



触发监测系统DAQ 需求分析及方案设计

高速读出 | 分布式事例组装 | 在线处理 | 异步存储 | 运行监测

面向触发核心板升级的DAQ需求分析与总体方案设计

评审日期：2026年9月28日

汇报人：曾婷轩

评审草案

现状与升级目标：触发核心板数字化改造

依据《北京正负电子对撞机项目-初设》3.3.4：在保留现有系统运行能力的基础上，升级触发核心板和数据读出链路，支撑高亮度运行、算法研究与系统状态评估。

现状：2008年投运；初设记载截至2026年已稳定运行19年。原VME架构受带宽限制，触发原始数据无法实时全量读出，只能按L1关联读出。

现有触发系统：多子探测器输入→触发判选

触发系统直接关联前端电子学、各子探测器和BESIII DAQ。

升级对象：触发核心板+接口板

新触发核心板
FPGA + 高速光纤 + VME

重点提升

计算能力

数据缓存能力

数据传输带宽

接口兼容能力

第一阶段验收目标：
完成MDC 8块新TKF的集成安装

升级目标：高速读出 + 兼容接入 + 运行评估

触发核心板

40 Gb/s RDMA
高速读出一组装→处理→存储

VME读出
兼容老DAQ

主数据链路

兼容旁路

定标器监测
SITCP采集L1/通道/条件率
计算死时间、活时间
评估升级后运行是否正常

升级路径：不拆除老系统→新老系统同时接收并比对→40 Gb/s RDMA承担原始数据研究与存储→VME保证无缝接入→定标器持续评估运行状态。

按业务目标划分系统：高速原始数据采集与存储、兼容老DAQ的VME事例读出、独立的定标器监测采集。



三条业务线各有边界、协同运行：RDMA承担高速原始数据主链路，VME保障BESIII DAQ兼容与事例读出，SiTCP定标器用于独立运行监测。

第一阶段首先完成MDC外室8个扇区对应的8块新TKF的集成安装；本页按当前数据包定义估算原始数据规模，并明确后续带宽、缓存和存储的验收基线。

MDC外室数据输入与单板数据量



每块新TKF: 10路MFT × 32 bit hit = 320 bit / 时钟周期

当前定义：每个数据包包含100个时钟周期的hit信息，包长4096 Byte

单板: 4096 Byte × 41.65 MHz ÷ 100 = 1.67 GB/s

8块新TKF: 1.67 GB/s × 8 ≈ 13.3 GB/s (需求口径)

