 10.25 MB/event;



延迟电子本底

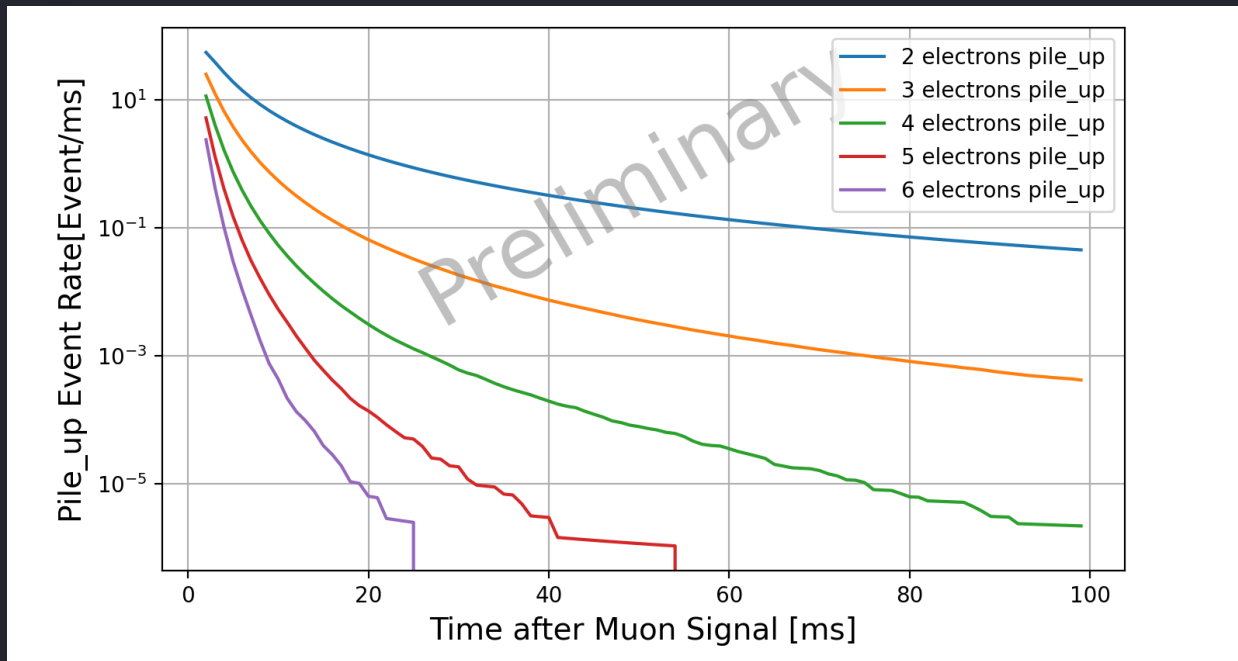


LXe-TPC中延迟电子本底[2]

- 当无关的电子在一定的时间间隔内产生时，会被数据处理软件识别为多个电子构成的单独信号（Fake Event），对CEVNS分析造成干扰；
- 大量的单电子信号会对数据流量构成挑战；



Muon 延迟电子本底时间分布



- 若实验中延迟电子寿命过长，仅时间上的veto无法进行有效去除；
- 根据XENONIT的数据结果，长寿命的延迟电子至少为前S2信号电子数的0.1%[2]；
- 需经DAQ传输至服务器，通过数据处理流程进行去除；



地面探测器信号特征

物理目标：
CEVNS信号 ≥ 3 electrons

需要采集延迟电子
本底，进行鉴别

需要采集muon主
体信号获取信息

延迟电子本底至少延续200ms

- $O(10)$ HZ的muon信号(128channel, 30mm height, 15mm radius):
 - Muon main s2 size ~ 10.25 MB/event
 - Muon induced delayed electrons ~ 7.6 MB/event
- ADC获取的数据大小悬殊，且数据传输过程中所需时间不确定

