

# 物理实验中的触发相关技 术及未来展望

刘振安

中国科学院高能物理研究所

2024.7.17 青岛 核电子学与探测技术年会

# 报告内容

- 触发 (Trigger) 概述
  - 背景知识
  - 触发的作用和必要性
  - 触发原理
- 传统的触发
- 现代的触发
- 未来的发展

什么是触发？

# Trigger

- WIKI:

- trigger - lever that activates the firing mechanism of a gun



- Bing:

- a small device that releases a spring or catch and so sets off a mechanism, especially in order to fire a gun:



# 什么是触发

- 百度百科

- 触发引信

- ✓ 触发引信可以配用于杀伤弹、破甲弹、杀伤/破甲两用弹、爆破弹、攻坚弹和破障弹等主用弹，也可以配用于燃烧弹、发烟弹等特种弹。触发引信是现代弹药使用最广泛的引信之一。

- 触发器

1. 是SQL server 提供给程序员和数据分析师来保证数据完整性的一种方法，它是与表事件相关的特殊的存储过程，它的执行不是由程序调用，也不是手工启动，而是由事件来触发，比如当对一个表进行的操作（insert, delete, update）时就会激活它执行。触发器经常用于加强数据的完整性约束和业务规则等。
2. 在实际的数字系统中往往包含大量的存储单元，而且经常要求他们在同一时刻同步动作，为达到这个目的，在每个存储单元电路上引入一个时钟脉冲（CLK）作为控制信号，只有当CLK到来时电路才被“触发”而动作，并根据输入信号改变输出状态。把这种在时钟信号触发时才能动作的存储单元电路称为触发器，以区别没有时钟信号控制的锁存器。
3. 触发器（trigger）是SQL server 提供给程序员和数据分析师来保证数据完整性的一种方法，它是与表事件相关的特殊的存储过程，它的执行不是由程序调用，也不是手工启动，而是由事件来触发，比如当对一个表进行的操作（insert, delete, update）时就会激活它执行。触发器经常用于加强数据的完整性约束和业务规则等。

# 触发(仪器仪表)

- 示波器：
  - 触发电平：被选定信号的幅度大于该电平时，被测信号的波形被抓取并显示在屏幕上。
- 数字信号分析仪
  - 触发模式：被选定串行信号满足一定的模式结构时，被测信号的结构被抓取并被显示在屏幕上。



物理实验为什么需要触发系统？

# 如何构建小型实验系统

- 已有设备
  - 探测器
  - 信号源
    - ✓ 放射源
    - ✓ 宇宙线
  - 电子学
    - ✓ 放大器
    - ✓ 甄别器
    - ✓ ADC
    - ✓ TDC



基于放射源实验



基于宇宙线实验

- 还需要
  - 符合/反符合插件

# 如何构建小型实验系统

- 符合电路输入

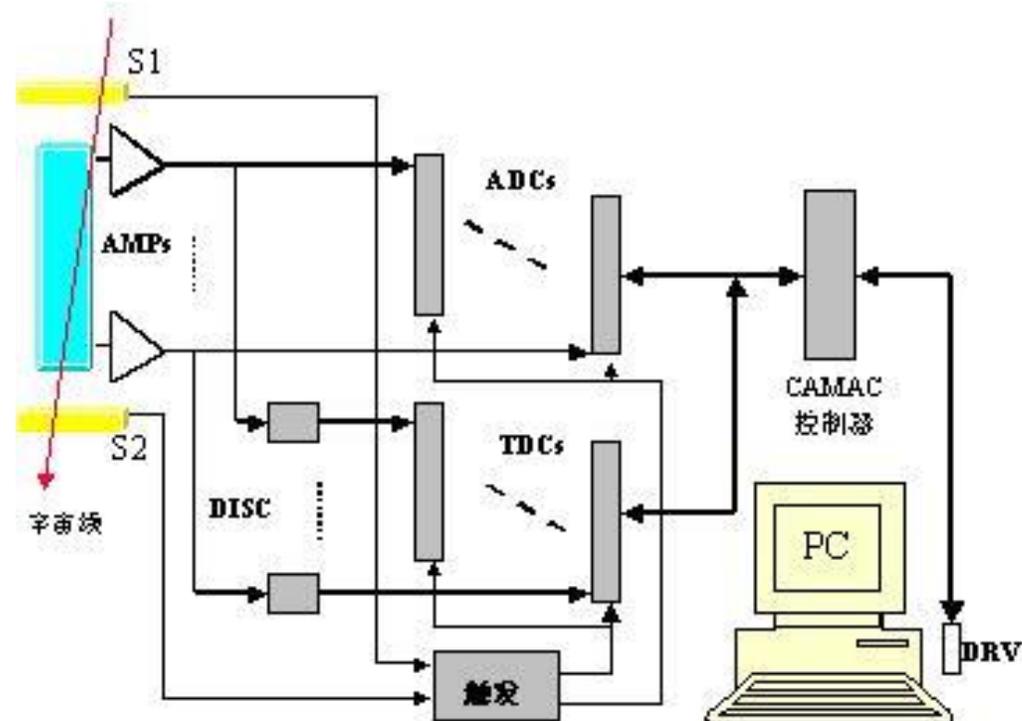
- 准直放射源经过闪烁体探测器
- 或
- 上下两个宇宙线闪烁体探测器

- 符合电路输出

- ADC 需要门控信号
- TDC 需要Common-Start/Stop信号

- 符合(反符合)电路就是最简单的触发逻辑

- 产生最基本的模拟数字化的启动信号
- 数字化后的数据被计算机读取存储在磁盘上



# 核心问题

- 如何工作

- 要想让这样的一个系统工作，在有被测信号（宇宙线）时必须通知ADC和TDC对被测信号进行模拟数字转换，否则实验无法进行。

- 触发信号就是起这个作用的。

- 触发信号可以取自被测信号。

- 在本实验中取自特设的探测宇宙线的闪烁体探测器S1和S2。

- 触发的结构非常简单，就是利用甄别器、延迟器和符合反符合插件进行符合操作后通过定时器给出特定宽度的信号给ADC做门信号，和一个窄的信号给TDC做公共起始信号，让他们开始转换。

# 物理实验： 加速器替代宇宙线

- 宇宙线的缺点

- 效率低、靠天吃饭， 物理目标不可控

- 加速器实验物理

- 优点

- ✓ 可重复
- ✓ 效率高
- ✓ 时间短
- ✓ 物理目标可控

- 缺点

- ✓ 本底高
- ✓ 假事例多
- ✓ 存储数据巨大
- ✓ 分析困难

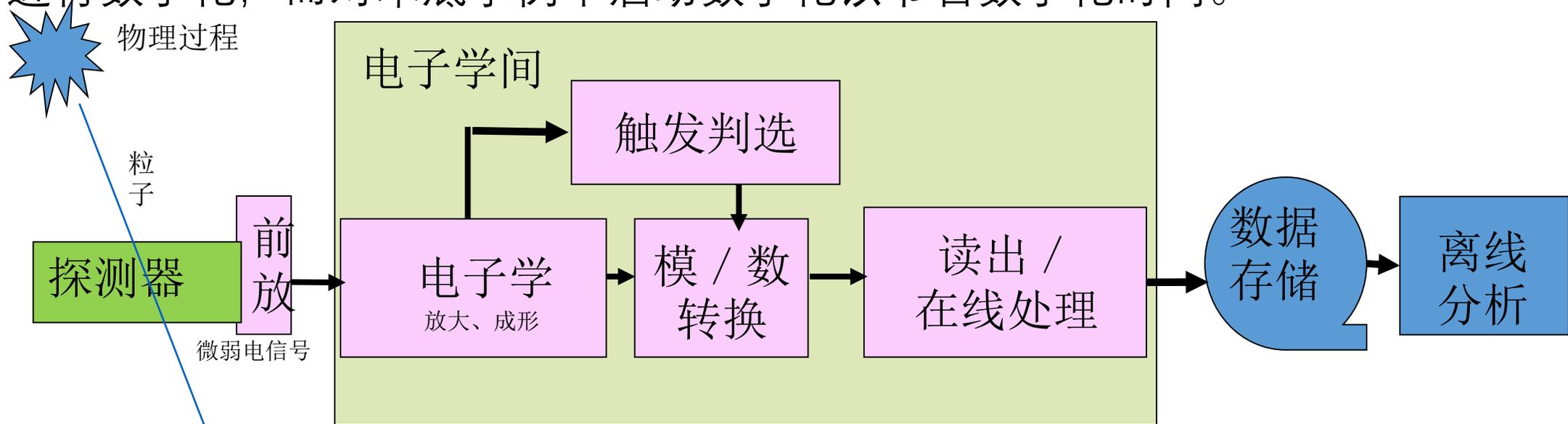


# 事例判选

- 对于规模比较大的实验系统，特别是基于对撞机的实验系统，由于实验的规模比较大，需要处理的信号很多（几万路信号），因而处理（放大、成形、数模转换）和存储所用的时间就很长。
  - 而这时宇宙线和束流产生的数据对实验来说是没有用的，称之为本底。
  - 这些本底事例如果也被处理和存储，则
    - ✓ 浪费宝贵的时间（亮度）），
    - ✓ 浪费宝贵的存储介质，
    - ✓ 增加后续的数据处理
- 触发判选
  - 因此一般在实验的进行过程中就把这些本底事例予以排除，只把需要的事例（称为好事例）记录下来。这就是判选系统的作用。

# 早期触发系统的作用

1. 给电子学提供数字化的初始化、清零、启动信号和时钟等控制信号
2. 利用电子学提供的信号对事例进行快速粗略判选，只对期待的好事例的信号进行数字化，而对本底事例不启动数字化以节省数字化时间。



## ● 在线

1. 探测器：产生微弱信号
2. 电子学：由于放射性，探测区空间小、参数调节原因电子学拆分为跟探测器一起的前置放大器，和电子学间的主放大器（方便手动参数调节）
3. 触发判选：好事例产生数字化启动信号，分级处理
4. 读出与在线存储

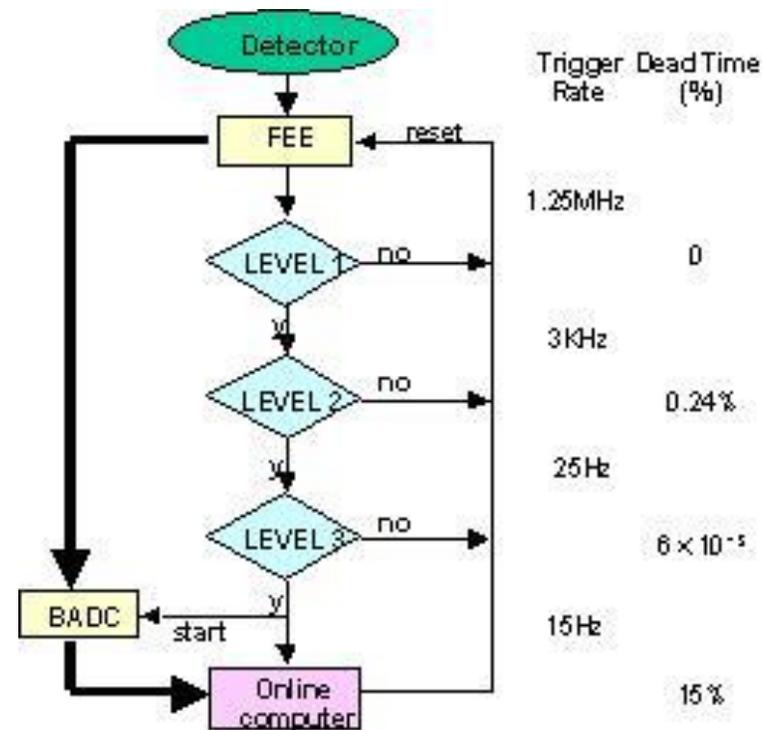
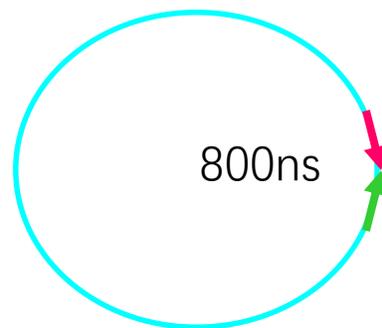
# BESI 触发是分级处理典型代表

- 特点

- 对撞周期800ns
- 数字化周期10-90us

- 采分级处理

- 第一对撞周期内完成Level1判选 (快信号)
- Level2在第二对撞周期完成 (慢信号)
- 第三对撞周期后开始数字化等



BESIII Trigger System

第一对撞周期

第二对撞周期

# BES1 触发是典型代表

- 一级触发L1

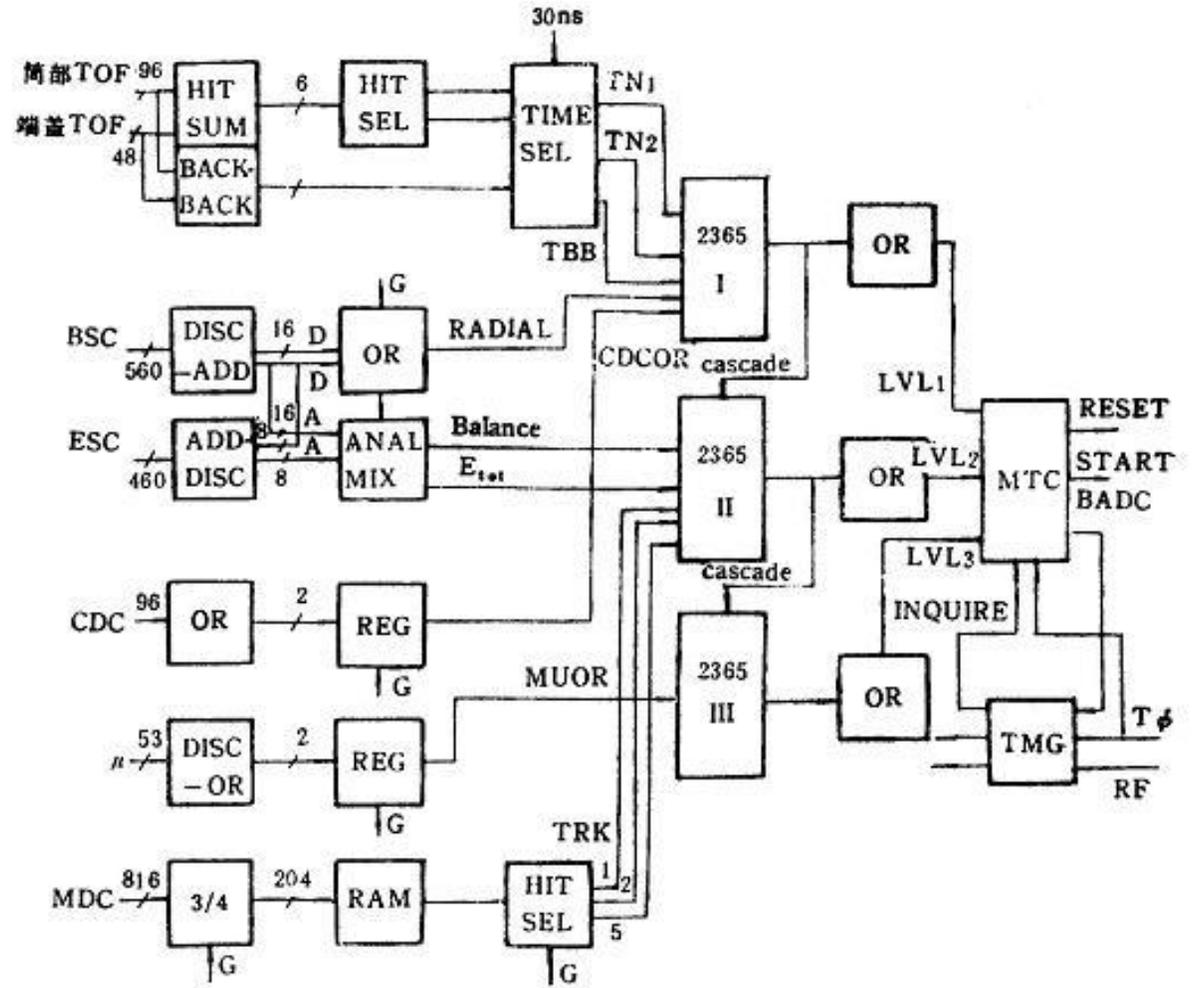
- BTOF
- ETOF
- BESC-Radial
- CDC

- 二级触发L2

- ESC-balance
- Etol
- 漂移室寻迹

- 三级触发L3

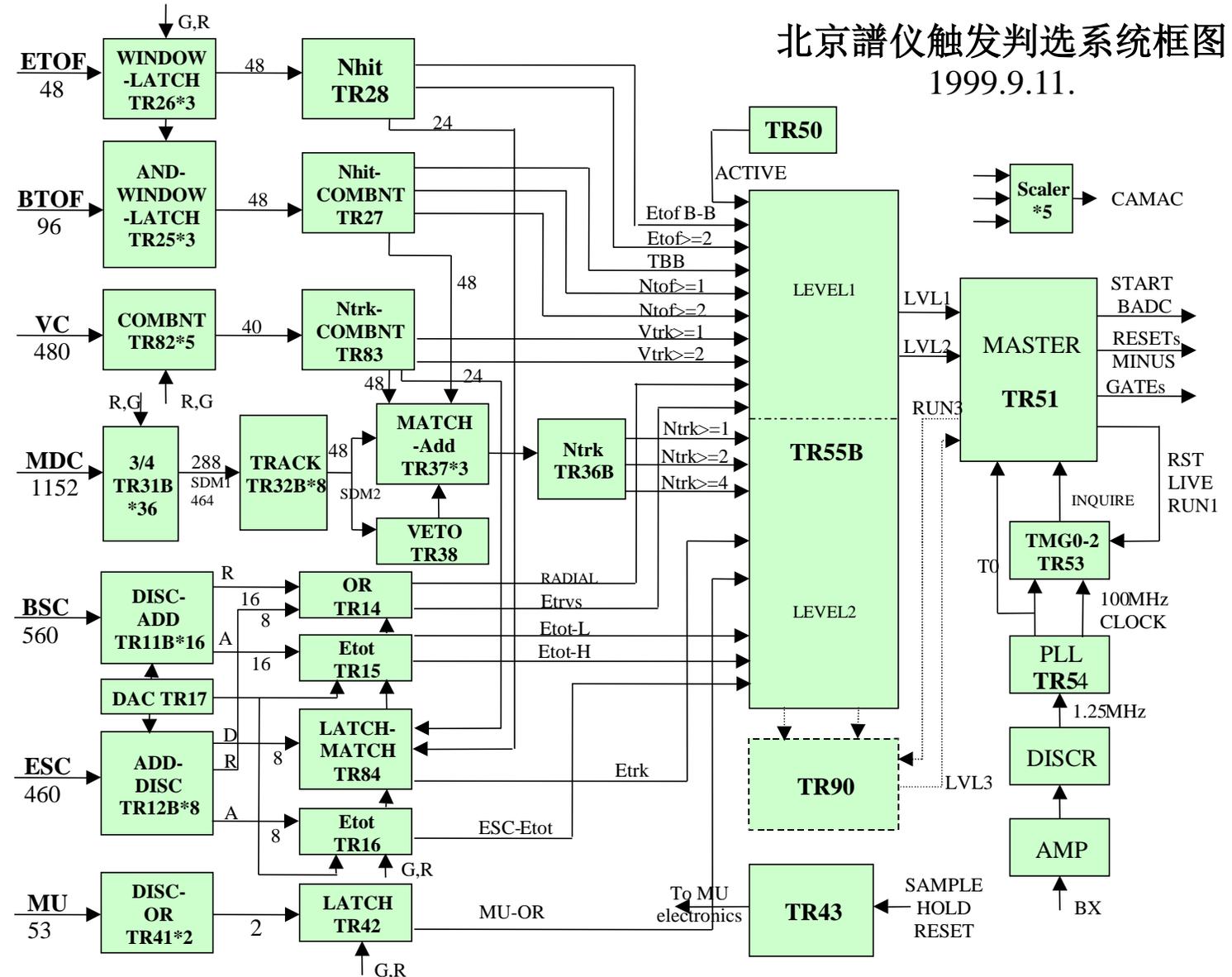
- 缪子计数/微处理器



# BESII 触发系统也是分级式

- 单数团, 800ns, 有足够的处理时间

实验物理



# 为什么采分级触发？

- 特点

- ADC变换时间长 (10-90us)
- 对撞束团间隔大 (800ns)