该规模决定RDMA接收、组装、算法处理和XRootD存储的端到端设计余量。

新TKF数据包格式

Header	数据源	数据ID	数据长度	数据通道	数据板卡	数据地址	数据时间	数据状态	数据备注
0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000
0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
0004	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0004
0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005
0006	0006	0006	0006	0006	0006	0006	0006	0006	0006
0007	0007	0007	0007	0007	0007	0007	0007	0007	0007
0008	0008	0008	0008	0008	0008	0008	0008	0008	0008
0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009	0009
0010	0010	0010	0010	0010	0010	0010	0010	0010	0010
0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011	0011
0012	0012	0012	0012	0012	0012	0012	0012	0012	0012
0013	0013	0013	0013	0013	0013	0013	0013	0013	0013
0014	0014	0014	0014	0014	0014	0014	0014	0014	0014
0015	0015	0015	0015	0015	0015	0015	0015	0015	0015
0016	0016	0016	0016	0016	0016	0016	0016	0016	0016
0017	0017	0017	0017	0017	0017	0017	0017	0017	0017
0018	0018	0018	0018	0018	0018	0018	0018	0018	0018
0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019	0019
0020	0020	0020	0020	0020	0020	0020	0020	0020	0020
0021	0021	0021	0021	0021	0021	0021	0021	0021	0021
0022	0022	0022	0022	0022	0022	0022	0022	0022	0022
0023	0023	0023	0023	0023	0023	0023	0023	0023	0023
0024	0024	0024	0024	0024	0024	0024	0024	0024	0024
0025	0025	0025	0025	0025	0025	0025	0025	0025	0025
0026	0026	0026	0026	0026	0026	0026	0026	0026	0026
0027	0027	0027	0027	0027	0027	0027	0027	0027	0027
0028	0028	0028	0028	0028	0028	0028	0028	0028	0028
0029	0029	0029	0029	0029	0029	0029	0029	0029	0029
0030	0030	0030	0030	0030	0030	0030	0030	0030	0030
0031	0031	0031	0031	0031	0031	0031	0031	0031	0031
0032	0032	0032	0032	0032	0032	0032	0032	0032	0032
0033	0033	0033	0033	0033	0033	0033	0033	0033	0033
0034	0034	0034	0034	0034	0034	0034	0034	0034	0034
0035	0035	0035	0035	0035	0035	0035	0035	0035	0035
0036	0036	0036	0036	0036	0036	0036	0036	0036	0036
0037	0037	0037	0037	0037	0037	0037	0037	0037	0037
0038	0038	0038	0038	0038	0038	0038	0038	0038	0038
0039	0039	0039	0039	0039	0039	0039	0039	0039	0039
0040	0040	0040	0040	0040	0040	0040	0040	0040	0040
0041	0041	0041	0041	0041	0041	0041	0041	0041	0041
0042	0042	0042	0042	0042	0042	0042	0042	0042	0042
0043	0043	0043	0043	0043	0043	0043	0043	0043	0043
0044	0044	0044	0044	0044	0044	0044	0044	0044	0044
0045	0045	0045	0045	0045	0045	0045	0045	0045	0045
0046	0046	0046	0046	0046	0046	0046	0046	0046	0046
0047	0047	0047	0047	0047	0047	0047	0047	0047	0047
0048	0048	0048	0048	0048	0048	0048	0048	0048	0048
0049	0049	0049	0049	0049	0049	0049	0049	0049	0049
0050	0050	0050	0050	0050	0050	0050	0050	0050	0050
0051	0051	0051	0051	0051	0051	0051	0051	0051	0051
0052	0052	0052	0052	0052	0052	0052	0052	0052	0052
0053	0053	0053	0053	0053	0053	0053	0053	0053	0053
0054	0054	0054	0054	0054	0054	0054	0054	0054	0054
0055	0055	0055	0055	0055	0055	0055	0055	0055	0055
0056	0056	0056	0056	0056	0056	0056	0056	0056	0056
0057	0057	0057	0057	0057	0057	0057	0057	0057	0057
0058	0058	0058	0058	0058	0058	0058	0058	0058	0058
0059	0059	0059	0059	0059	0059	0059	0059	0059	0059
0060	0060	0060	0060	0060	0060	0060	0060	0060	0060
0061	0061	0061	0061	0061	0061	0061	0061	0061	0061
0062	0062	0062	0062	0062	0062	0062	0062	0062	0062
0063	0063	0063	0063	0063	0063	0063	0063	0063	0063
0064	0064	0064	0064	0064	0064	0064	0064	0064	0064
0065	0065	0065	0065	0065	0065	0065	0065	0065	0065
0066	0066	0066	0066	0066	0066	0066	0066	0066	0066
0067	0067	0067	0067	0067	0067	0067	0067	0067	0067
0068	0068	0068	0068	0068	0068	0068	0068	0068	0068
0069	0069	0069	0069	0069	0069	0069	0069	0069	0069
0070	0070	0070	0070	0070	0070	0070	0070	0070	0070
0071	0071	0071	0071	0071	0071	0071	0071	0071	0071
0072	0072	0072	0072	0072	0072	0072	0072	0072	0072
0073	0073	0073	0073	0073	0073	0073	0073	0073	0073
0074	0074	0074	0074	0074	0074	0074	0074	0074	0074
0075	0075	0075	0075	0075	0075	0075	0075	0075	0075
0076	0076	0076	0076	0076	0076	0076	0076	0076	0076
0077	0077	0077	0077	0077	0077	0077	0077	0077	0077
0078	0078	0078	0078	0078	0078	0078	0078	0078	0078
0079	0079	0079	0079	0079	0079	0079	0079	0079	0079
0080	0080	0080	0080	0080	0080	0080	0080	0080	0080
0081	0081	0081	0081	0081	0081	0081	0081	0081	0081
0082	0082	0082	0082	0082	0082	0082	0082	0082	0082
0083	0083	0083	0083	0083	0083	0083	0083	0083	0083
0084	0084	0084	0084	0084	0084	0084	0084	0084	0084
0085	0085	0085	0085	0085	0085	0085	0085	0085	0085
0086	0086	0086	0086	0086	0086	0086	0086	0086	0086
0087	0087	0087	0087	0087	0087	0087	0087	0087	0087
0088	0088	0088	0088	0088	0088	0088	0088	0088	0088
0089	0089	0089	0089	0089	0089	0089	0089	0089	0089
0090	0090	0090	0090	0090	0090	0090	0090	0090	0090
0091	0091	0091	0091	0091	0091	0091	0091	0091	0091
0092	0092	0092	0092	0092	0092	0092	0092	0092	0092
0093	0093	0093	0093	0093	0093	0093	0093	0093	0093
0094	0094	0094	0094	0094	0094	0094	0094	0094	0094
0095	0095	0095	0095	0095	0095	0095	0095	0095	0095
0096	0096	0096	0096	0096	0096	0096	0096	0096	0096
0097	0097	0097	0097	0097	0097	0097	0097	0097	0097
0098	0098	0098	0098	0098	0098	0098	0098	0098	0098
0099	0099	0099	0099	0099	0099	0099	0099	0099	0099
0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100	0100