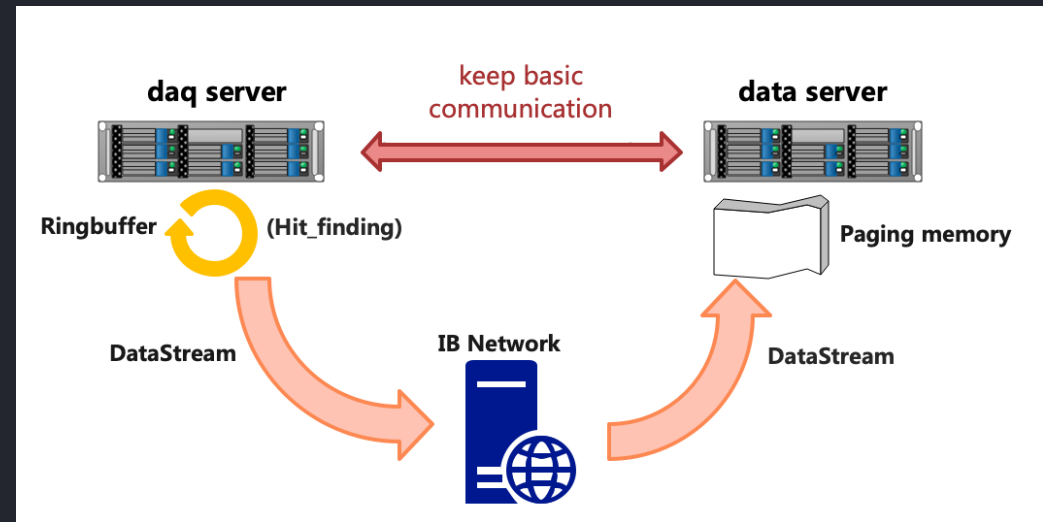
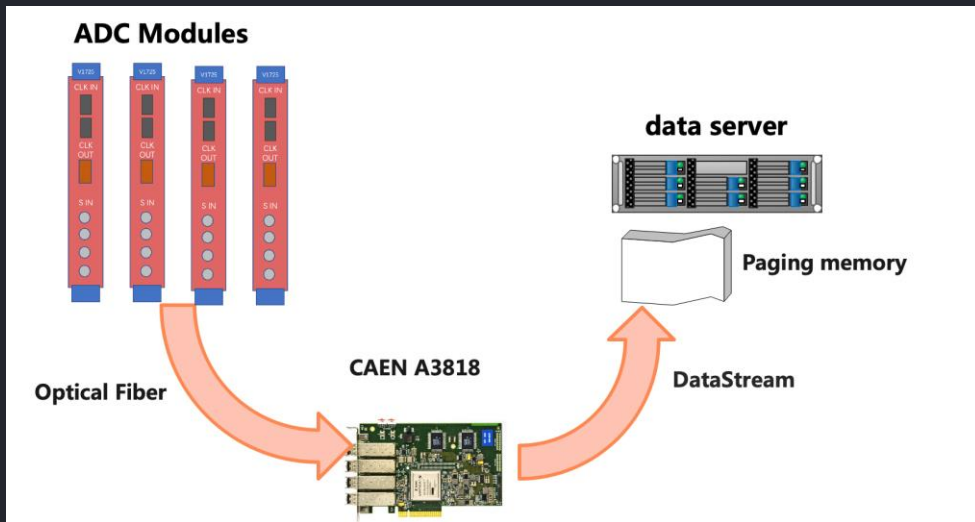