- 必须采分级处理

- 利用TOF等快信号在第一对撞间隔内完成Level1的判断
- 利用漂移室等慢信号在第二对撞周期完成L2的判断
- 进一步的智能处理作为第三级L3，实现本底事例的及早识别及复位，极大地减小死时间暨亮度的损失

# 早期触发系统的特点

DAQ:  
Saves only widgets  
labeled "y"

- 对撞机实验

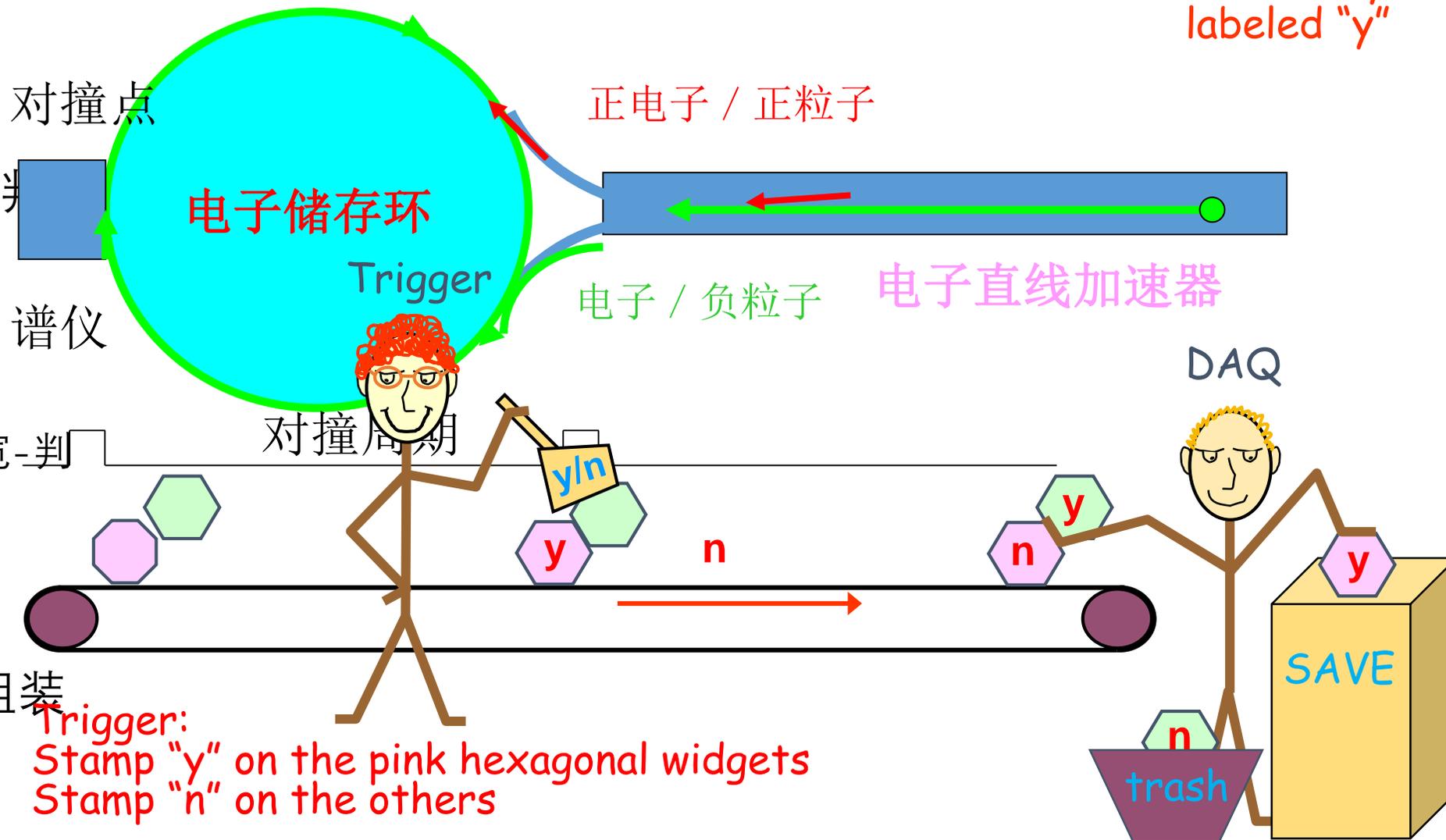
- 环内单数团
- 束团间隔够判断

- 触发

- L1硬件触发
- ✓ 锁存-展宽-判断模式
- ✓ 结果明确

- DAQ

- 打包/事例组装
- 软件触发



# 世界上的多级触发

## Required rejection is orders of magnitude

- Algorithms to attain required rejection are too sophisticated.
- Accelerator backgrounds can also contribute to the problem  
→  $e^+e^-$  vs pp

## Level 1 is hardware based

- Crude signatures (hits, local energy deposit over threshold...)
- Operates on reduced or coarse detector data

## Level 2 is often a composite

- **Hardware** to preprocess data
  - ✓ Some Muon processors, **Silicon Triggers**
- **Software** to combine
  - ✓ Matches, Jet finders, etc.

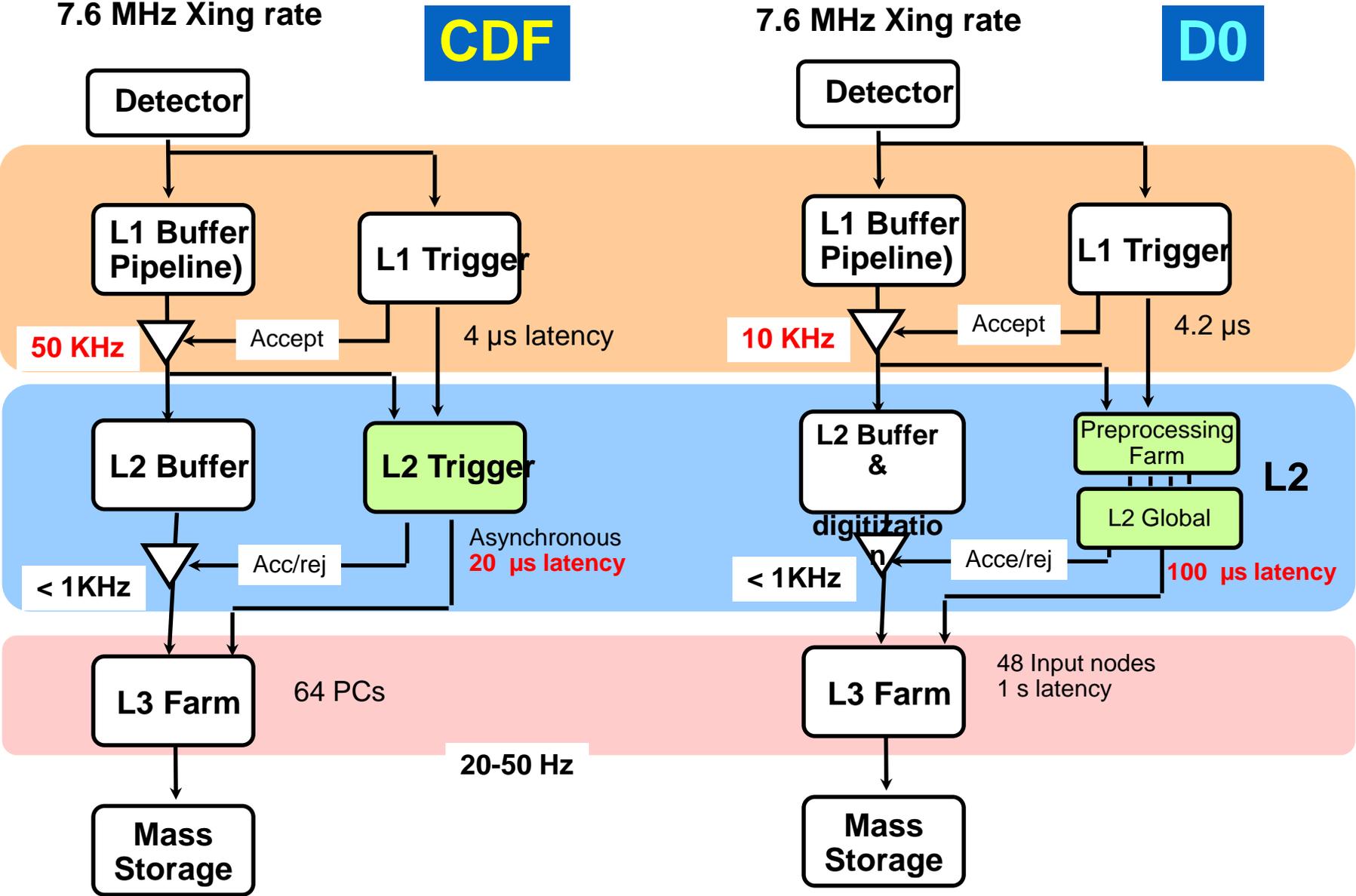
## Level 3 is a farm → General Purpose CPUs



Almost every one uses this scheme  
-Vary number and function of levels.



# 费米实验室Tevatron 触发结构 (RUN 2)



# 触发判选基本原理

- 从以下几个方面判断好事例

- 时间

- ✓ 事例时间与对撞时间的关联。如BESI/II的TOF

- 径迹

- ✓ 传统径迹探测器

- ◆ 漂移室径迹

- ◆ TPC

- ◆ DT/RPC/CSC

- ✓ 新型径迹室

- ◆ 硅像素

- ◆ 硅条

- 量能器

- ✓ 能量沉积及拓扑特性

- ◆ 电磁

- ◆ 强子

# 现代物理实验架构

- 加速器

- 多数团、高亮度

- 微电子学的发展

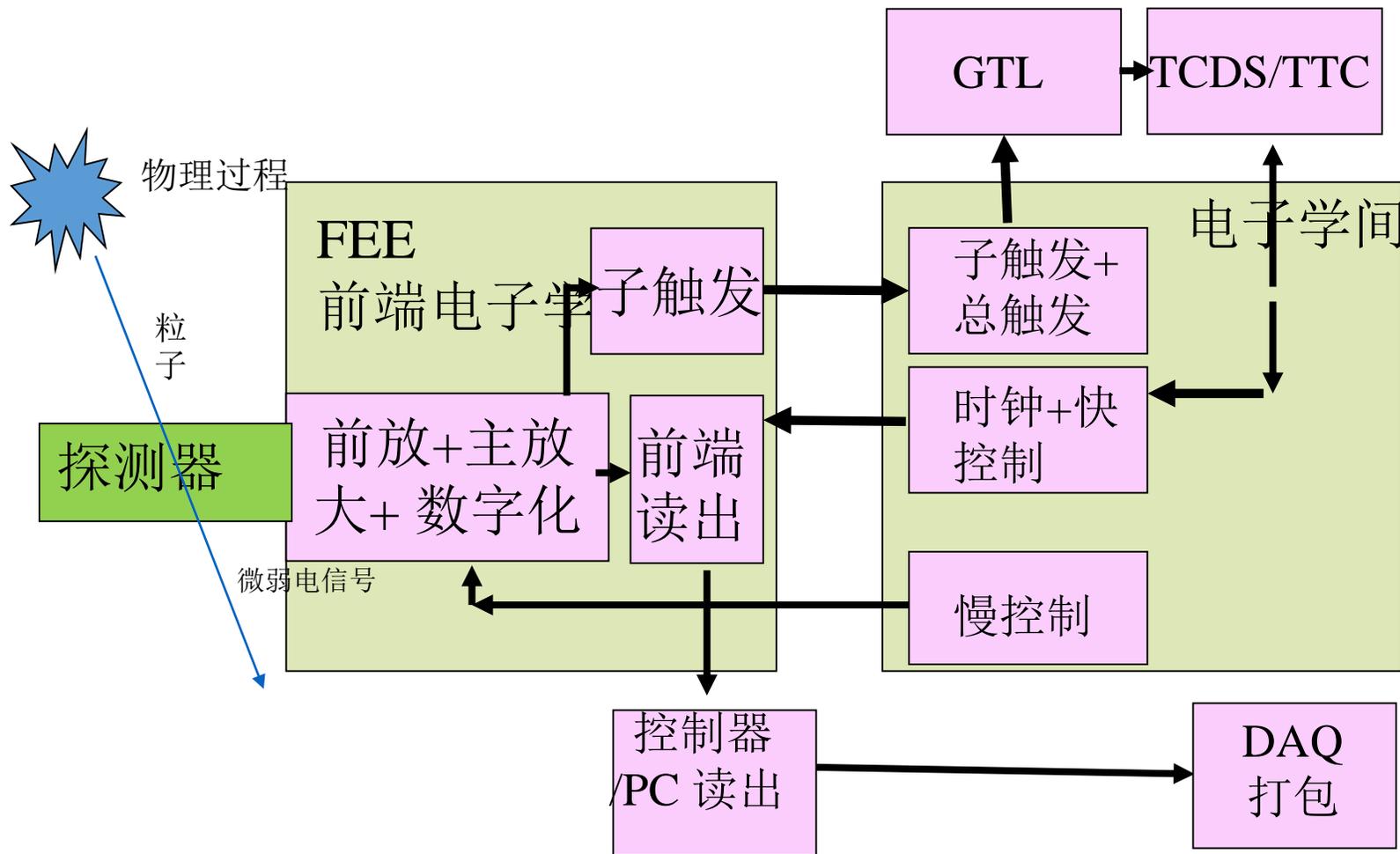
- 数字化变快 (25ns-8ns)
- ASIC
- FPGA
- FEE + Trigger + DAS

- FEE

- 前放+主放+数字化+读出 — 体化前端电子学板
- 子触发

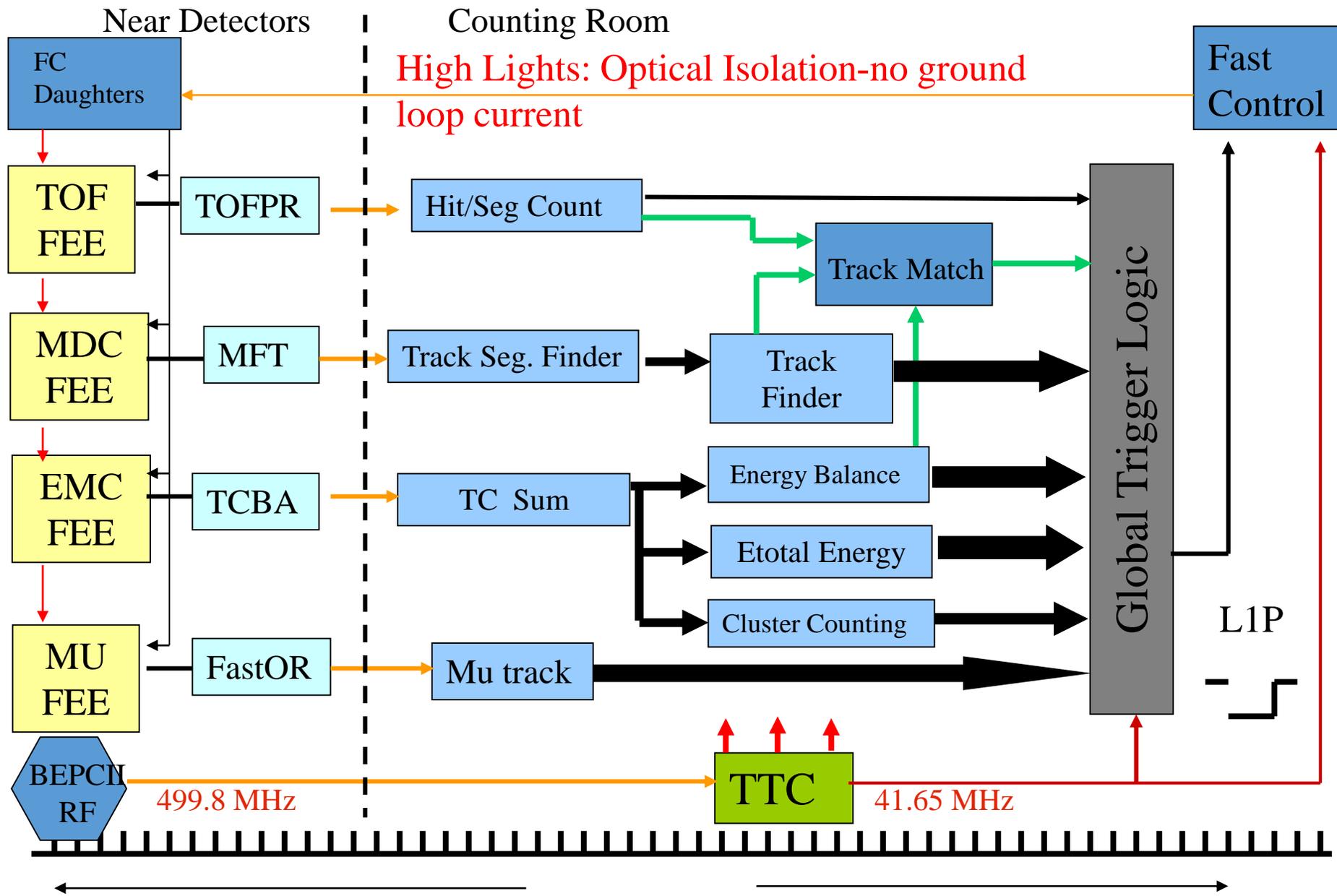
- 新增加

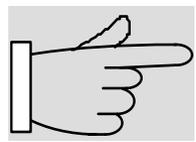
- 数据链
- 快控制链
- 慢控制链



# BESIII触发方块图

- 触发
  - 前端
  - 后端子系统
  - 总触发
- 光纤前后地隔离 (1.75Gbps)
- 时钟连TTC
- 快控制链FC





40 MHz

L1

100 KHz

L2

1 KHz

L3

100 Hz

# LHC上的触发判选

■ "Local" identification of high Pt objects → use coarse dedicated data

- Electrons /Photons , Hadrons & Jets → Energy clusters
- Muons → Track segments
- Neutrinos → Missing Et

■ Particle signature (e/g,h,Jet,  $\mu$  ...) → use final digitized data

- Refine Pt cuts → fine granularity & track reconstruction
- Combine detectors → Converted electron , "Punchthrough", decays
- Global topology → multiplicity & thresholds

■ Identification & classification of physics process → trigger menu

- Partial event reconstruction → Vertices , Masses ,Missing Et...