数据包长度：4096 Byte

数据内容：100个时钟周期的hit信息

数据格式需作为RDMA Receiver的解析和校验依据：帧头、字段长度、通道/板卡标识及payload边界。

第一阶段按8块TKF完成端到端验收

1. RDMA高速数据获取与存储需求分析

目标是稳定获得可用于触发算法研究的原始数据；13.3 GB/s为当前端到端需求目标，读出、处理、存储和运行指标需共同验收。

并发板卡	≥ 8块	单板读出	≥ 1.67 GB/s	总吞吐	≥ 13.3 GB/s	输入时钟	41.65 MHz
------	------	------	-------------	-----	-------------	------	-----------

01 | 高速读出

- ≥8块触发板同时读出，单板≥1.67 GB/s
- 每块板数据保序；总吞吐目标≥13.3 GB/s
- 触发输入时钟41.65 MHz

02 | 在线检查与组装

- 帧头/版本/板号/长度/校验检查
- 按timestamp完成跨板对齐和K片组装
- 异常片段分类计数并可追溯

03 | 在线算法接口与存储

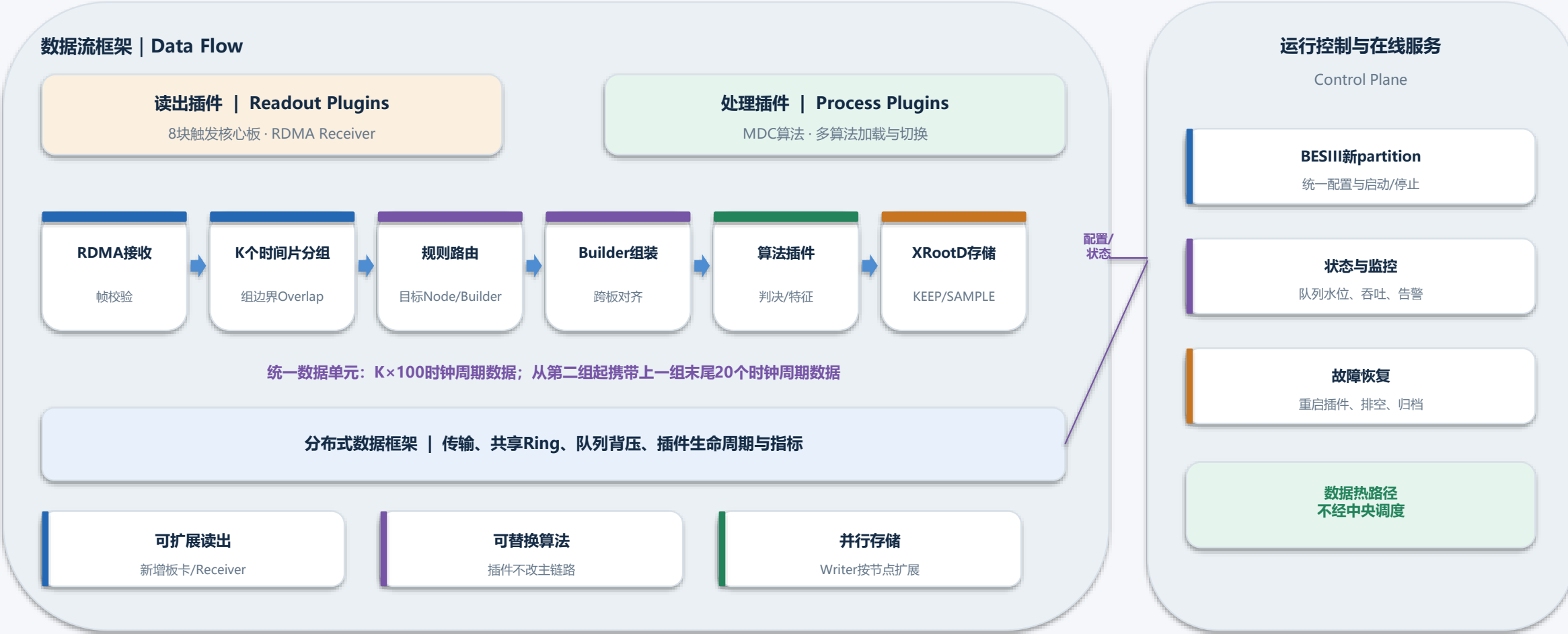
- 统一时间片输入和算法结果输出
- 算法可按配置加载/切换，独立进程隔离
- 结果驱动KEEP/SAMPLE/DROP，再通过XRootD写入