NG-DAQ设计目标

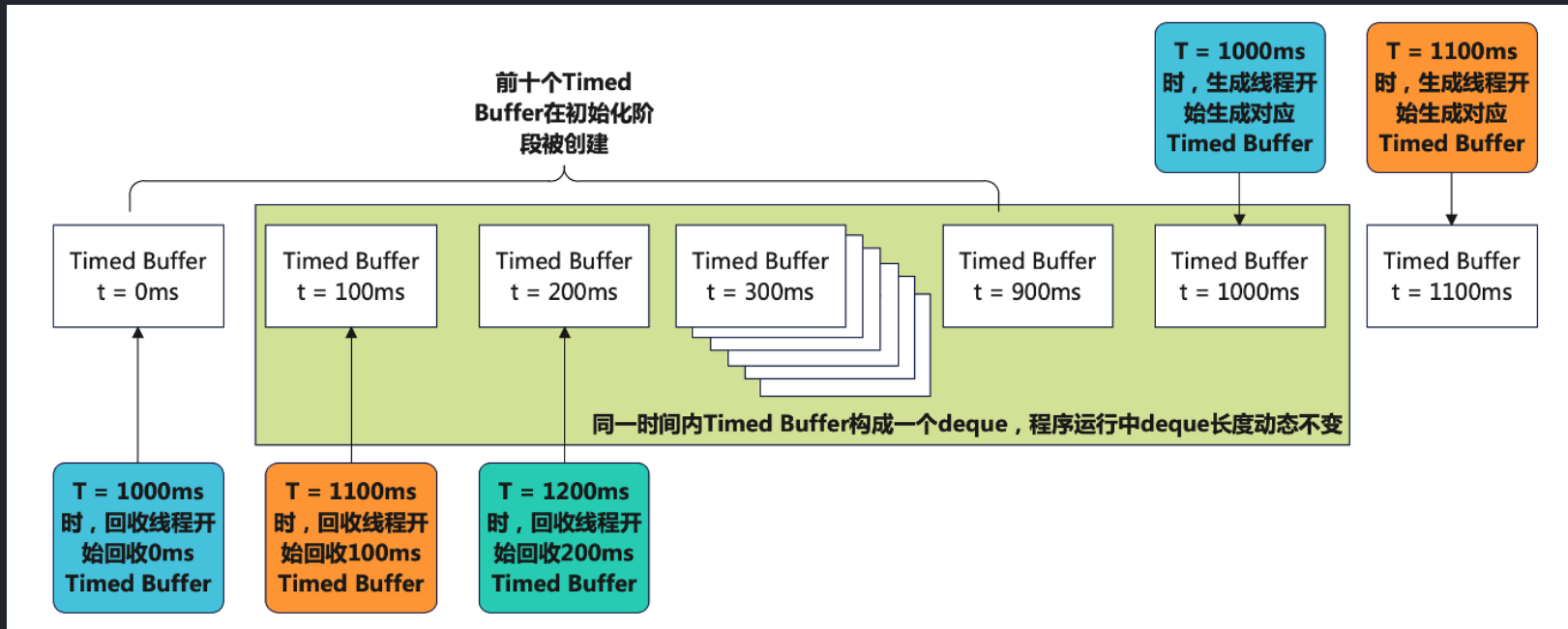
- 程序设计模块化
- 高拓展性，兼容不同的读入模块
- 高数据流量，更多通道写入
- 快速的时间排序
- 前级信号采集无死时间，自触发



DAQ框架



分页内存：无数据丢失+时间排序



分页内存示意图，以长度为十的队列为例

- 多线程获取数据；
- 数据不完全按照时间顺序到达DAQ服务器后存储至对应内存块；
- 写入时保存数据至buffer，同时记录头文件信息；
- 输出时按照头文件中的波形开始时间排序，之后根据指针地址+长度输出





45ms



0-100ms



100-200ms



200-300ms









?