■ Physics analysis

- "Off-line" type analysis of classified events

# LHC 触发的逻辑结构

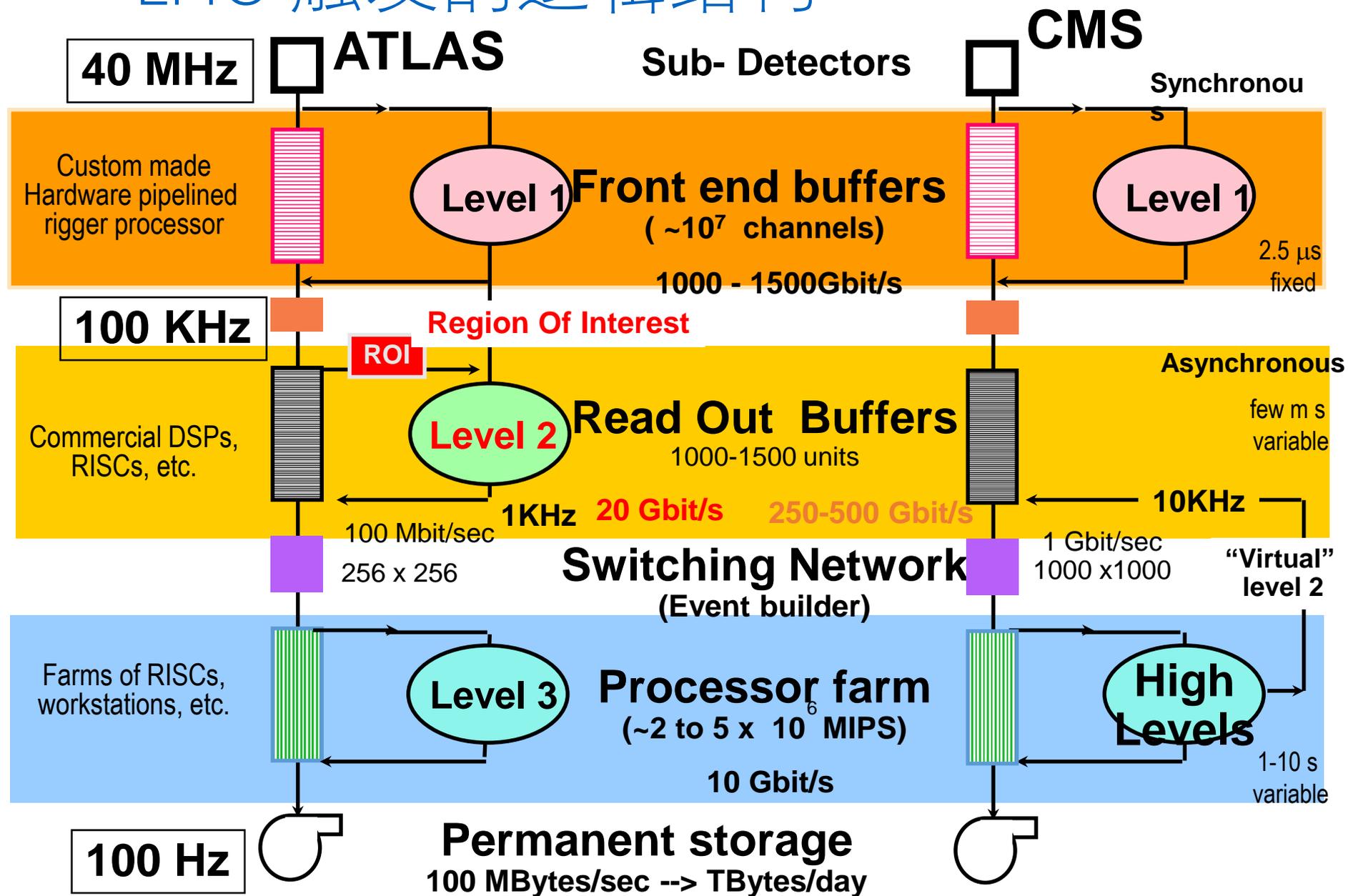
## • 触发

### ■ L1 硬件触发

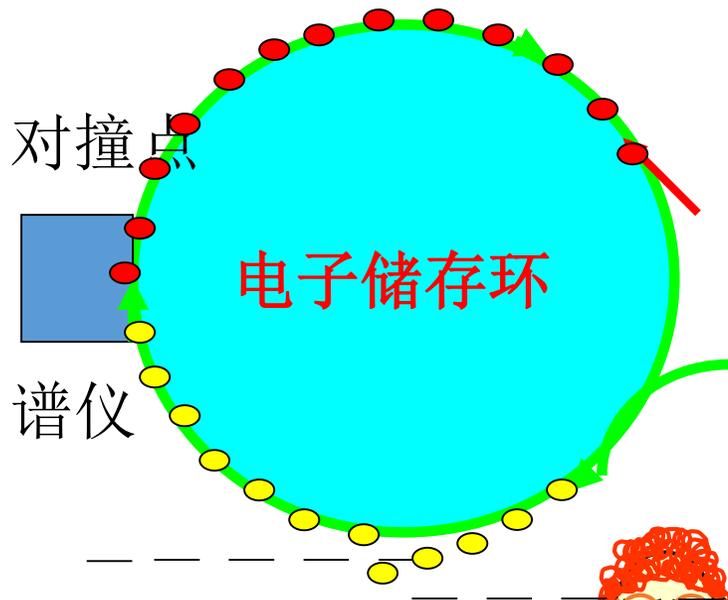
- ✓ FEE 缓存
- ✓ FPGAs

### ■ L3 高级触发 (软件触发)

- ✓ Farm计算机
- ✓ CPU精确计算



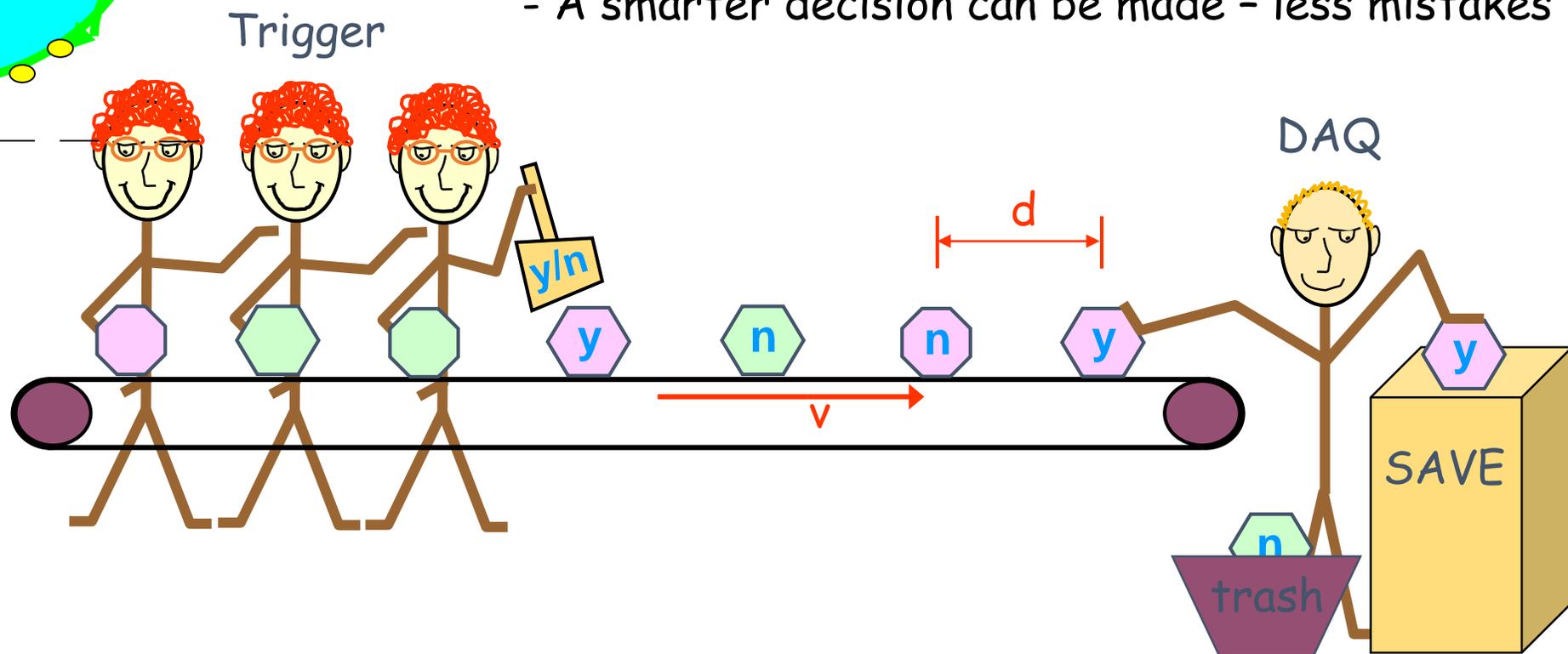
# 现代触发的特点



- FEE数据存储于FEEbuffer + TCDS/TTC
- Working in Steps: Pipelining

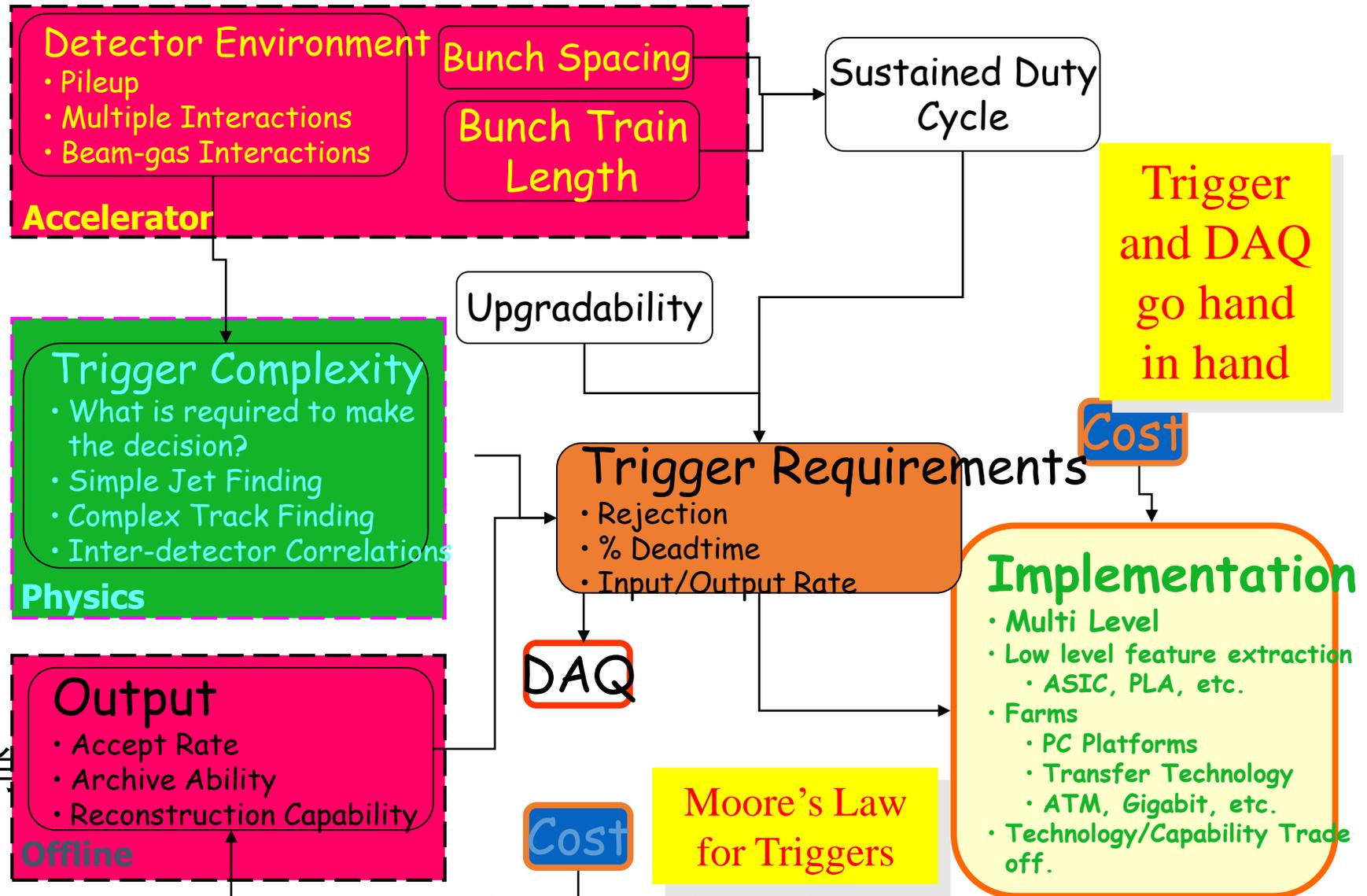
Have more than one person working in series

- Each individually one takes less than  $\Delta t = d/v$
- Collectively, much more work is done
- A smarter decision can be made - less mistakes



# 触发系统的设计有很多限制条件

- 物理目标
- 加速器模式
- 触发要求
  - 排斥比
  - 死时间
  - 输入输出比
- 触发技术实现
- 存储资源
- 造价
- 触发和DAQ是难兄难弟



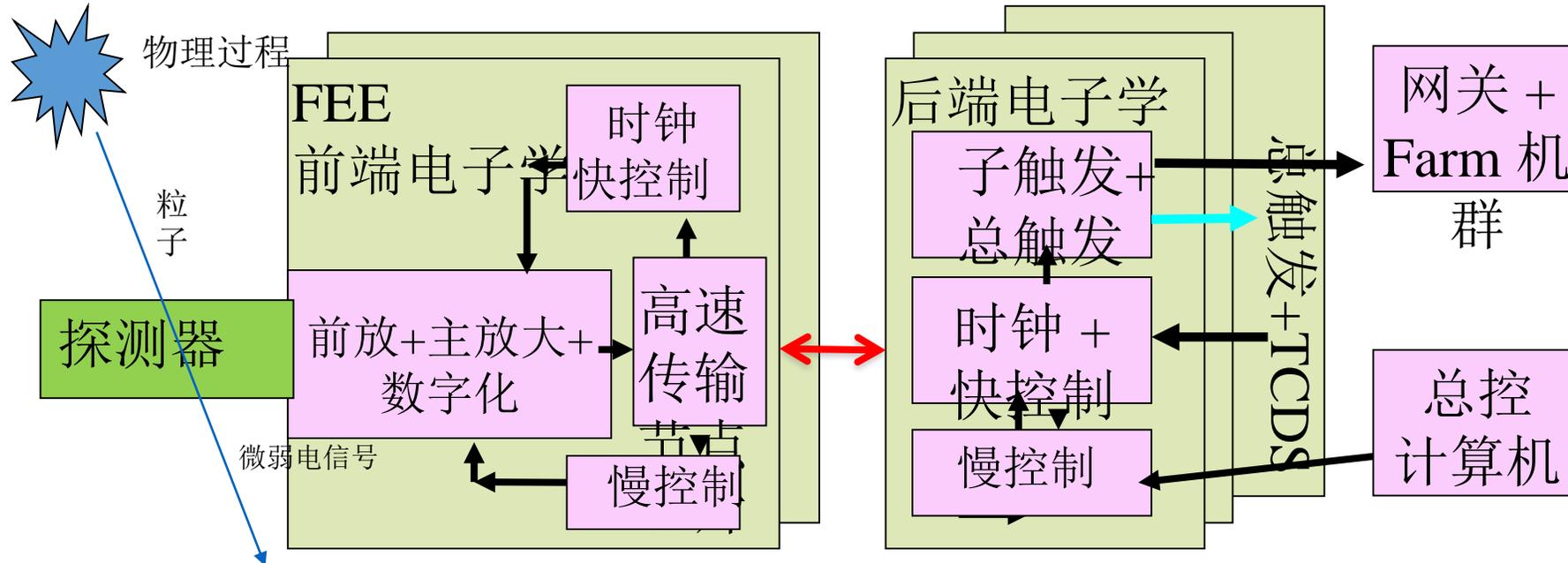


# 现代触发面临的问题

- 硬件触发 (L1) 与软件触发 (L3) 的取舍
  - 硬件 (基于ASIC、FPGA)
    - ✓ 快速
    - ✓ 不精准 (整数运算)
  - 软件 (基于CPU)
    - ✓ 精准 (可以实数运算)
    - ✓ 耗时
    - ✓ 成本
- 策略
  - 纯硬件
  - 纯软件 (triggerless)
  - 硬软结合 (TDAQ)
  - 共享链路 (数据、时钟、控制)
- 考虑因素
  - 物理需求/特点
  - 本底事例
  - 事例率、Pileup

# 未来物理实验架构发展趋势

- 单一高速数字链路 (4.8Gbps-10Gbps)
  - 前端电子学 (triggerless, continuous readout)
  - 后端电子学 (trigger+DAQ+)
  - 快控制+慢控制+探测器数据共享高速链路
- 后端高速互联 (10-25Gbps)

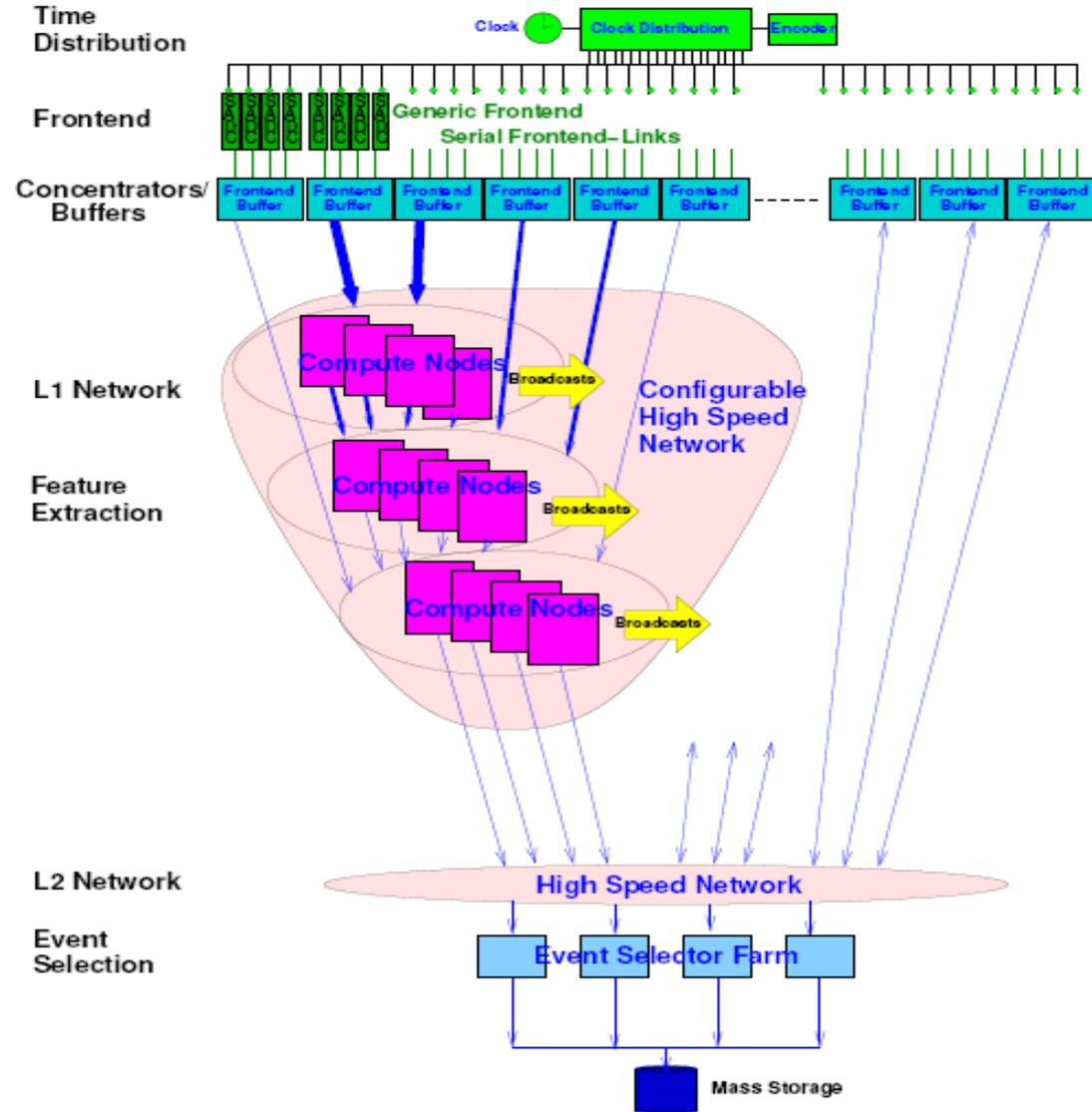


# Triggerless范例1: PANDA触发与数据获取系统体系结构

采用**自触发前端电子学及数据推动的结构(Self-triggered Data Push Architecture)**, 没有独立的触发数据通路, 采用**打全局时间戳**的办法来对齐事例, 同时解除对触发Latency的限制.