04 | 运行控制与在线监测

运行模式：随BESIII DAQ同步运行或独立运行；维护RunInfo。
在线指标：吞吐、片/包率、buffer深度、队列水位、运行时间、数据量、异常计数。

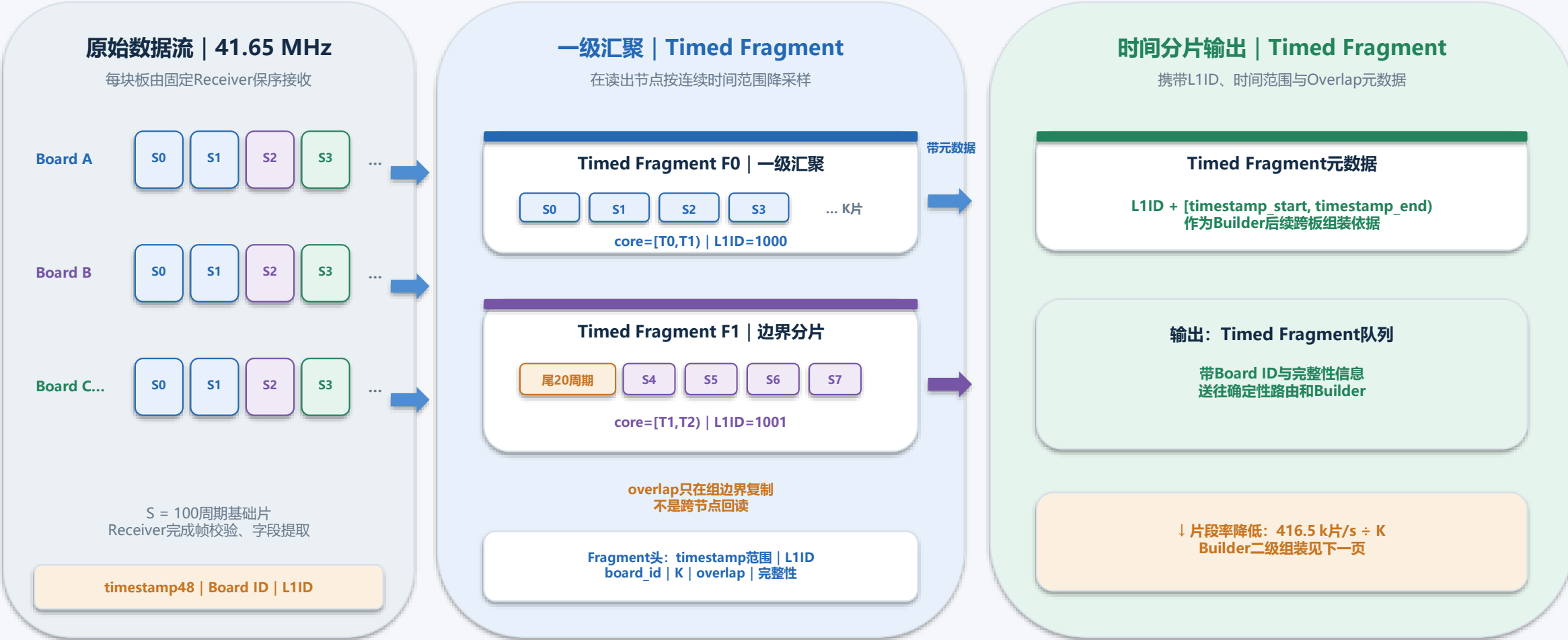
1.1 总体软件架构与数据流

借鉴JUNO DAQ的模块化、插件化思路：读出、组装、在线处理和存储由通用分布式框架连接，板卡接口与算法均可扩展。