98ms



102ms

100-200ms



45ms

82ms

0-100ms



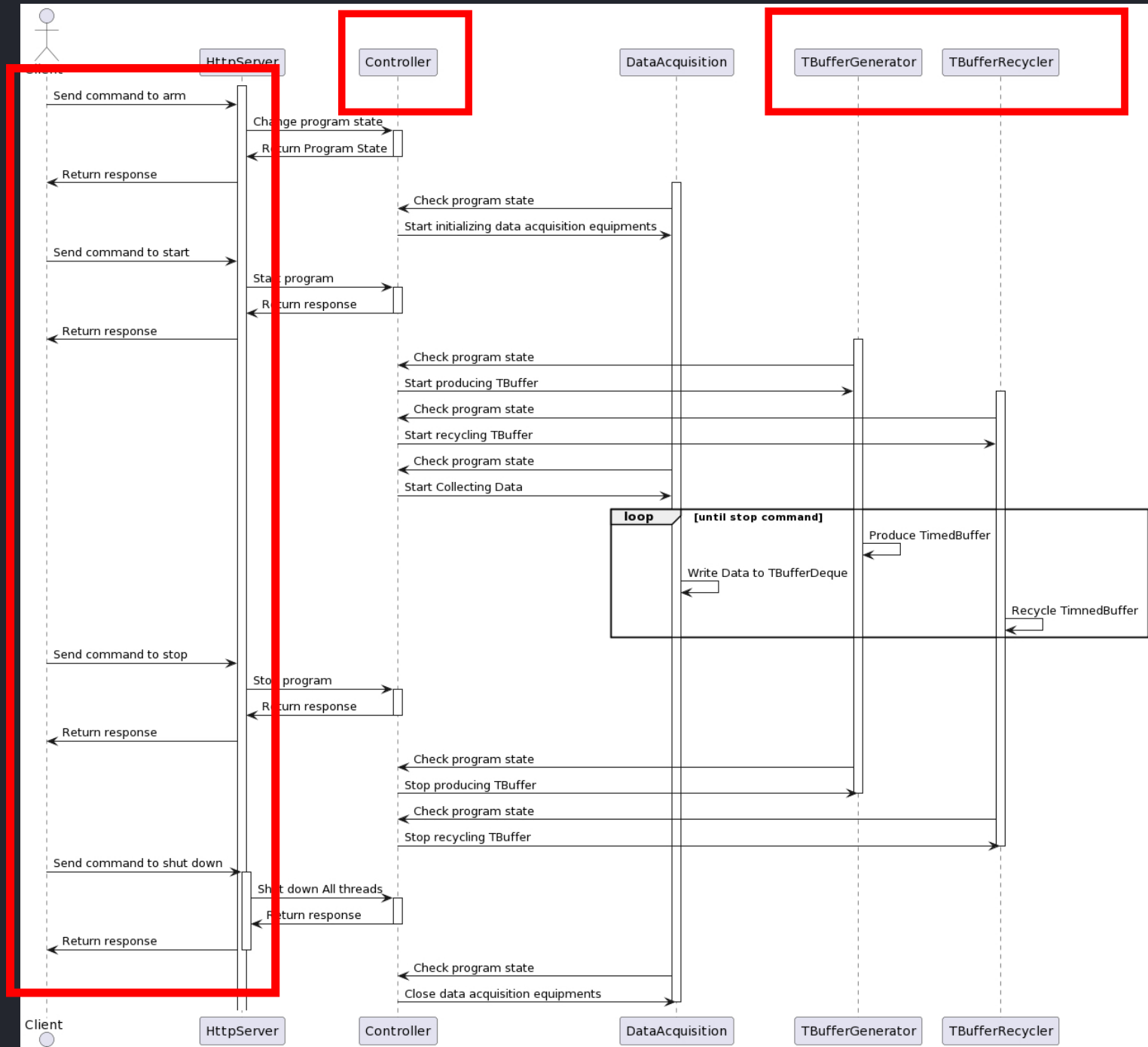
200-300ms

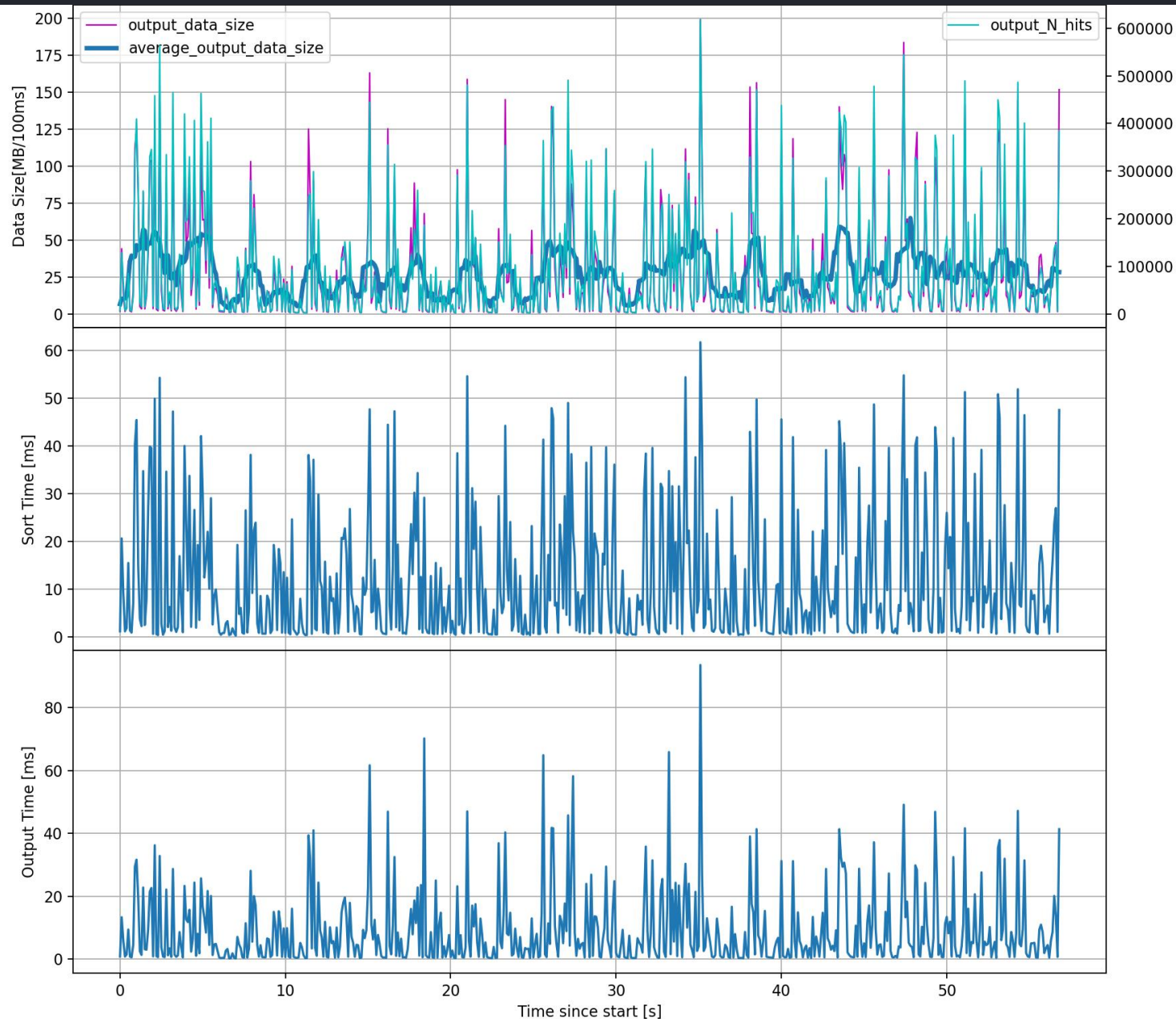




多线程控制分页 内存生成与回收

交互部分，
采用http与
DAQ主机通讯，传递控
制命令





- 测试数据来源于PandaX实验的Radon220源标定数据模拟生成;
- 人工随机延迟为5ms;
- 平均数据流量为269.8 MB/s, 部分区间 (2.5s~5s) 达到358.0 MB/s以上;
- 波形排序及数据输出部分, 每100ms数据对应平均处理时间均在20ms一下;



展望

- 基于实际探测器数据，进一步优化程序参数，如分页内存时间间隔，分页内存序列长度；
- 优化输出模块，尽量兼容不同数据处理软件，按照需要数据格式输出；
- 完成DAQ可承受数据流量上限压力测试；



参考文献

- [1] XENON Collaboration, Aprile E, Aalbers J, et al. The XENON1t dark matter experiment[J/OL]. The European Physical Journal C, 2017, 77(12): 881. <http://arxiv.org/abs/1708.07051>. DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-5326-3
- [2] Emission of single and few electrons in XENON1T and limits on light dark matter, E. Aprile et al. (XENON Collaboration), Phys. Rev. D 106, 022001 – Published 5 July 2022
- [3] Aprile E, Aalbers J, Agostini F, et al. Search for Coherent Elastic Scattering of Solar B 8 Neutrinos in the XENON1T Dark Matter Experiment[J/OL]. Physical Review Letters, 2021, 126(9): 091301. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.126.091301>.