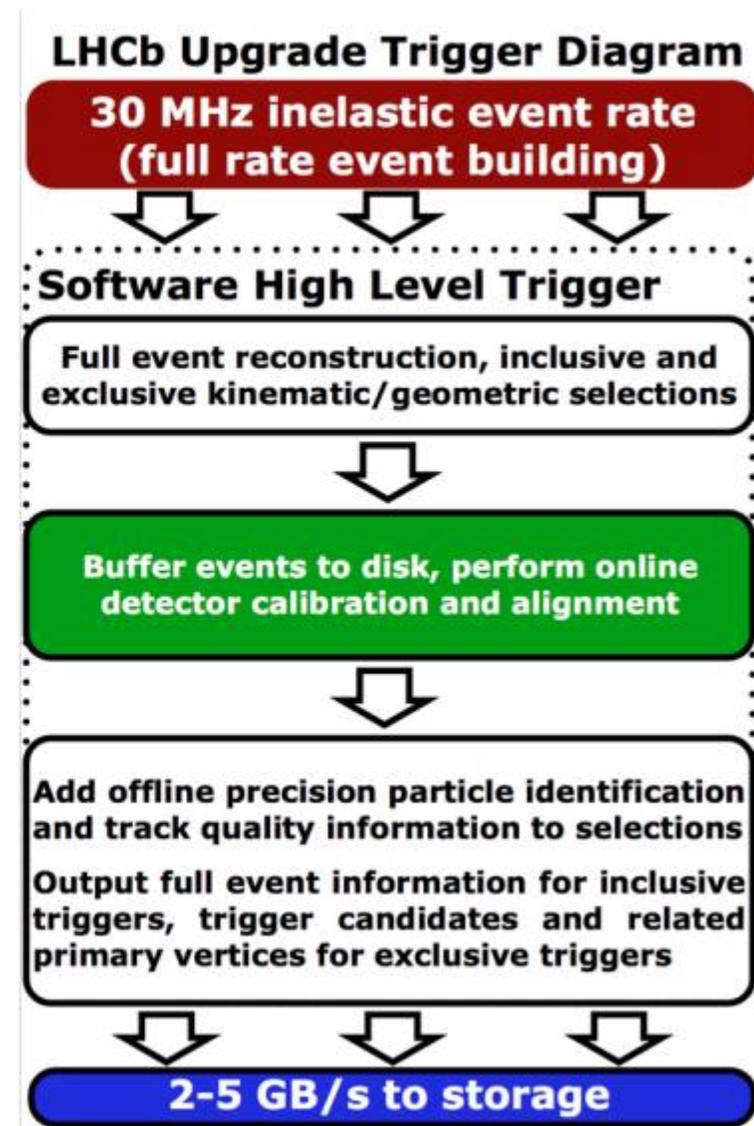
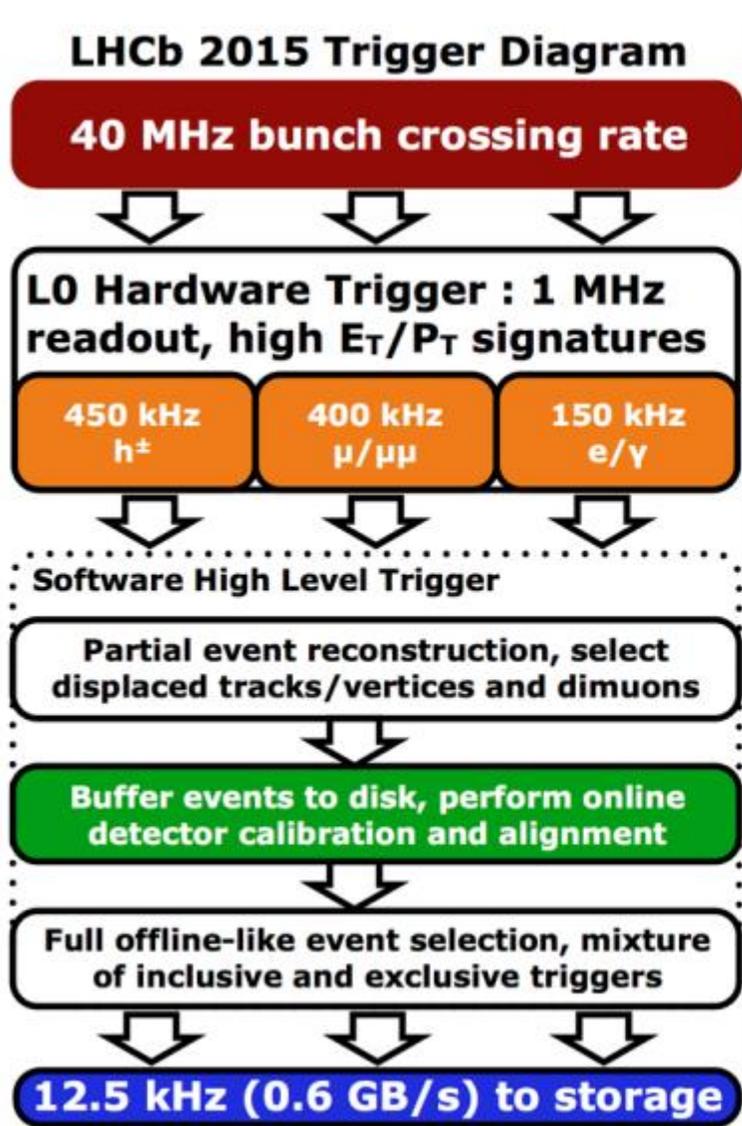
■ L1:特征提取: 来自前端的数据被打上精确的时间戳(Timestamp)后送入**公共数据缓冲区**; 若干高性能的**计算节点(Compute Node)**通过**配置的高速串行传输技术**组成可重配置**的高速互联网络**, 采用**多种特征提取手段**挑选出感兴趣的物理信息;

■ L2:事例重建与筛选: L1提取的物理信息在L2进行**基本事例重建**, 通过事例筛选来压缩数据量, 经过L2的数据最后存储进海量存储设备供离线数据分析;



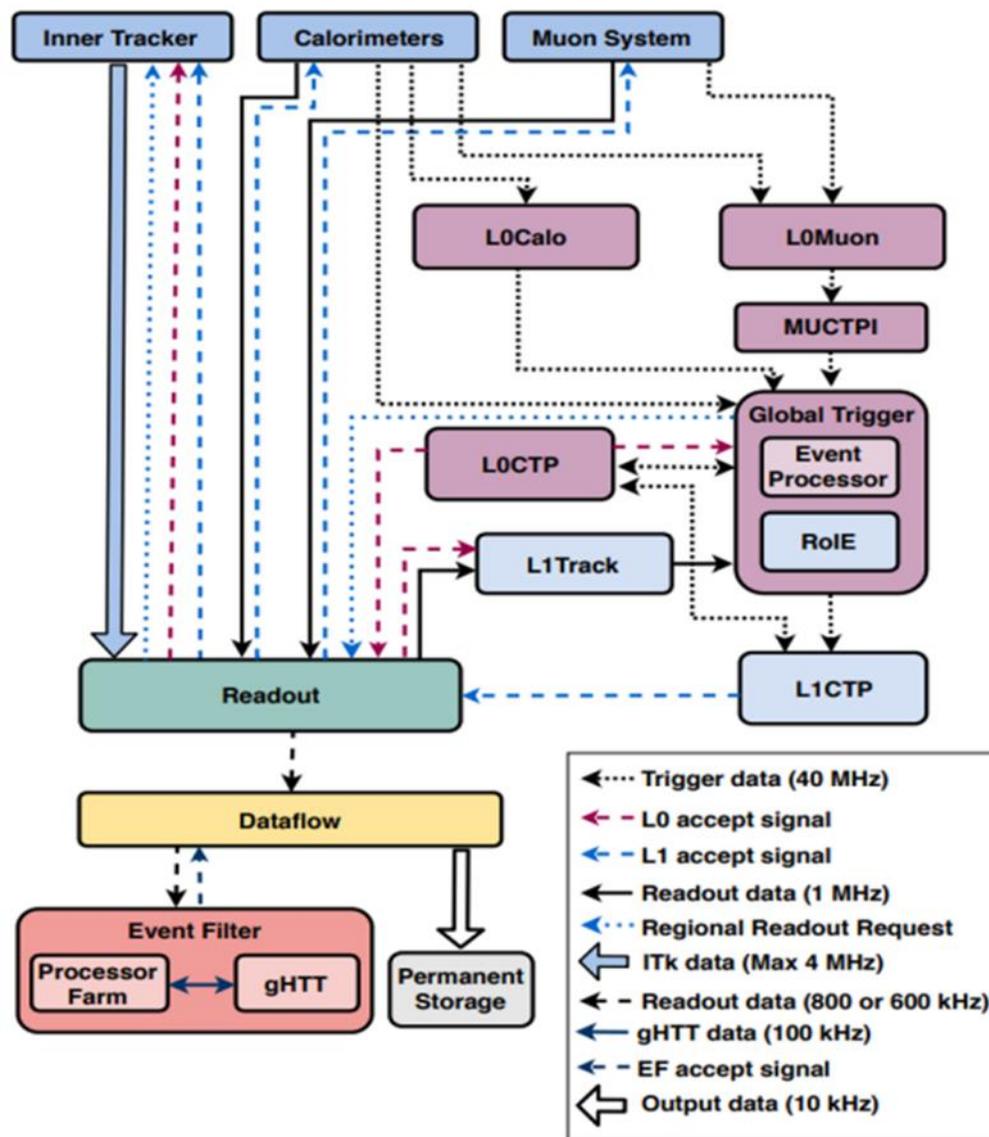
# Triggerless范例2: LHCb触发系统Run 3的改进

- GPU HLT



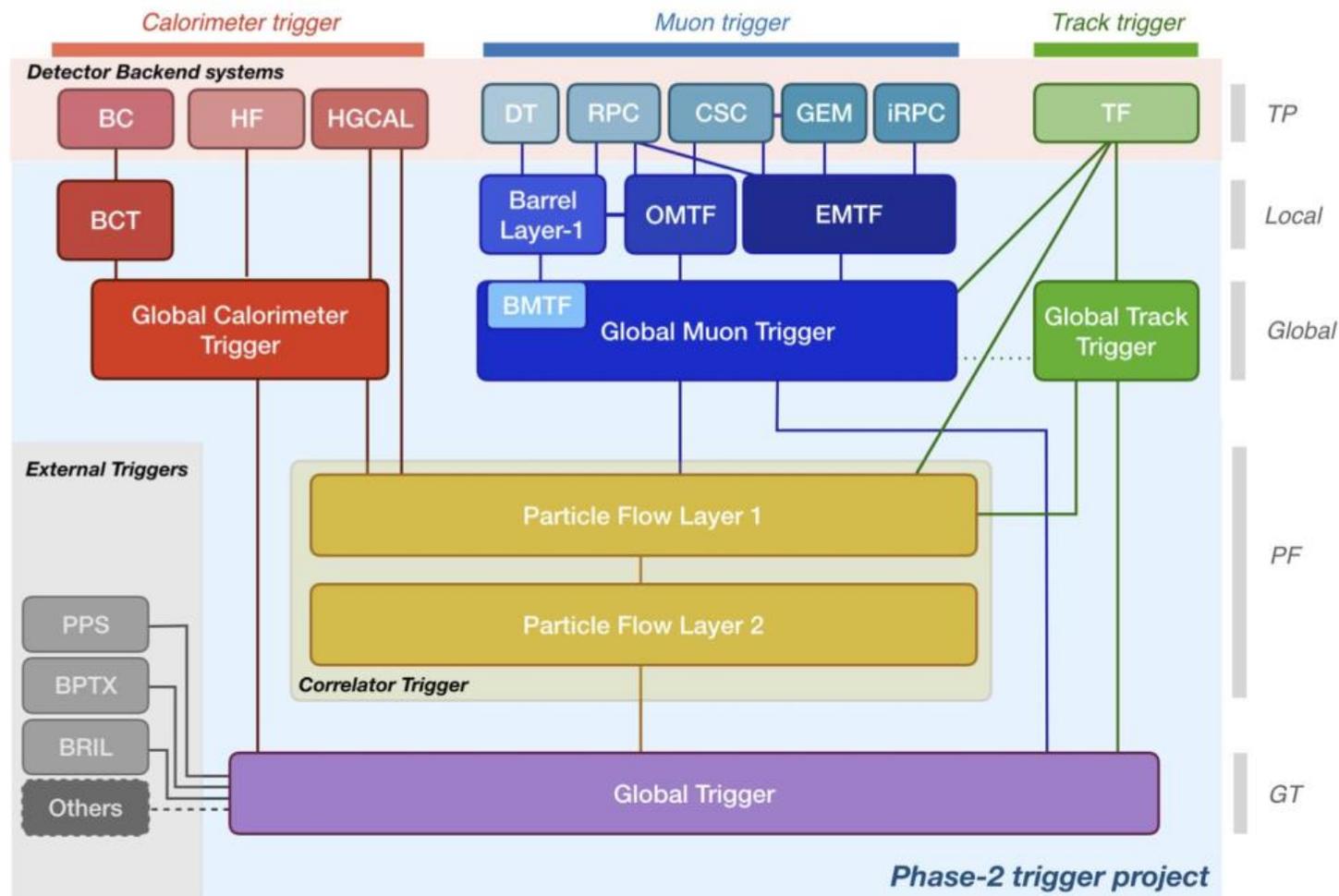
# 软硬结合的范例3: ATLAS

- 软硬结合



# 软硬结合的范例4： CMS PhaseII/RUN3硬件触发

- 在整体框架上增加了后端电子学 (Serenity/xTCA)
  - 前端电子学是triggerless读出
  - 后端完成局部触发/DAQ读出/快慢控制/时钟分配等
- L1硬件触发
- HLT在Farm/CPU实现



# CMS Triggerless要面临的问题

- 物理需求、及对应情况下好事例及总事例率的预估
- FEE功耗能力和限制
- 可行的传输带宽
- 通用硬件架构
- 高击中率情况下传输
  - MUX所用时间及带来的时延，及其是否有确定性
  - DeMux所用时间及带来的时延，及其是否有确定性
  - 对DAQ 读出窗口的影响
  - 传输、Mux、DeMux带来的总时延这种不确定性对对整个系统的影响
  
  - 如何减少这些影响
- 中国组提供了Check-Sort-Push机制解决RPC子系统的问题，Serenity通用板核心人员，积累了经验

# 小结

- 触发系统提供实验基本的时基、实时控制、事例好坏的判断的功能，与前端电子学和DAQ协同工作，完成物理实验的取数目标
- 时代在前进、技术在进步、新的困难和需求不断出现
- 通过国内项目和国际合作相关人员已经学习提高了自己，并做出贡献
- 更可喜的是目前参与和开展触发技术工作的队伍壮大了起来
- 相信面对国内新需求，通过学会的领导和同仁的通力合作，触发领域的工作也一定不负众望，有新的技术突破。

• 谢谢大家！

backups

# 触发系统的作用

1. 给电子学提供数字化的初始化、清零、启动信号和时钟等控制信号
  2. 利用电子学提供的信号对事例进行快速粗略判选，只对期待的好事例的信号进行数字化，而对本底事例不启动数字化以节省数字化时间。
- 应该注意的是，本底事例的定义是变化的，是随着实验的目的而定的，比如说，同样是宇宙线事例，在正常对撞实验中是本底事例，但在用宇宙线做探测器的标定实验是则是好事例了。
  - 而且触发的作用也不是要把所有的本底事例完全排除，因为对任何实验，定义本底和好事例的判据都是有联系的，不是绝对的，就是说，排除本底的同时总是要牺牲一部分好事例。
  - 因此为了不影响好事例的触发效率，一般对触发判选系统的要求是把本底排除到在线读出系统系统能够容忍的程度就行了。

# 实验物理中的触发目标

触发判选系统的目标:

接受所有感兴趣的事例（好事例），不丢失或少丢失  
尽量多地拒绝各种本底事例，使得触发事例率DAQ系统足以承受。

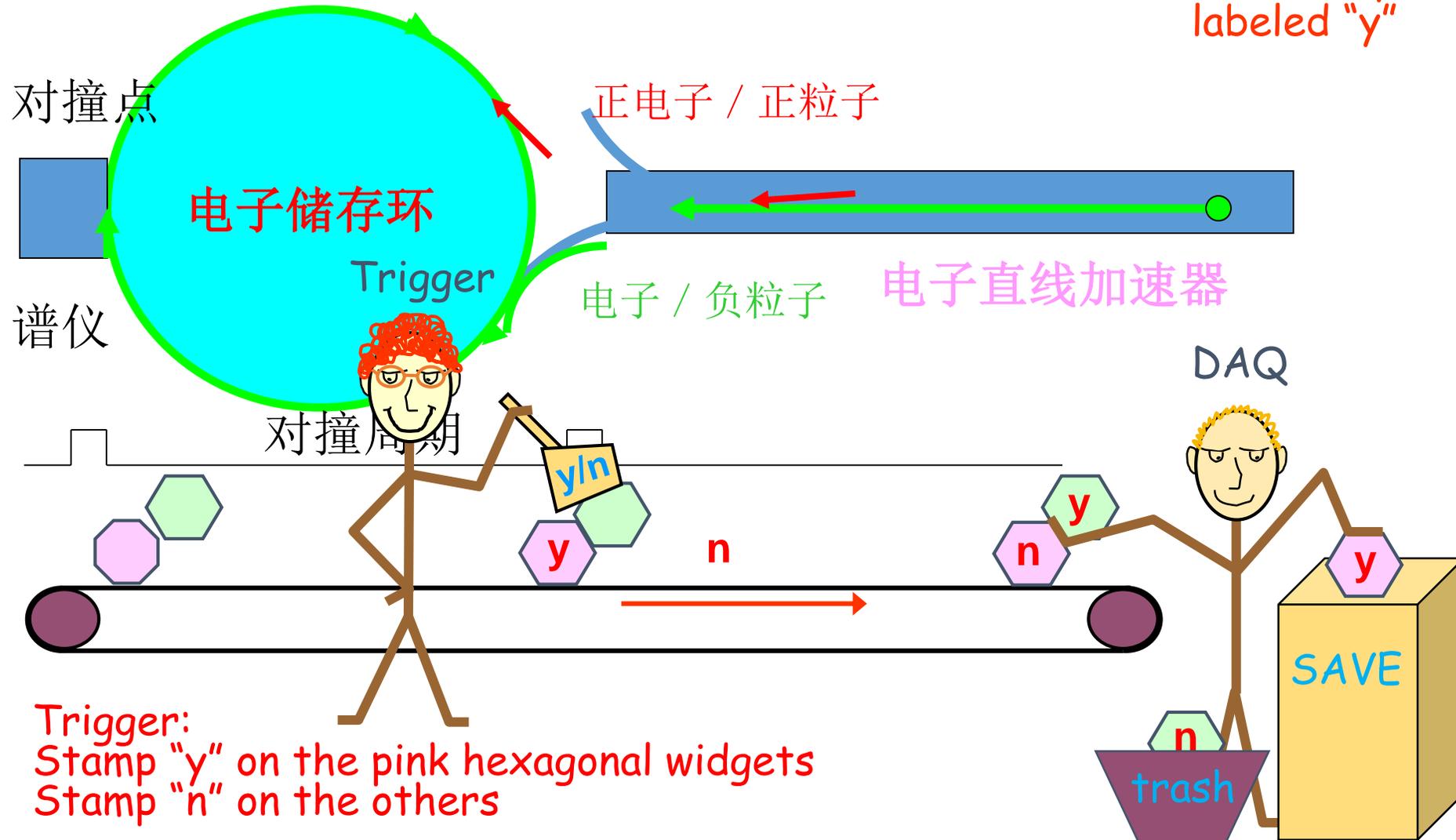
死时间少

- 好事例:
  - 任何想要的事例
  - 可以是对撞产生的事例
  - 也可以是宇宙线事例
  - 随实验的目的而定
  - 不同的实验好事例可以不同.
- 本底:
  - 任何与实验的目标不一致的事例.
  - 宇宙线事例
  - 束流丢失粒子（失焦，丢速，  
Touchcheck 效应）

# 一般触发系统的原理与构成

- 对撞机实验

DAQ:  
Saves only widgets  
labeled "y"



Trigger:  
Stamp "y" on the pink hexagonal widgets  
Stamp "n" on the others

# 对触发系统的要求

- 利用从探测器来的多种信号进行快速判选，排除尽可能多的本底，
- 保留所有的好事例，
- 把读出事例率降低到电子学读出系统和在线计算机能够接受的程度，而引起的死时间要尽可能地小，
- 另外，还希望触发判选系统是灵活可变的，以适应物理实验的不同要求。

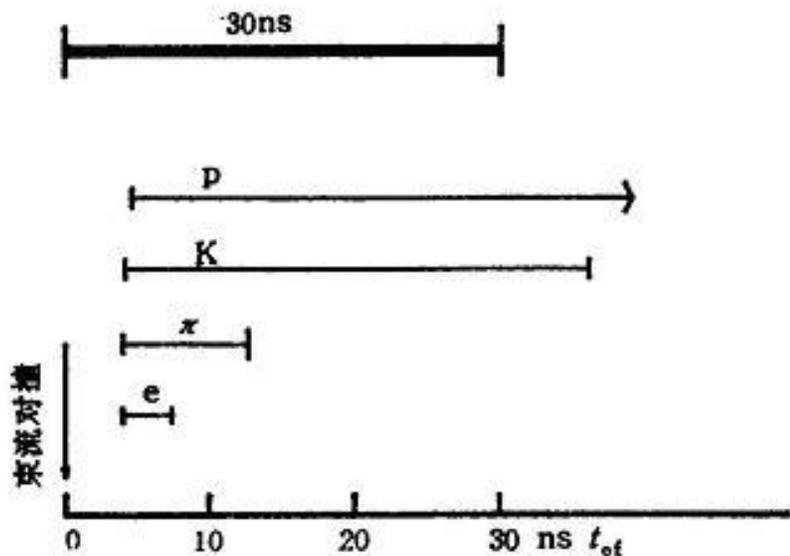
# 触发好事例判据

- TOP的时间信息
- 漂移室的径迹信息
- 量能器的能量信息和位置信息
- 缪子计数器的击中信息

# 飞行时间计数器(TOF)判选电路

TOF判选电路在每次对撞后用一个宽40ns的门对来自TOF的信号进行时间选择,以排除95%的宇宙线以及和束流无关的其它本底。此外还用15ns的门选取背对背的Bhabha和双缪子事例。TOF的信息用于一级判选。