1.2 RDMA读出与一级时间分片

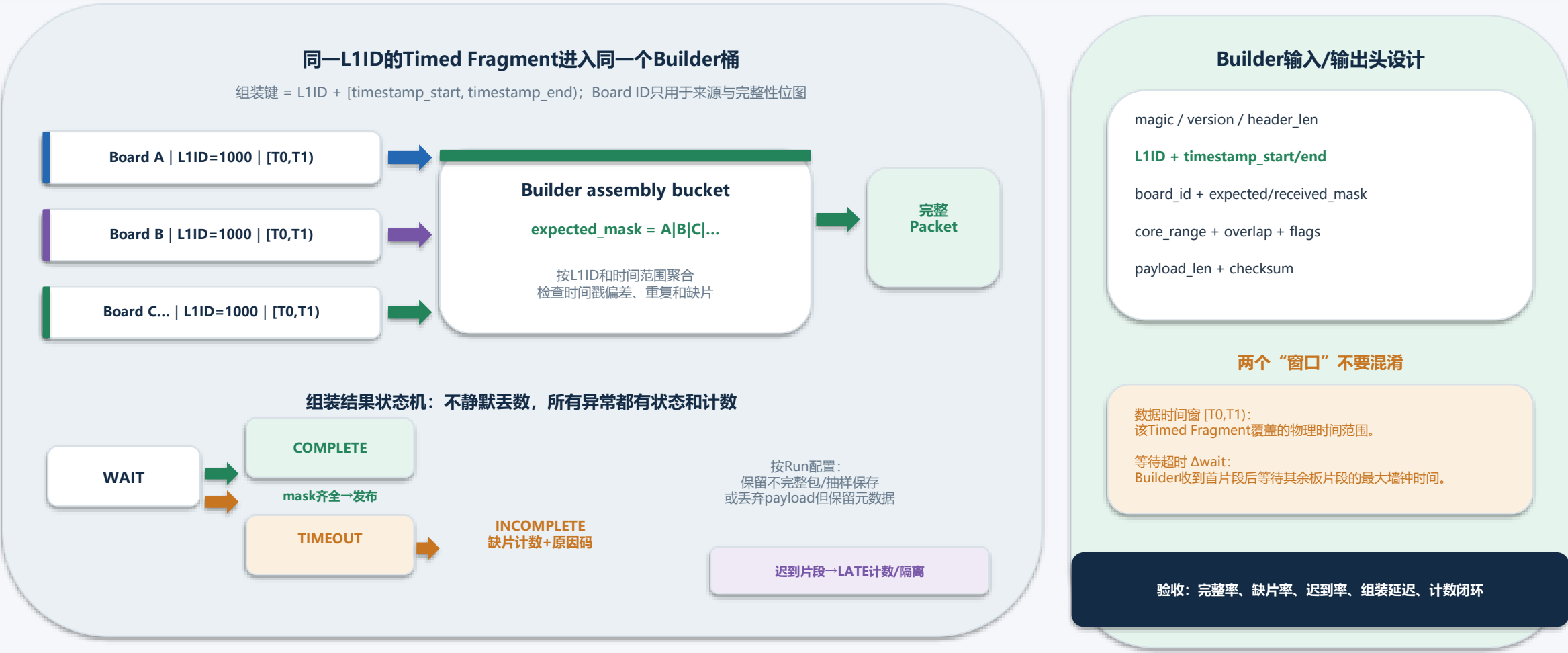
参考JUNO timed fragment思路：Receiver先在读出节点把连续原始流汇聚成带时间范围和L1ID的时间分片，先降低下游片段率；分片边界显式携带20周期Overlap，形成统一的Timed Fragment输入。