北京谱仪的飞行时间计数器包括一个  $\phi 2.89 \times 2.84\text{m}$ 的桶部(48个塑料闪烁体, 两端读出)和东、西两个端盖(各有24个梯形闪烁体, 单端读出)。计算给出了正负电子束团对撞后, 从对撞点以各种角度( $\theta$ ,  $\phi$ )发射出来的不同动量和质量的次级粒子击中桶部飞行时间计数器所需的飞行时间 $t_{ff}$ 。下左图表示各种粒子 $t_{ff}$ 的范围。可以看出, 如果选择 $t_{ff}$ 在3—33ns期间内, 即设置一个宽度为30ns的时间窗, 则桶部飞行时间计数器可以记录击中它的全部电子、介子, 几乎所有的K介子和大部分质子。



在每次对撞后用一个宽40ns的门对来自TOF的144个甄别信号进行时间选择,可以排除96%的宇宙线等和束流无关的本底。此外还用背对背符合和15ns门选取可能的Bhabha事例和双缪子事例。这种背对背符合也在宇宙线运行时用来选择通过谱仪中心的宇宙线。

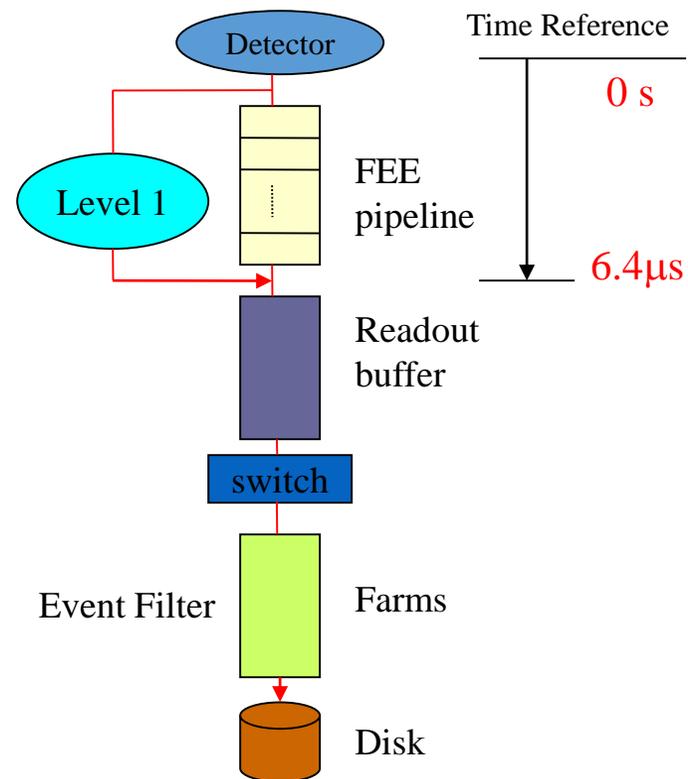
# 触发条件表

条件/类型		Bhabha	荷电	$\mu^+ \mu^-$	中性	备用	宇宙线	备用	
参加取数?		Y	Y	Y	Y	N	N	N	N
一级触发	TBB	Y	—	Y	—	—	—	—	Y
	TN1	—	—	—	—	—	Y	—	—
	TN2	Y	Y	Y	—	Y	—	—	Y
	RADIAL	Y	—	—	Y	—	—	—	—
	中性反符合	—	—	—	N	—	—	—	—
	备用	—	—	—	—	—	—	—	—
	备用	—	—	—	—	—	—	-	—
二级触发	Ntrk1	Y	Y	Y	N	—	Y	—	Y
	Ntrk2	Y	Y	Y	N	Y	—	—	Y
	Ntfk5	N	—	N	—	N	N	—	—
	$\mu^-$ -或	—	—	Y	N	Y	Y	—	Y
	CDC-或	Y	Y	Y	—	—	—	—	—
	能量平衡	—	—	—	Y	—	—	—	Y
	总能量低	Y	Y	—	Y	—	—	—	—
	总能量高	Y	—	—	Y	—	—	—	—

# BESIII触发系统方案

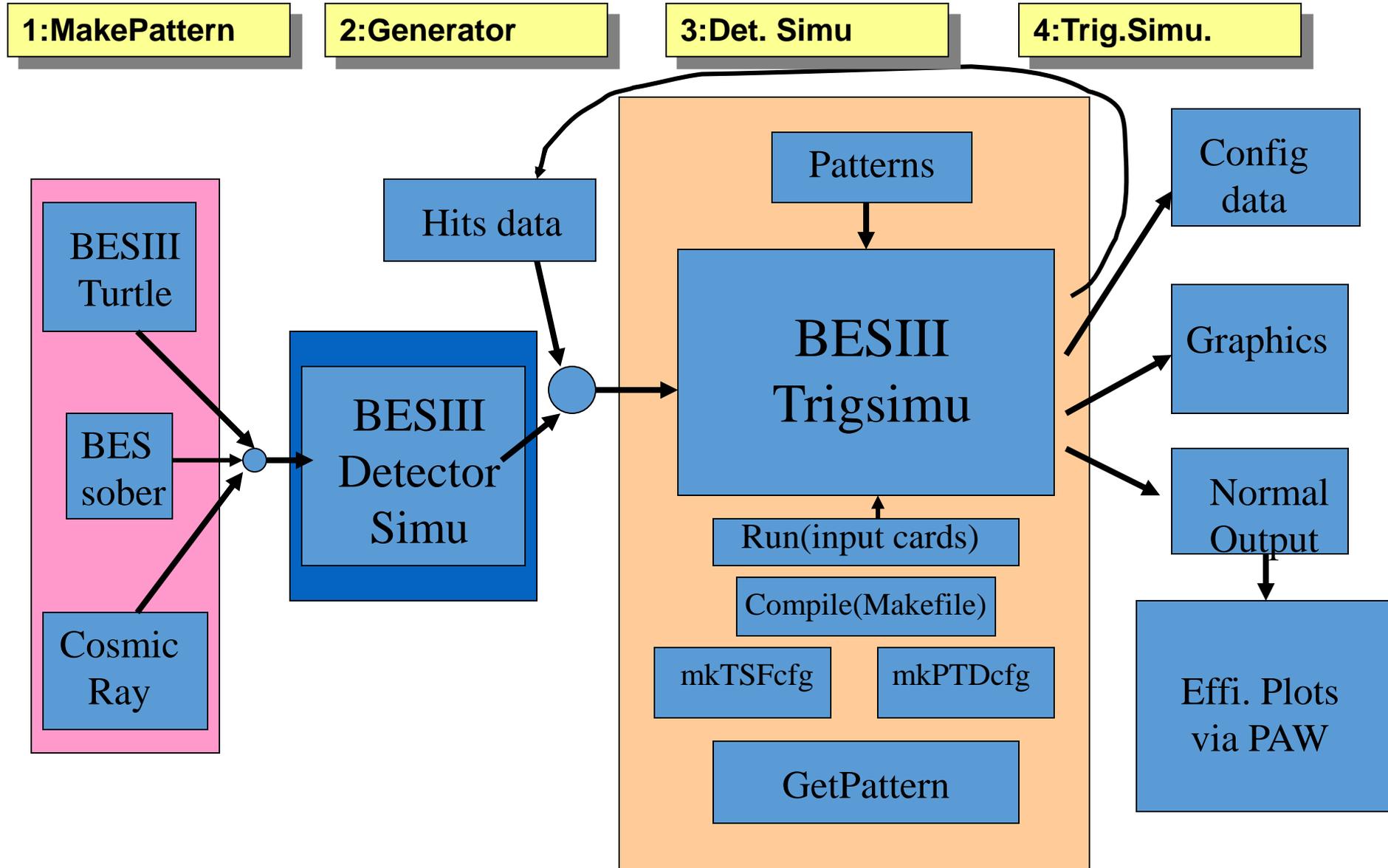
## BESIII实验对触发系统的要求:

- 事例率
  - 好事利率:  $\sim 2000\text{Hz}$
  - Bhabha 事例率:  $\sim 800\text{Hz}$
  - 宇宙线事例率:  $< 200\text{Hz}$ ,  
rejection  $> 10:1$
  - 束流本底事例率:  $< 2000\text{Hz}$ ,  
rejection  $> 10000:1$
  - 总事例率:  $4000\text{ Hz}$
- 触发流水线工作方式
  - BEPCII 多束团模式 (93), 束团间距:  $8\text{ns}$
- L1不确定性:  $0.4\ \mu\text{s}$
- 触发L1信号延迟输出:  $6.4\ \mu\text{s}$ , 数据存储在流水线缓存器
- L1不能做时间参考, 只做数据索引



BESIII FEE pipeline and Data flow

# BESIII触发方案可否？模拟先行



# 触发条件表

Detector	Trigger Condition	bits	Comments
TOF	Ntof $\geq$ 1 Ntof $\geq$ 2 TBB	3	TOF hits number (TOF timing)  Back to back hits
ETOF	Netof $\geq$ 1 Netof $\geq$ 2 ETBB	3	(ETOF timing)
MDC	NLtrk $\geq$ 1 NLtrk $\geq$ 2 LTrk-BB NLtrk $\geq$ N NStrk $\geq$ 1 NStrk $\geq$ 2 STrk-BB NStrk $\geq$ N Nitrk $\geq$ 1 NITRK $\geq$ 2	10	Full Track number  Back to back tracks Many tracks Short Tracks number   With Inner DC hit
EMC	NClus $\geq$ 1 NClus $\geq$ 2 BclusBB EclusBB Clus_PHI Clus_Z Diff_B, Diff_E, BL_BEMC, BL_BLK BL_EEMC BL_Z Etot_L, Etot_M BEtot_H EEtot_H	16	Cluster number(EMC timing)  Back to back cluster  Cluster balance at $\phi$ One cluster at each half of EMC Energy difference between each B half Energy difference between each E half Energy Balance between half BEMC Energy Balance of barrel blocks Energy Balance between half EEMC Z energy balance (B+E) Tatol Energy >Thre-l Tatol Energy >Thre-m Tatol energy of Barral EMC Tatol energy of Endcap EMC
MATCH	NAtrk $\geq$ 1 NAtrk $\geq$ 2 ATRK-BB NBtrk $\geq$ 1 NBtrk $\geq$ 2 BTRK-BB NCtrk $\geq$ 1 NCtrk $\geq$ 2 CTRK-BB	9	Atrk=MDC Full track+TOF hit OR MDC Full track+TOF hit+ EMC Cluser Btrk= ETOF hit + EEMC Cluster OR ETOF hit + EEMC Cluster +MDC Short Track Ctrk=MDC Track+Inner MDC hit
		41	

## • 作用

- TOF
  - 带电粒子的定时与触发
  - 排除本底
- MDC
  - 带电粒子的触发
  - 排除本底
- EMC
  - 中性粒子的触发
- Match
  - 径迹匹配进一步排本底

# 触发表

	Charge1	Charge2	Charge3	common	neutralA	neutralB	BhaBha BEMC	BhaBha EEMC
NLtrk $\geq$ 1	Y	Y						
NStrk $\geq$ 2		Y						
Strk-BB			Y				Y	Y
Ntof $\geq$ 1	Y							
Bclus-BB							Y	
Eclus-BB								Y
Clus-PHI				Y	Y			
Clus-Z				Y				
Diff-E								Y
BL-LBK							Y	
BL-EEMC								Y
BL-Z						Y		
Etot-L	Y			Y				
Etot-M					Y			
Eetot-H								Y

# 模拟的触发效率

Events generated and simulated with Geant	Trigger efficiency(%) / background rate
Bhabha @ 3.097 GeV	100
Radiative BB (3.097 GeV)	100
$J/\psi \rightarrow \gamma \eta \rightarrow 3\gamma$	99.99
$J/\psi \rightarrow \omega \eta \rightarrow 5\gamma$	99.99
$J/\psi \rightarrow K^+ K^- \pi^0$	99.69
$J/\psi \rightarrow P \bar{P}$	99.91
$J/\psi \rightarrow \text{anything}$	99.80
$J/\psi (2S) \rightarrow \text{anything}$	99.50
$J/\psi (3770) \rightarrow \text{anything}$	99.90
Lost beam backgrounds	1.85 kHz
Cosmic-ray backgrounds	86 Hz

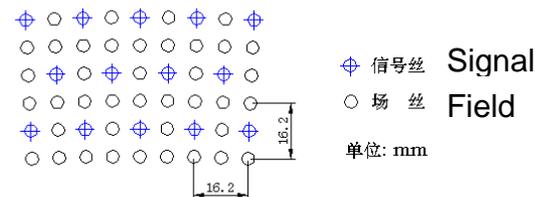
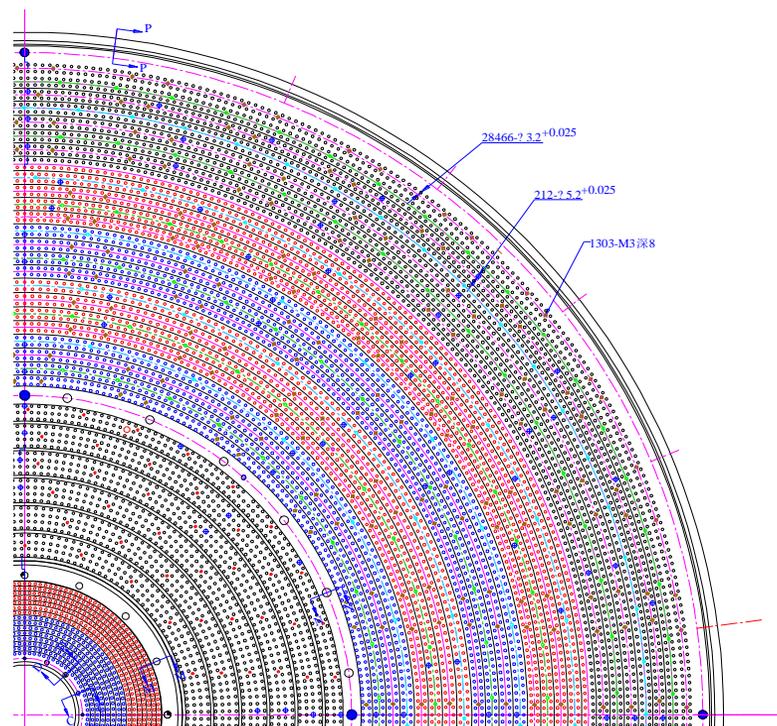
- 我们从中可以看到触发效率是很好的。本底事例率接近边界。在调试过程中通过备用的触发条件加以调整。

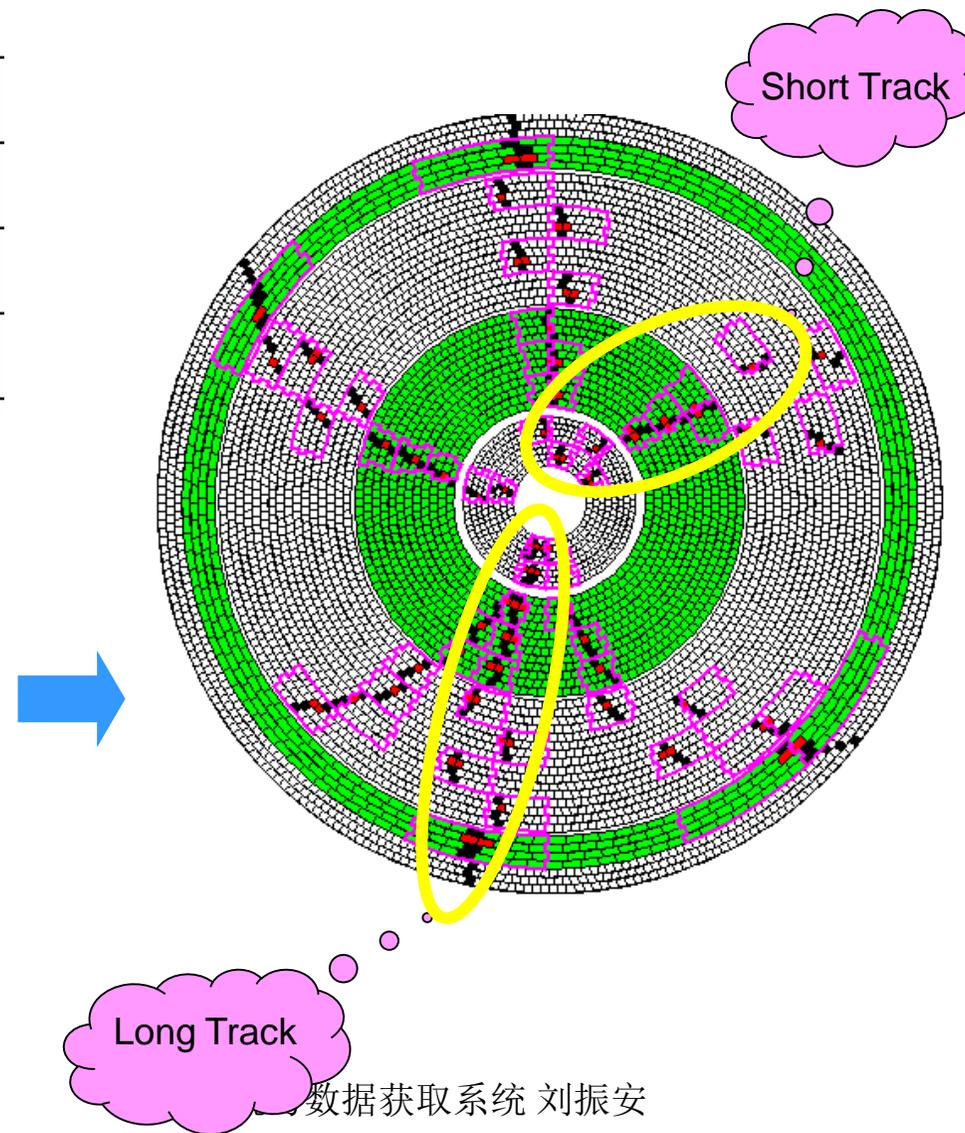
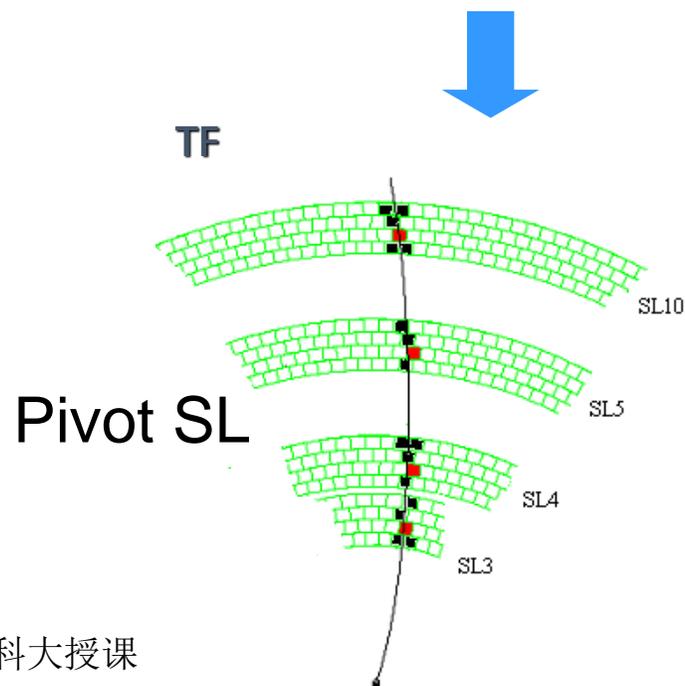
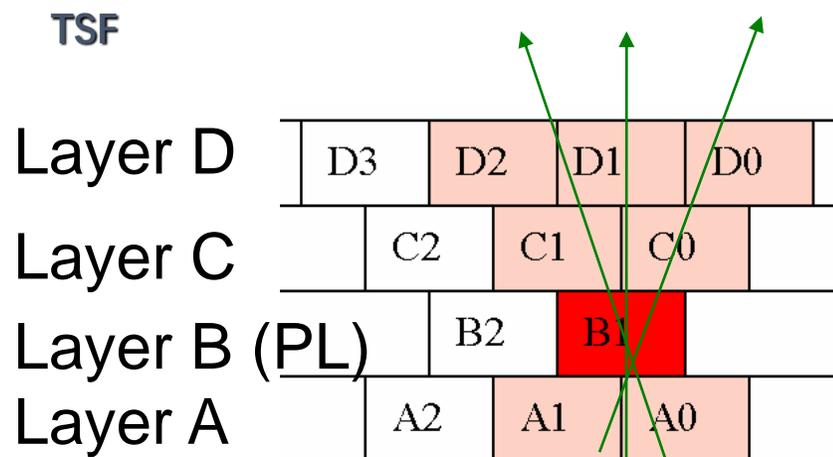
# MDC 子系统

- Parameters of MDC trigger

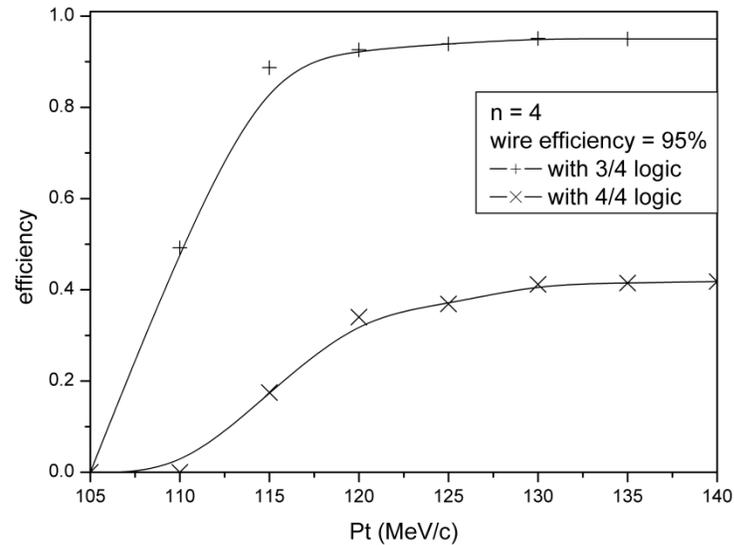
Super Layer	Wire Layer	# of sig.				# of WL in SL	Pivot Layer	# of pivot cells SL
		L1	L2	L3	L4			
SL-1	ST-1/2/3/4	40	44	48	56	4	3	48
SL-2	ST-5/6/7/8	64	72	80	80	4	3	80
SL-3	AX-9/10/11/12	76	76	88	88	4	3	88
SL-4	AX-13/14/15/16	100	100	112	112	4	3	112
SL-5	AX-7/18/19/20	128	128	140	140	4	2	128
SL-6	ST-21/22/23/24	160	160	160	160	4	2	160
SL-7	ST-25/26/27/28	176	176	176	176	4	2	176
SL-8	ST-29/30/31/32	208	208	208	208	4	2	208
SL-9	ST-33/34/35/36	240	240	240	240	4	2	240
SL-10	AX-37/38/39/40	256	256	256	256	4	2	256
SL-11	AX-41/42/43	288	288	288	0	3	2	288
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>6796</b>				<b>/</b>	<b>/</b>	<b>1784</b>

Inner layers
  Pivotal layers  
 Axial layers
  Not used layers

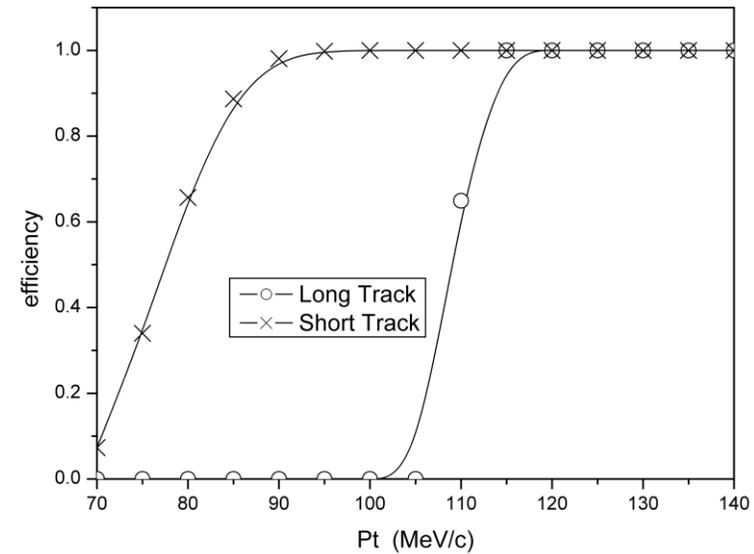




# Some results of simulation



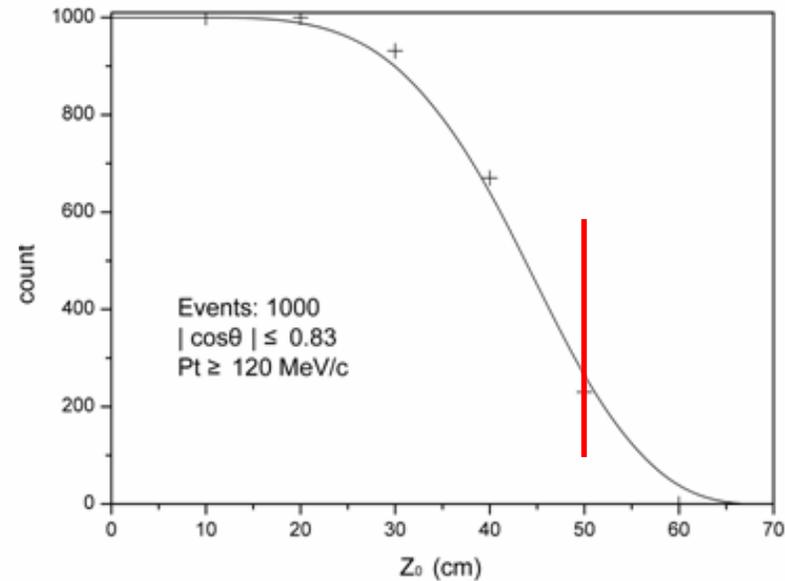
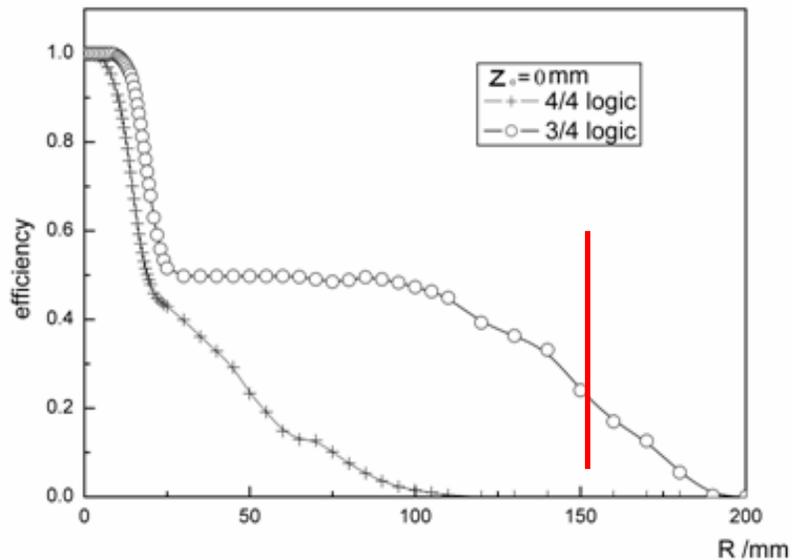
Relations between TSF efficiency and  $P_t$



Relations between TF efficiency and  $P_t$

# Some results of simulation (2)

- The track finding efficiencies in the  $r$ - $\phi$  plane and  $Z$  direction.
  - For a distance of 15 cm in the  $r$ - $\phi$  plane, the TF efficiency is about 30% for 3/4 TSF logic.
  - For a distance of 50 cm in the  $Z$  direction, TF efficiency is about 30%.



# MDC 触发条件

- 10 trigger conditions of the MDC trigger are used in BESIII trigger system
- 3 charged channels:
  - Charge1:  $N_{Ltrk} \geq 1 + N_{tof} \geq 1$   
(Number of Hits of TOF) +  $E_{tot} - I$   
(Low threshold of the whole EMC total energy,  $\sim 200\text{MeV}$ )
  - Charge2:  $N_{Ltrk} \geq 1 + N_{Strk} \geq 2$
  - Charge3:  $S_{Trk} - BB$

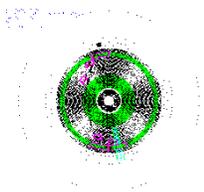
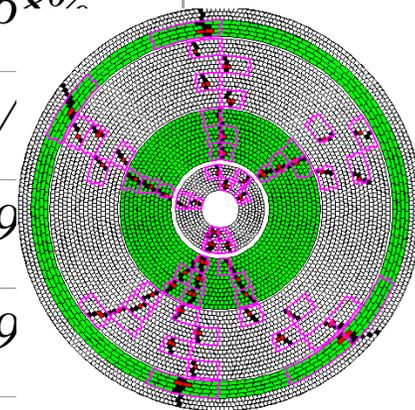
$N_{Ltrk} \geq 1$	Number of long track $\geq 1$ ;
$N_{Ltrk} \geq 2$	Number of long track $\geq 2$ ;
$N_{Ltrk} \geq N$	for MDC wires' hits of high voltage sudden discharge
$N_{Strk} \geq 1$	Number of short track $\geq 1$ ;
$N_{Strk} \geq 2$	Number of short track $\geq 2$ ;
$N_{Strk} \geq N$	for MDC wires' hits of high voltage sudden discharge ;
$S_{Trk} - BB$	Short Tracks back to back ;
$N_{Itrk} \geq 1^*$	Number of the Track Segments of the SL1 and SL2 are equal to or greater than 1;
$N_{Itrk} \geq 2^*$	Number of the Track Segments of the SL1 and SL2 are equal to or greater than 2.

2023-05-08 国科大授课  
 \*  $N_{Itrk} \geq 1$  and  $N_{Itrk} \geq 2$  are for backups to reject beam-related backgrounds.

触发系统与数据采集系统刘振安

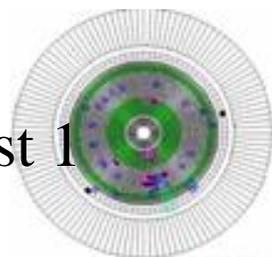
# 不同物理道的触发效率

<i>Physical channels</i>	<i>Rate of passed charged channels</i>	<i>Rate of passed Global trigger</i>	
$J/\psi \rightarrow \text{Anything}$	95.38 %	97.66 %	99.79% Good Event
$J/\psi \rightarrow K^+K^- \pi^0$	95.58%	97.39%	99.62%
$J/\psi \rightarrow \pi^0 p \bar{p}$	95.54%	97.94%	/
$J/\psi \rightarrow p \bar{p}$	95.08%	95.82%	99.9
$\psi' \rightarrow \text{Anything}$	97.72%	99.5%	99.9
$\psi'' \rightarrow D\bar{D} \rightarrow \text{Anything}$	97.85%	99.9%	99.97%
<i>Cosmic-ray</i>	/	18Hz	18Hz
<i>Beam related background</i>	/	99.9961%* (rejection)	150Hz

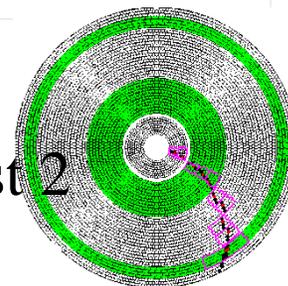


Cosmic

2023-05-08 国科大授课



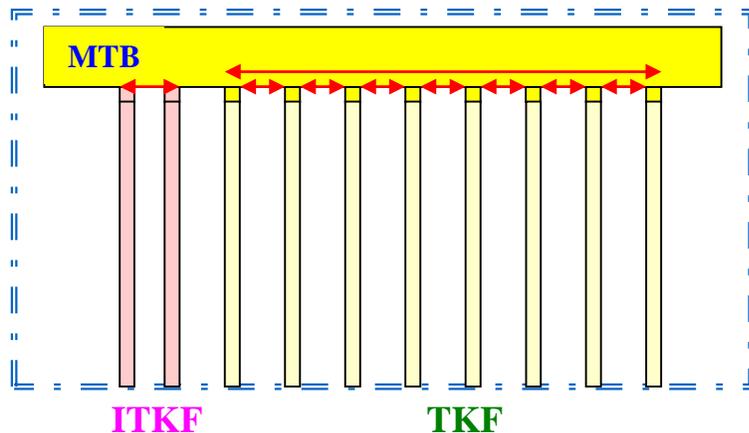
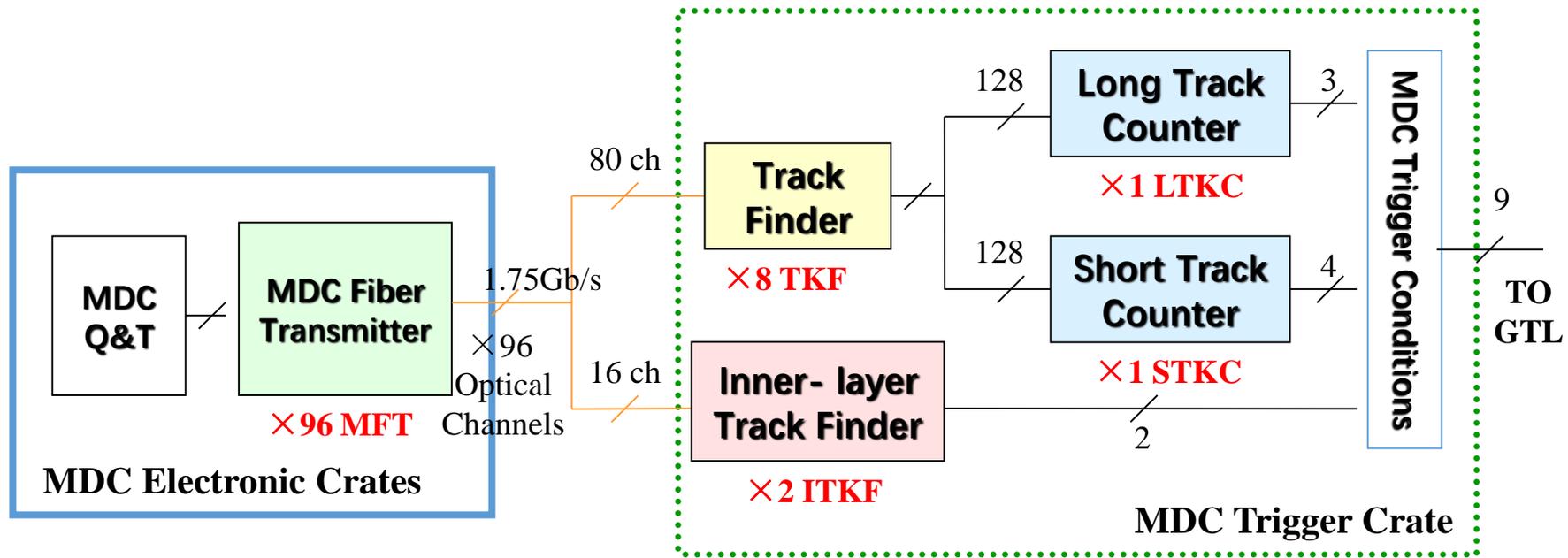
BeamLost 1



BeamLost 2

数据获取  
刘振宇

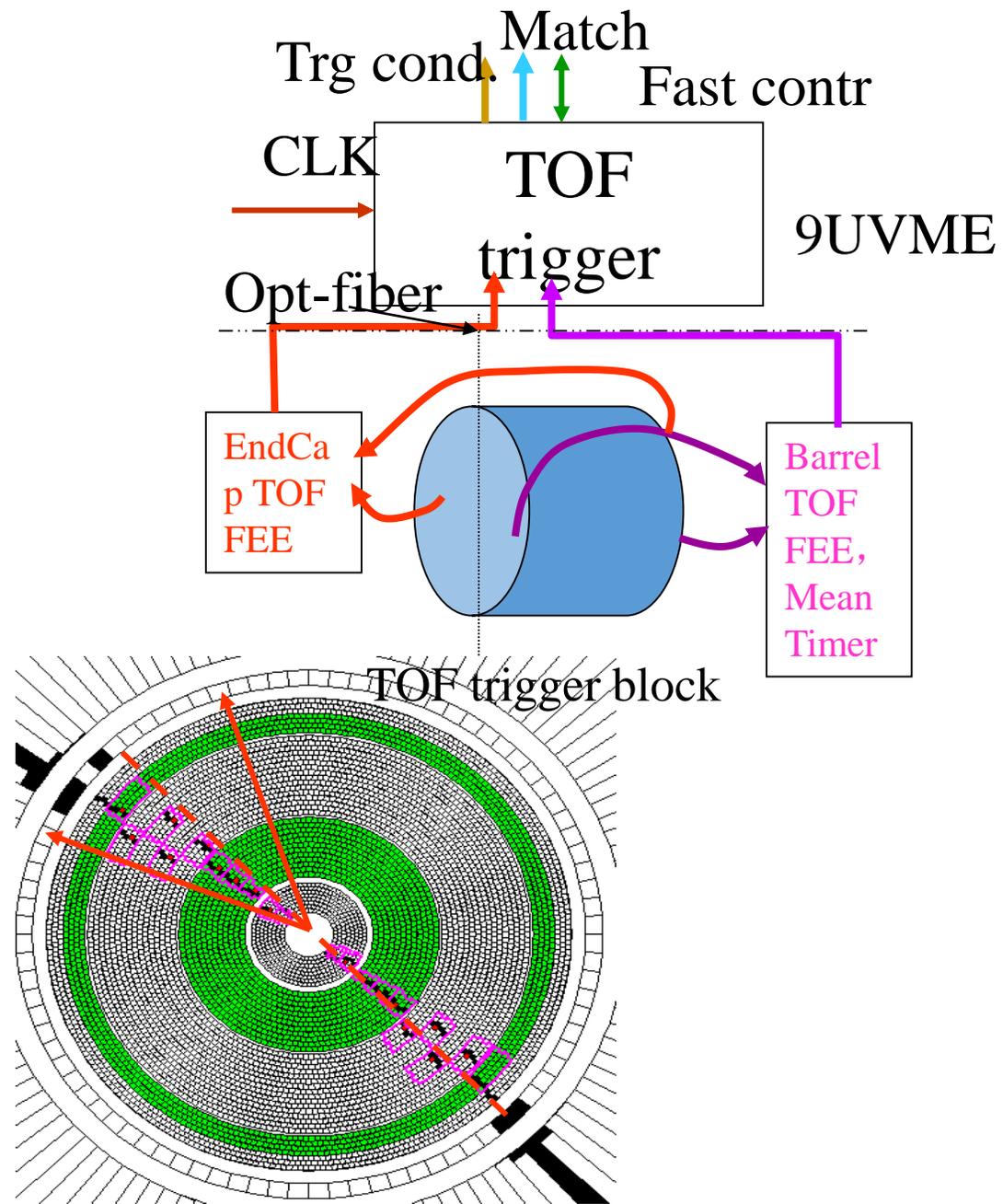
# MDC 触发的硬件实现



	Type of PCB	Board name	# of boards	FPGA firmware
MDC Fiber Transmitter	1	MFT	96	1
Track Finder	1	ITKF	2	2
		TKF	8	8
Track Counter	1	LTKC	1	1
		STKC	1	1
MDC Trigger Backplane	1	MTB	1	
Total	4		109	13

# TOF 子触发系统

- 击中数
  - $N_{Btof} \geq 1, N_{Etof} \geq 2$
  - $N_{etof} \geq 1, N_{etof} \geq 2$
- 桶部背对背 TBB
  - $P_t > 837 \text{ MeV}$
  - 12cells(3x2x2+1),  $53^\circ$
- 端盖背对背 ETBB
  - $P_t > 551 \text{ MeV}$
  - 8cells(2x2x2+1),  $67^\circ$
- 径迹配对信息 (TKM) :
  - $T_{Bhits}(88), T_{ehits}(48)$