设计要点：一级时间分片负责降片段率、携带L1ID和边界上下文；Builder跨板二级组装与超时处理见下一页。

1.3 Builder二级组装：跨板对齐与超时处理

Timed Fragment已经在各读出节点完成一级时间汇聚；Builder只负责把相同L1ID的多板片段对齐合并，并对完整、缺片和迟到情况给出可追踪结果。



Builder不按到达顺序盲目拼接：先按组装键归桶，再按预期板位图检查；超过等待超时后关闭该桶，迟到数据不重新打开已关闭事例。

1.4 在线算法接口与结果驱动存储

Builder输出经在线算法判决后，由策略层完成筛选和可选无损压缩，再写入计算中心。

主路径: Builder → Ring → Algorithm Worker → DecisionBatch → 策略/压缩 → 存储队列 → XRootD; Builder不直接写盘。



数据关联与生命周期

Ring保留原始包，等待DecisionBatch；关联完成后释放。算法超时、无结果和队列满按冻结策略处理。

筛选、压缩与抽样

KEEP保存筛选数据及结果；SAMPLE按比例保存；DROP不写。无损压缩在入存储队列前完成。

插件隔离与背压

算法独立进程运行；共享Ring和有界队列隔离慢消费者，避免算法或XRootD无限占用内存。

Builder只负责输出完整组装包；正式存储由算法判决驱动，存盘对象可以是筛选后的原始数据、压缩数据和算法特征，不是默认全量直写。

2. VME兼容事例读出

新TKF触发后事例格式和触发接口与原BESIII DAQ TRG 162机箱完全一致，可直接复用既有DAQ读出体系；通过新partition与正常DAQ并行取数。

新TKF触发后事例 → TRG 162兼容VME接口 → BESIII DAQ读出程序/数据格式 → 新partition独立存储

TRG 162

接口完全兼容

触发后事例格式、接口与原BESIII DAQ TRG 162完全一致。
复用现有VME读出、事例解析和DAQ交接方式。

并行运行

新partition并行取数

启动面向新TKF的BESIII DAQ新partition。
与BESIII DAQ正常取数并行，独立读出新TKF事例，并关联Run和计数。

复用演进

两路数据用途

既有partition：维持原BESIII DAQ物理取数。
新partition：采集并存储新TKF事例，为算法研究和新旧系统比对提供数据。

运行边界：新partition复用BESIII DAQ的接口和软件能力，但独立管理配置、生命周期、输出文件与计数；不影响原有DAQ正常取数。

3. SiTCP定标器独立监测采集

定标器采集作为相对独立的低速监测系统，由基于SiTCP的千兆网络采集替代原LabVIEW方式，主要用于评估新触发系统工作状态。

定标器硬件 → SiTCP/千兆网 → 采集服务 → 指标计算与数据库 → 实时显示、曲线与历史追溯

SiTCP

采集端设计

替换原LabVIEW采集程序。
经SiTCP读取定标器数据；采集周期、寄存器/计数器映射、连接异常恢复需与硬件负责人确认。

运行评估

监测数据与判据

提供L1、触发通道及触发条件计数，并据计数器、FULL/ERR等信号评估运行状态。
死/活时间计算公式需确认。

可视化

展示与留存

本地及在线查看瞬时值；支持最近1小时曲线和历史追溯。
数据库字段、更新周期、保留策略与访问权限应单独冻结。

边界：定标器链路只提供运行监测证据，独立运行，不进入13.3 GB/s数据热路径，也不替代RDMA/VME数据读出。

新partition、RDMA高速读出和定标器监测分别拥有清晰的控制边界；RDMA可协同也可独立，定标器完全独立。

控制原则：数据面相互隔离；控制面可选协同；任何RDMA或定标器故障都不能拖停新partition。

VME路径

BESIII DAQ新partition

仅管理TRG 162兼容的VME事例读出。

Prepare：加载映射与配置
Start/Stop：控制新TKF读出、文件和计数
独立维护Run与输出清单

可协同/可独立

RDMA控制/监督进程

仅管理RDMA高速原始数据链路。

可与新partition协同启动，也可独立运行；独立配置、停止和恢复。异常只告警，不改变新partition状态。

完全独立

定标器独立服务

管理SiTCP采集、指标计算、数据库和显示。

独立启动、停止和告警；不由新partition管理，不依赖RDMA/VME，也不进入高速数据路径。