Barrel:<sup>57</sup>88 Endcap:48

触发系统与数据获取系统 刘振宇

# EMC trigger

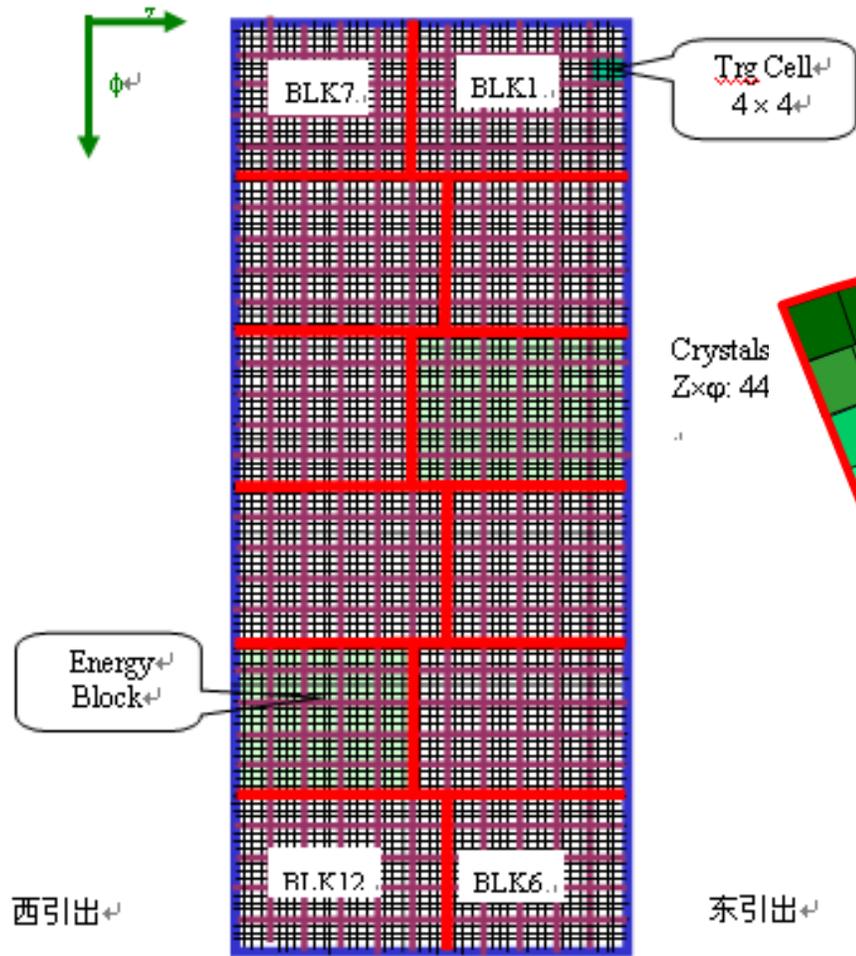


图1 桶部量能器晶体排列图

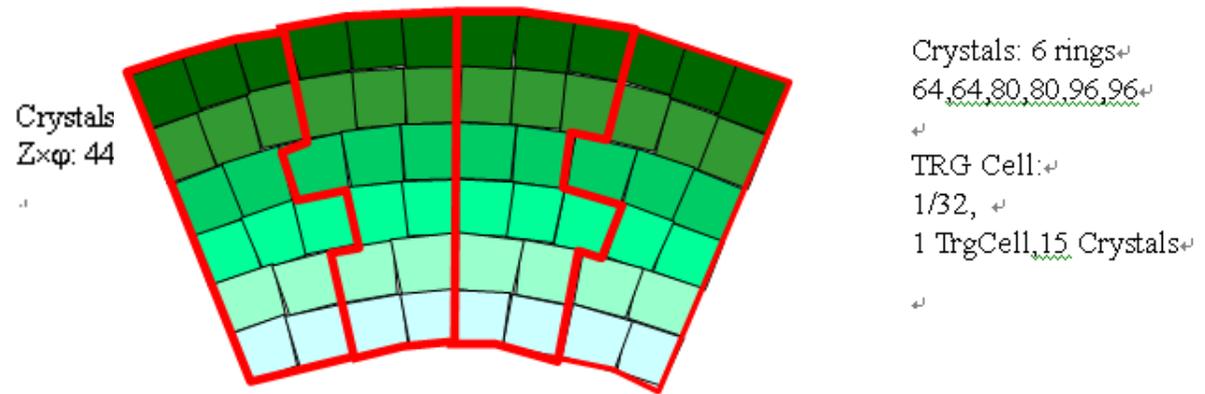
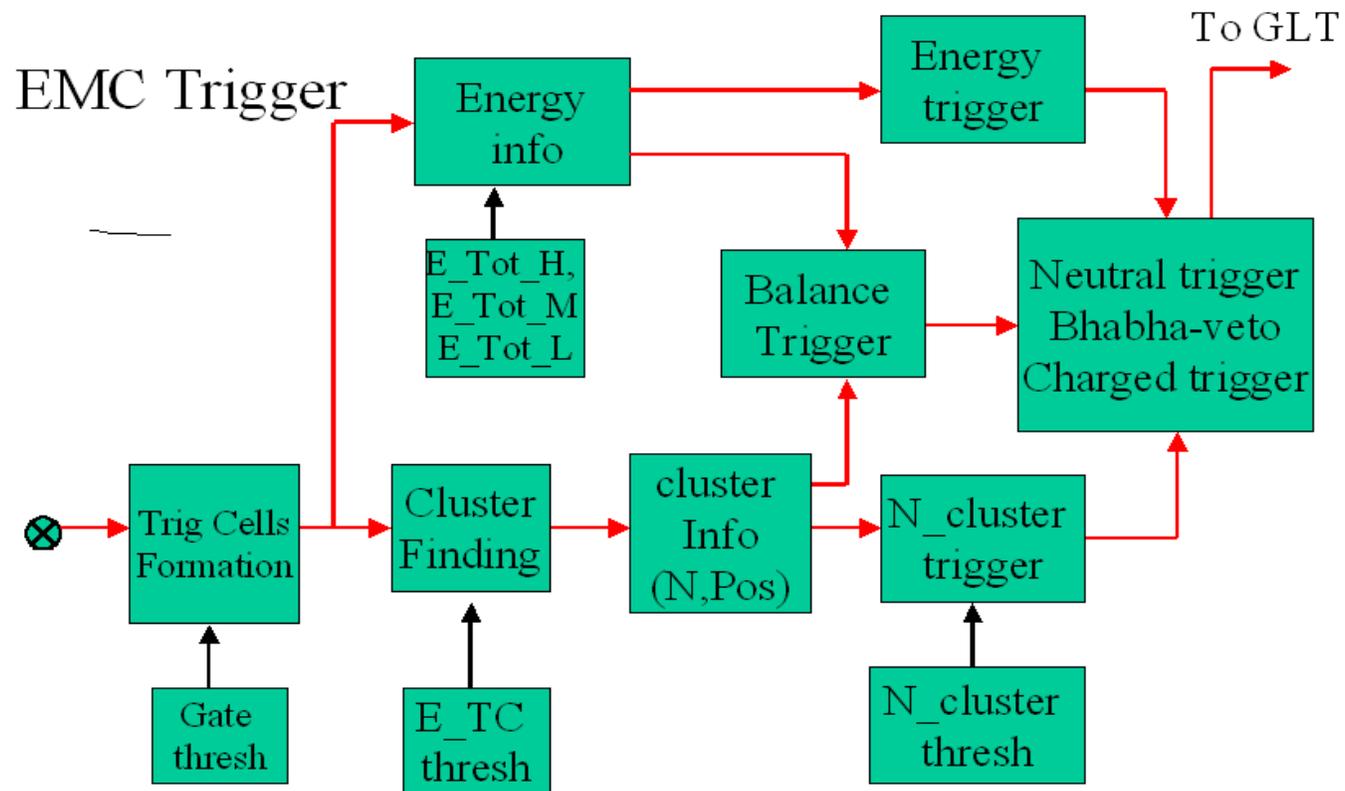


图2 量能器端部触发单元分割示意图  
(单端1/8)

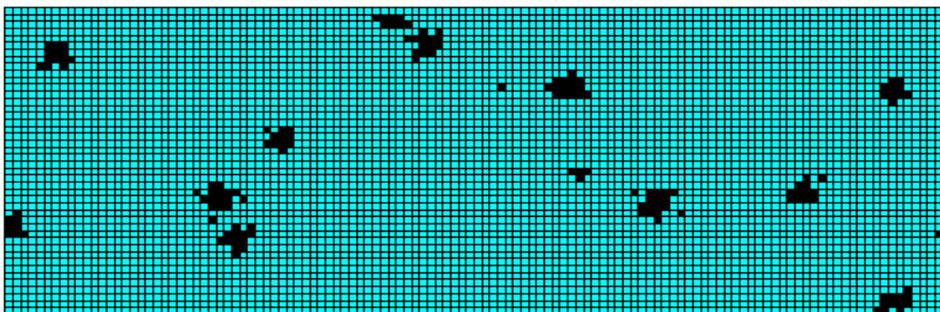
# EMC Trigger



Etot,  
Ncluster,  
Balance,  
Position in  
phi, theta

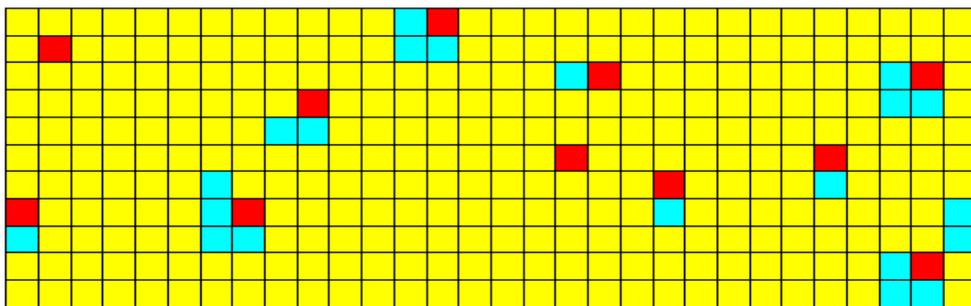
# TC and Isolated Cluster finding

BEMC CRYSTAL HITS



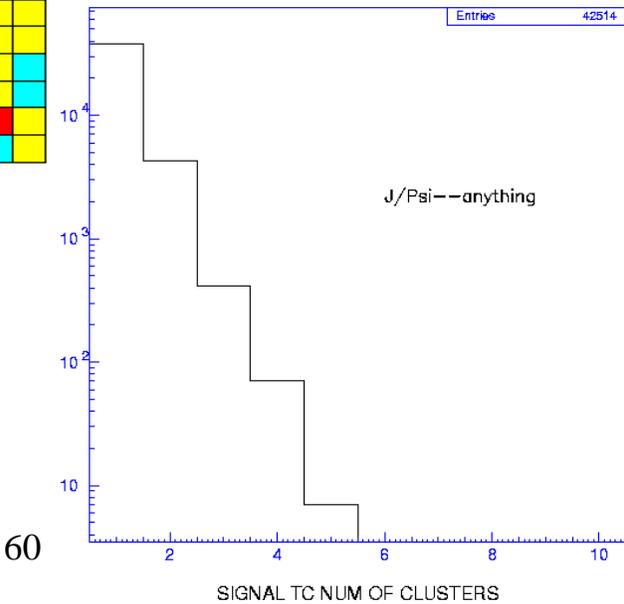
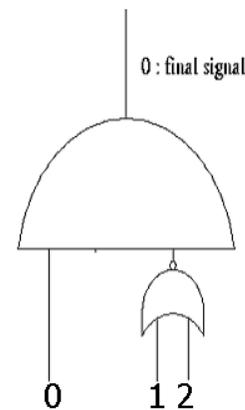
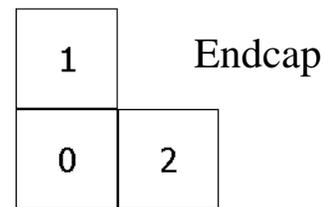
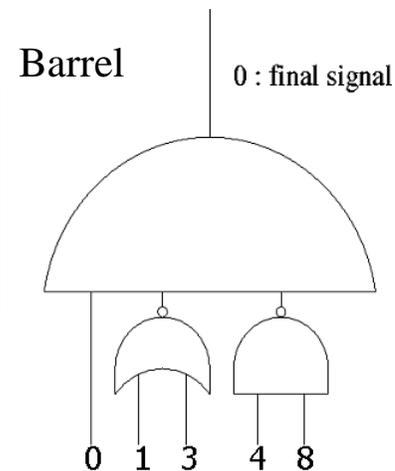
NUMBER OF CLUSTER 32. GATE THRESH 0. MEDIUM 12.  
 NUM OF ISO CLUSTER 11. GATE THRESH 0. MEDIUM 7.

BEMC TC HITS



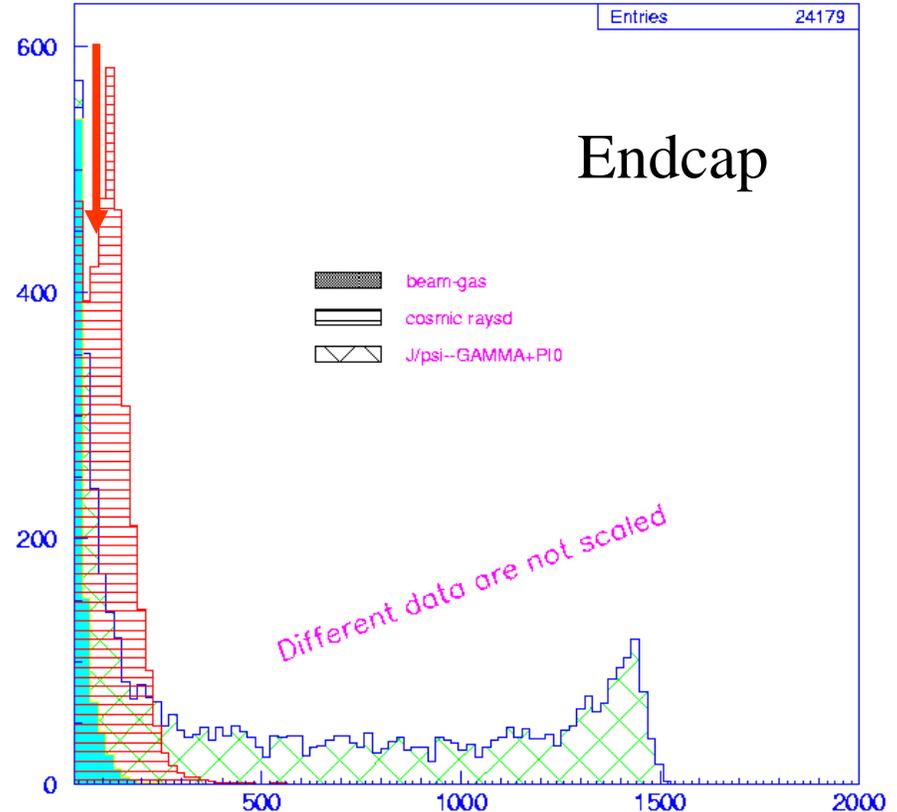
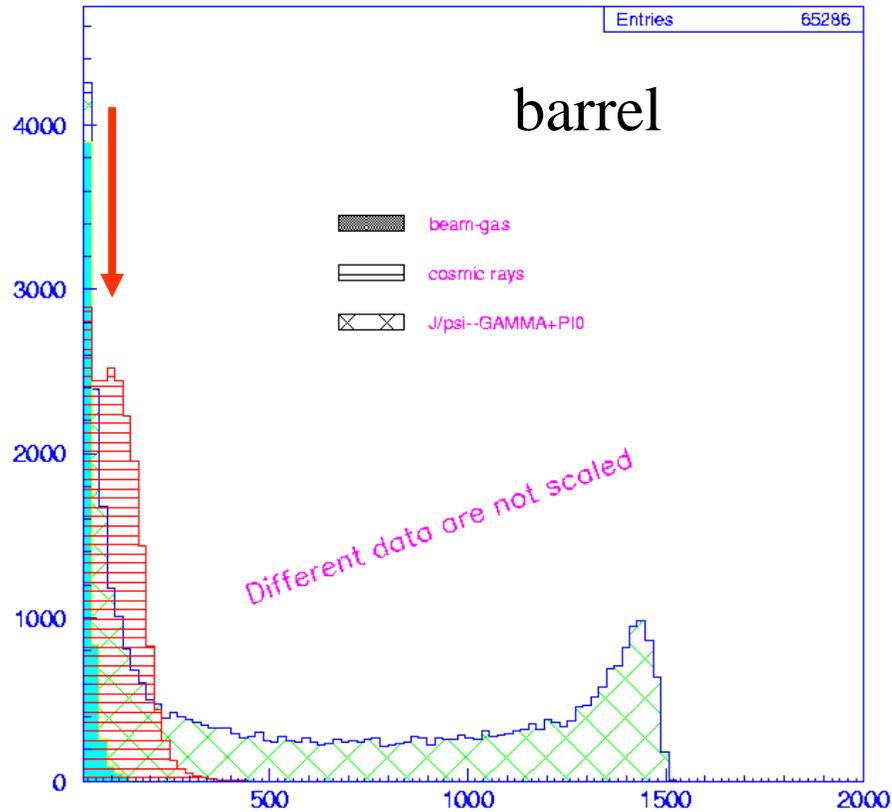
NUMBER OF CLUSTER 32. GATE THRESH 0. MEDIUM 12.  
 NUM OF ISO CLUSTER 11. GATE THRESH 0. MEDIUM 7.

5	1	6
2	0	3
7	4	8



- 选取该组最右上角（即 $\theta$ ,  $\phi$ 向编号较大）中的触发单元为簇团位置。

# TC 阈值的选取

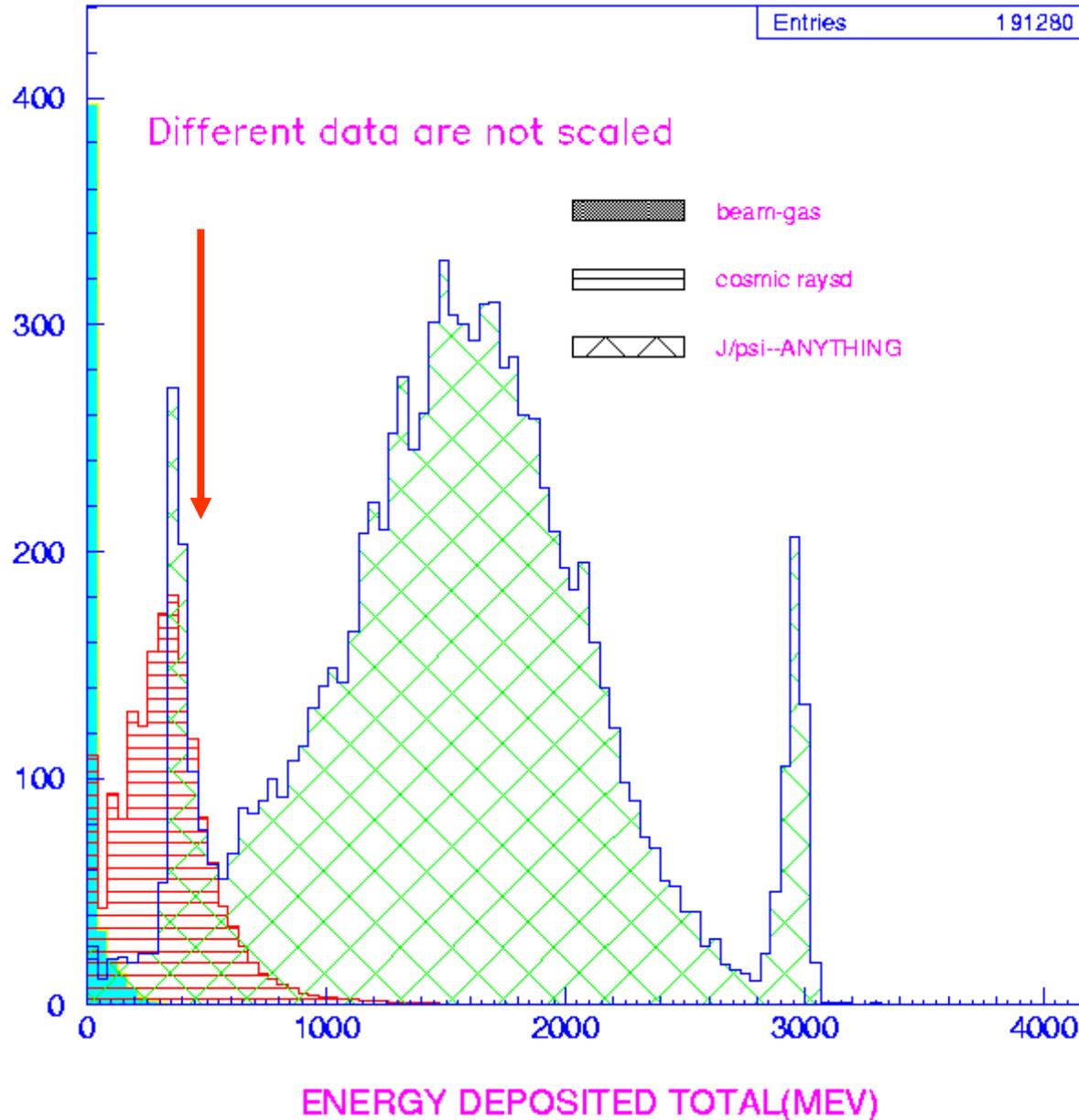


ENERGY DEPOSITED IN THE TRIGCELL(MEV)