可选协同关系：RunControl/脚本只负责按配置发送启动或停止请求；各服务分别确认状态，任何一方失败均按本域策略处理。

新partition故障边界

仅影响VME事例读出，不影响RDMA与定标器

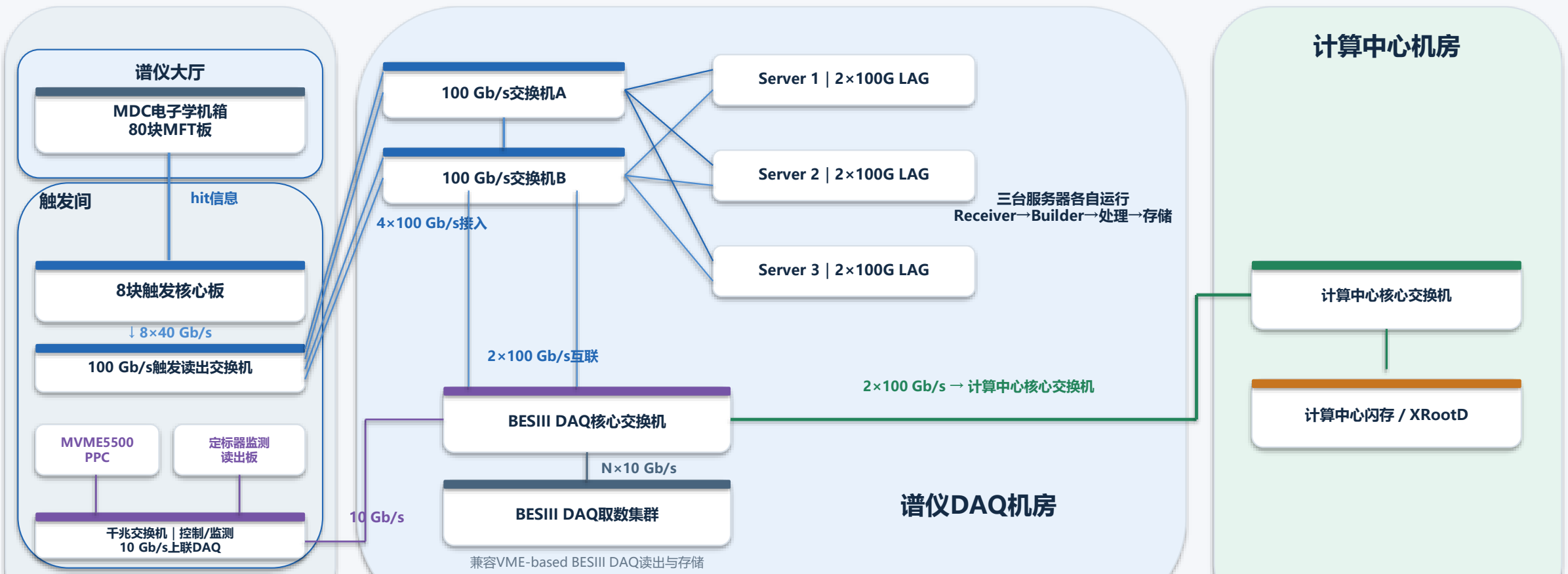
RDMA故障边界

可独立停止/恢复，不得拖停新partition

定标器故障边界

独立告警，不影响两条数据读出链路

现有网络链路已建成，本页说明触发核心板、RDMA服务器、DAQ核心交换机与计算中心之间的硬件连接关系。



主数据面：13.3 GB/s读出→组装→在线处理→存储；控制/定标面和VME兼容旁路独立运行。

8块新TKF及PPC已到位，单板模拟性能测试已达到39 Gb/s（董胜），单板实际联调读出可达13Gb/s(王浩鑫，杜晨帆)。



新TKF触发核心板与PPC机箱（现场照片）

硬件就绪

当前硬件与测试状态

- 8块新TKF和PPC已到位
- 已完成单板模拟读出性能测试及实际单板联调。
- 8板并行、组装、处理和存储仍需系统级验收

验收目标：从单板测试推进到8块TKF端到端数据链路验收。

当前状态：硬件已到位，下一步从分步功能开发进入全链路联调与验收。

11/23起连续试运行4周；12/7启动DAQ软件验收，12月下旬以触发系统整体验收为目标。



节点：11/20 联调完成 → 11/23-12/18 连续试运行4周；12/7-18 DAQ软件验收准备/评审；12/21-31 触发系统整体验收目标。

两级验收：DAQ软件验收验证本项目软件功能、性能和交付物；触发系统验收还需系统级联调和外部条件，属于目标节点。

需求、设计和项目基础已经具备；按计划推进，可在规定时间内满足触发核心板升级的数据读出需求。

总体判断：需求边界明确 | 技术路线可实施 | 硬件与项目基础已具备 | 实施计划可执行

需求已经明确

已明确8块新TKF、RDMA读出、时间分片与组装、在线处理、存储、VME兼容取数和定标器监测范围。

性能目标与功能验收项目已经形成可测量指标。

设计已经形成

分布式RDMA数据链路、Builder组装、算法判决驱动筛选/压缩、XRootD存储和独立控制边界已经明确。

RDMA、VME新partition、定标器分别独立，按需协同。

项目基础已经具备

8块新TKF和PPC已经到位，单板实测达到39 Gb/s；现有网络、三台服务器和BESIII DAQ复用条件已经具备。

组内已有相关DAQ、RDMA和算法开发基础。

结论：在规定时间内，可完成触发核心板升级所需的读出、组装、在线处理、存储及BESIII DAQ兼容取数。

恳请各位评委审议并指导，谢谢各位评委！