ENDCAP ENERGY DEPOSITED IN TRIGCELL(MEV)

- 考虑信号堆积和基线涨落的限制，触发单元能量阈值确定为60—80Mev之间。
- 图中可见，束流—气体的本底的能谱集中在低能段，60—80Mev的触发单元能量阈值有能力排除在触发单元中单独沉积能量的束流本底

# Total energy



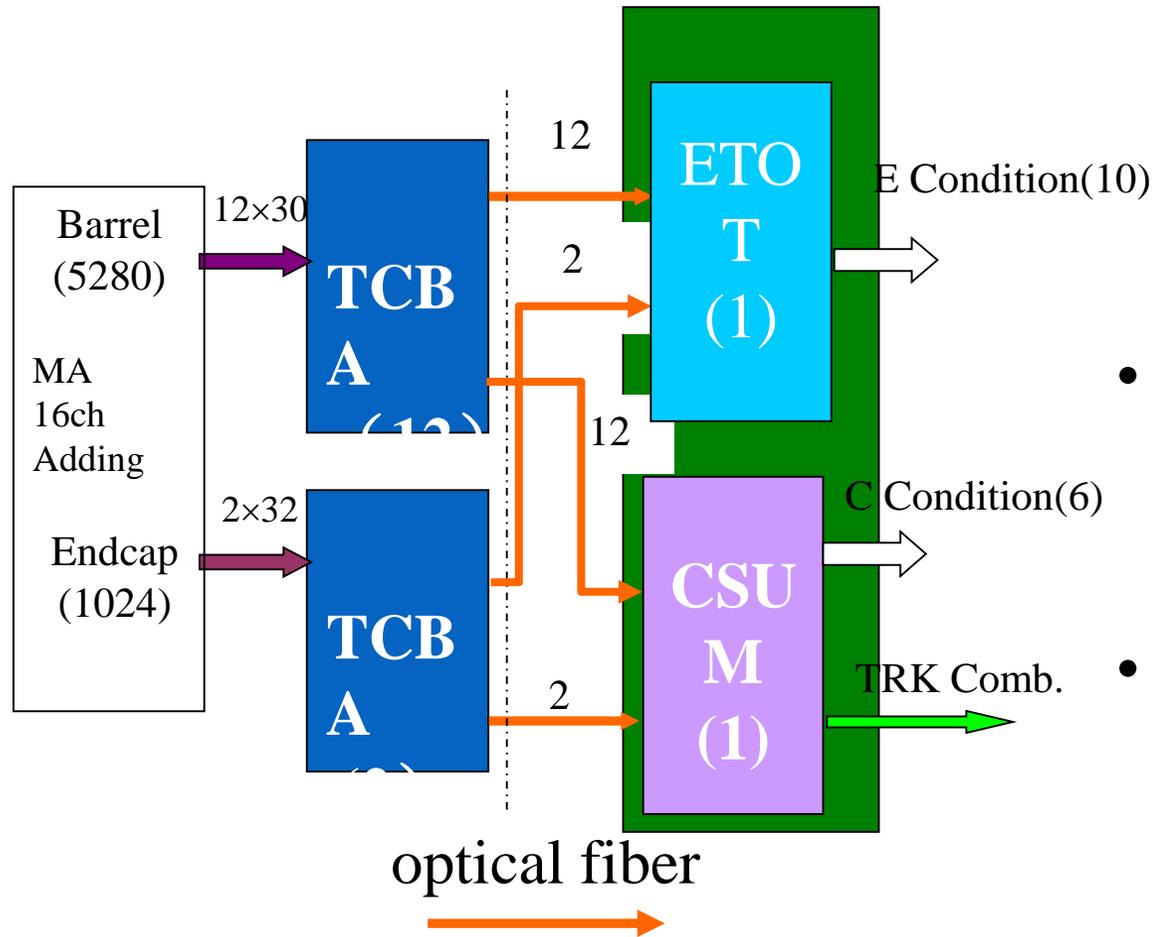
- Etot-L ( $\sim 200\text{MeV}$ )  
Threshold for background events
- Etot-M ( $\sim 800\text{MeV}$ )  
Threshold for neutral events
- Etot-H ( $\sim 2.5\text{GeV}$ )  
Threshold for bhabha event

# EMC 触发条件

- NClus>=1 Cluster number (>=1 for EMC timing)
- NClus>=2
- BclusBB Back to back cluster
- EclusBB
- Clus\_PHI Cluster balance at  $\phi$
- Clus\_Z One cluster at each half of EMC
- Diff\_B Energy difference between each B half
- Diff\_E Energy difference between each E half
- BL\_BEMC Energy Balance between half BEMC
- BL\_BLK Energy Balance of barrel blocks
- BL\_EEMC Energy Balance between half EEMC
- BL\_Z Z energy balance (B+E)
- Etot\_L Total Energy >Thre-l
- Etot\_M Total Energy >Thre-m
- BEtot\_H Total Energy of Barrel EMC
- EEtot\_H Total energy of Endcap EMC

To TKM:

# EMC sub-trigger



- TCBA:

- CCD base line restoration
- Input:twisted pair
- Time extraction and cluster signal
- Block energy sum and digitization with Flash ADC
- Fiber transmission

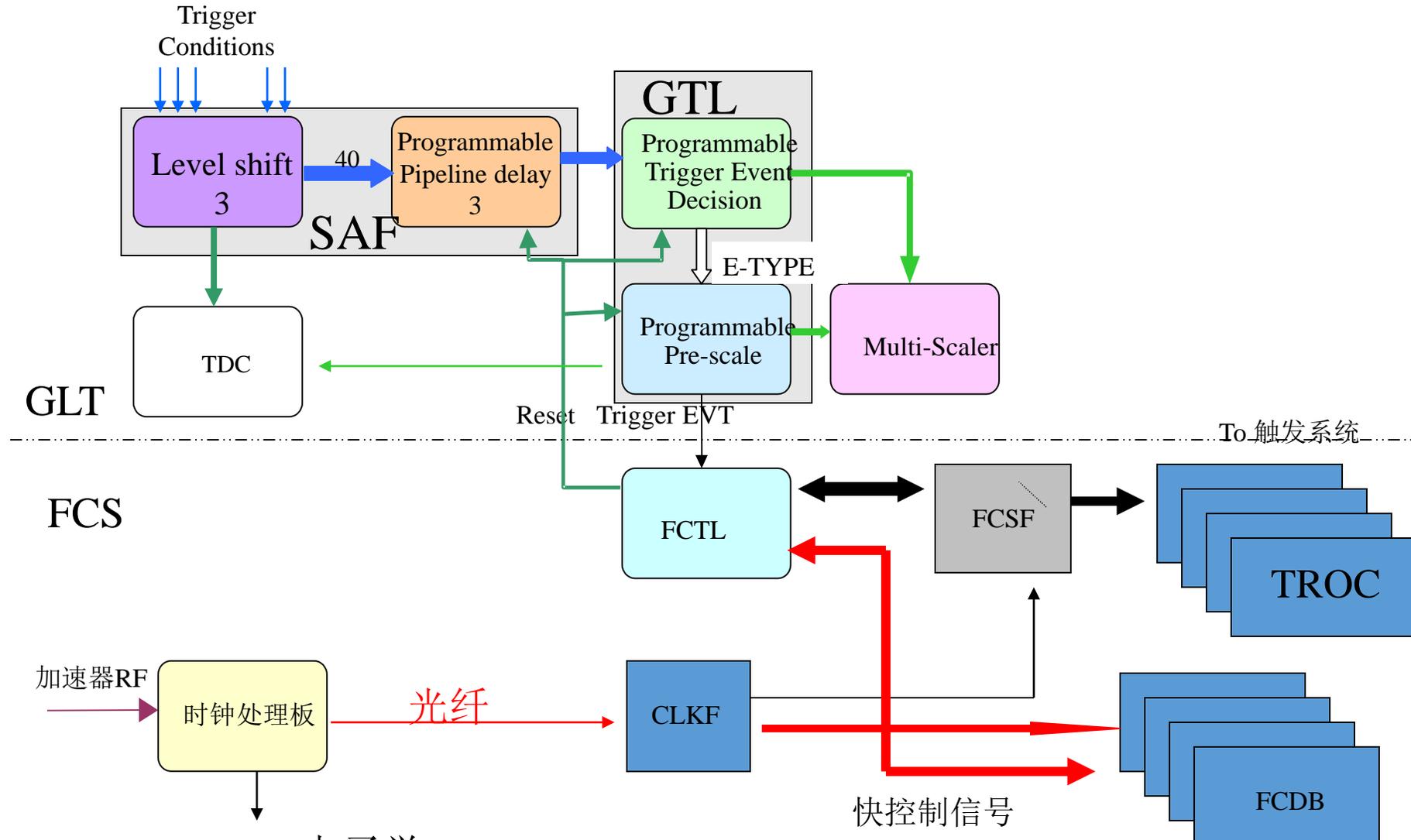
- CSUM:

- Cluster finding
- Cluster relative condition production
- Condition forming

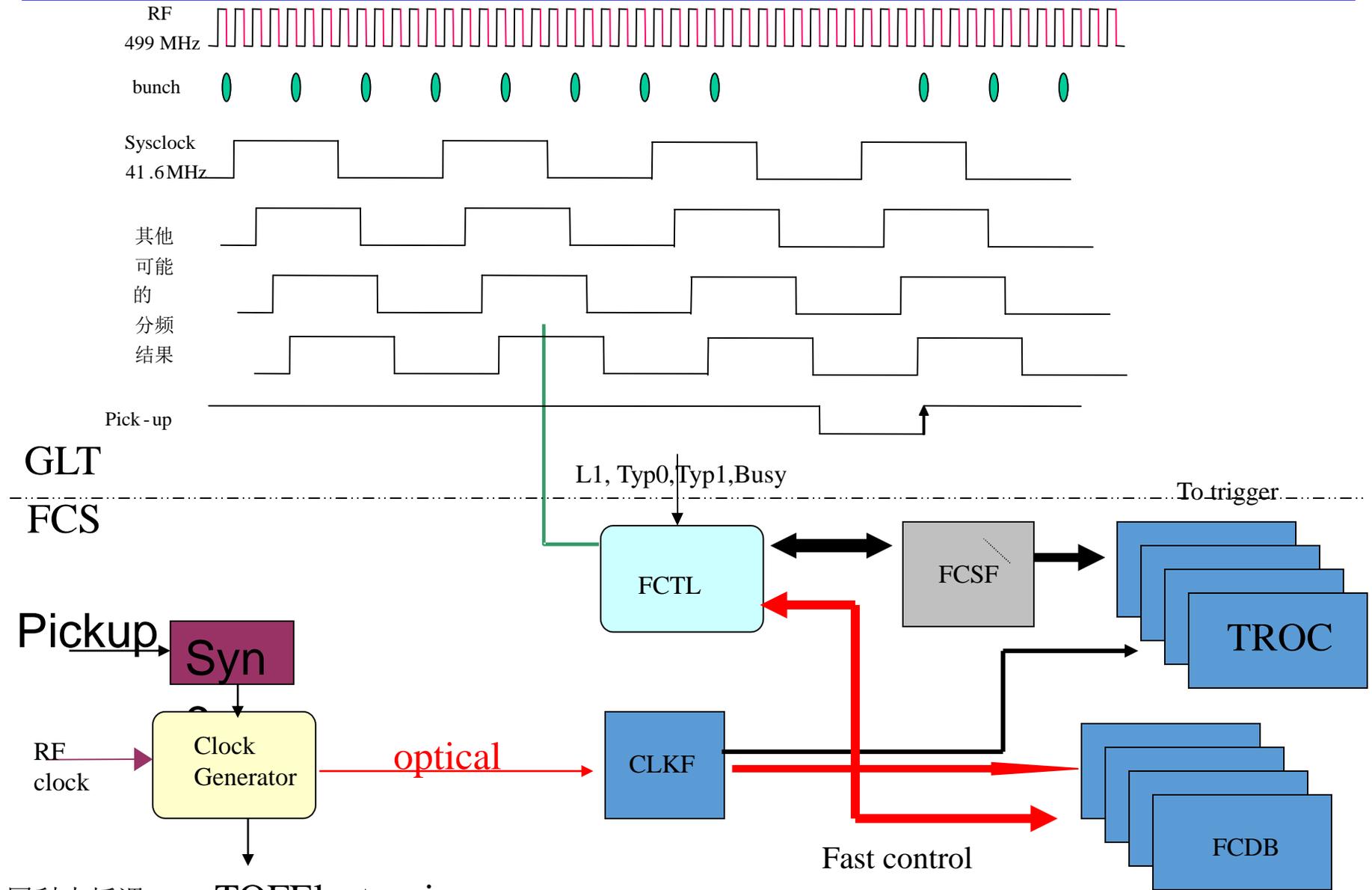
- ETOT:

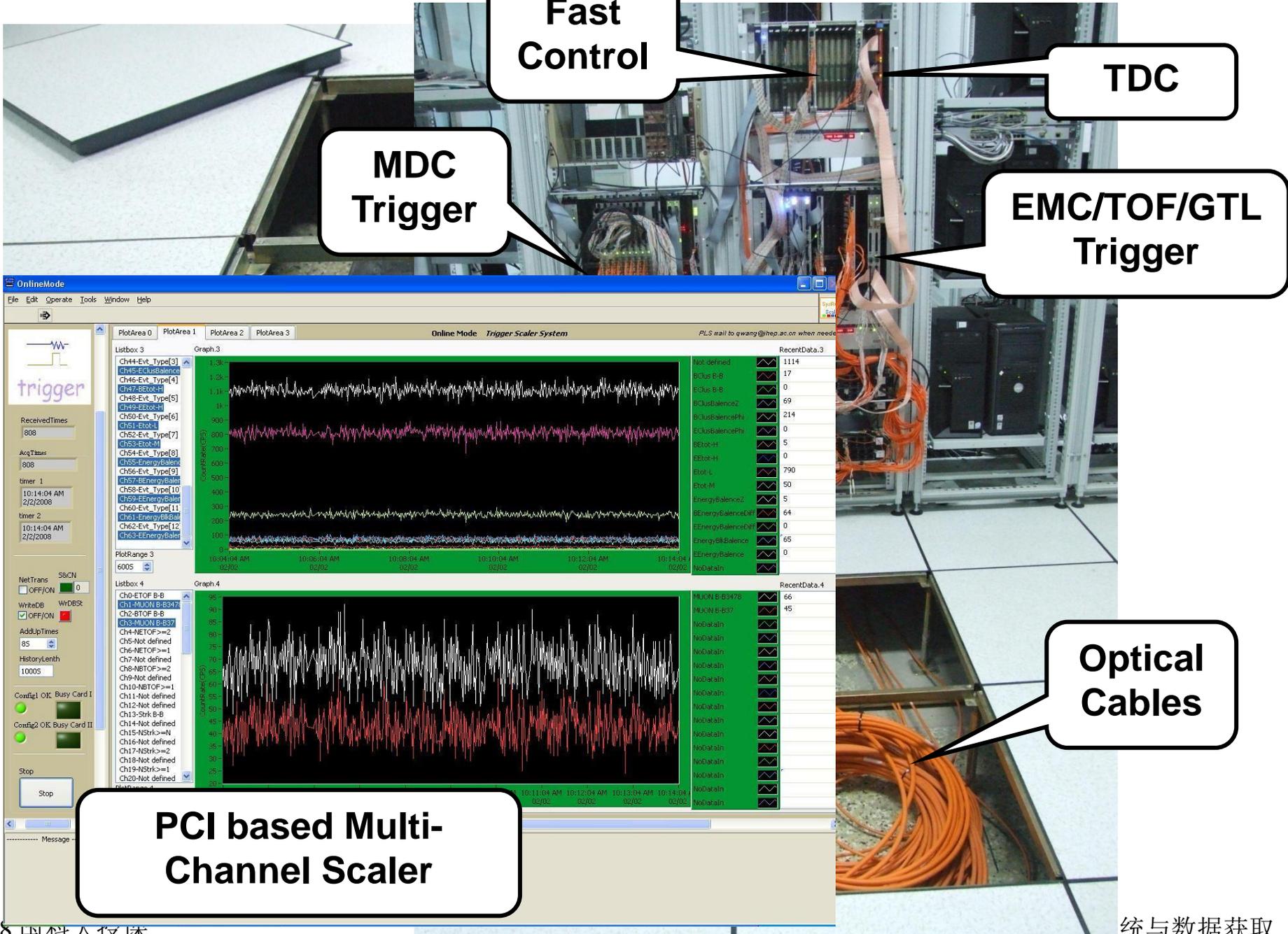
- Total Energy cut conditions production
- Condition forming

# 总触发GLT子系统和快控制子系统



# System Clock and Fast Control





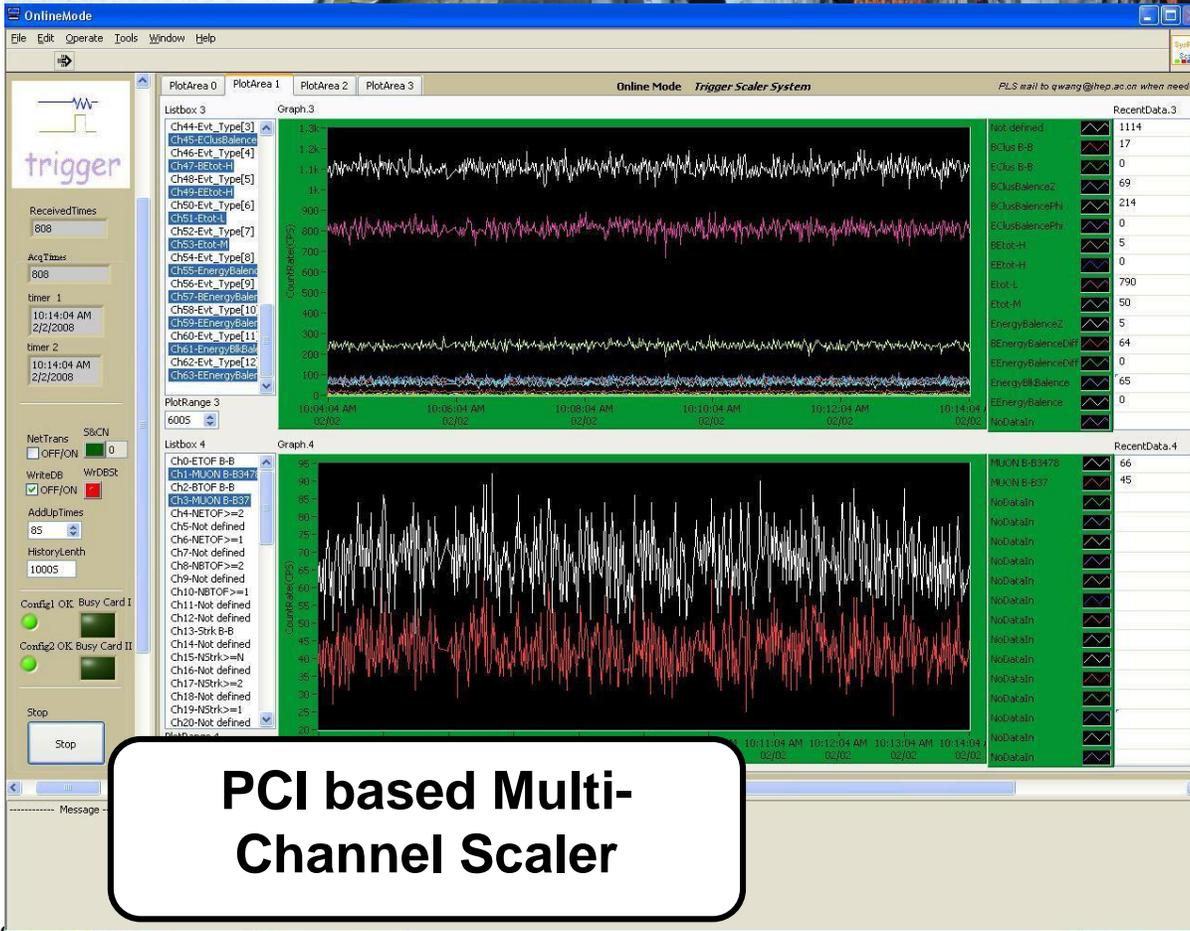
**Fast Control**

**MDC Trigger**

**TDC**

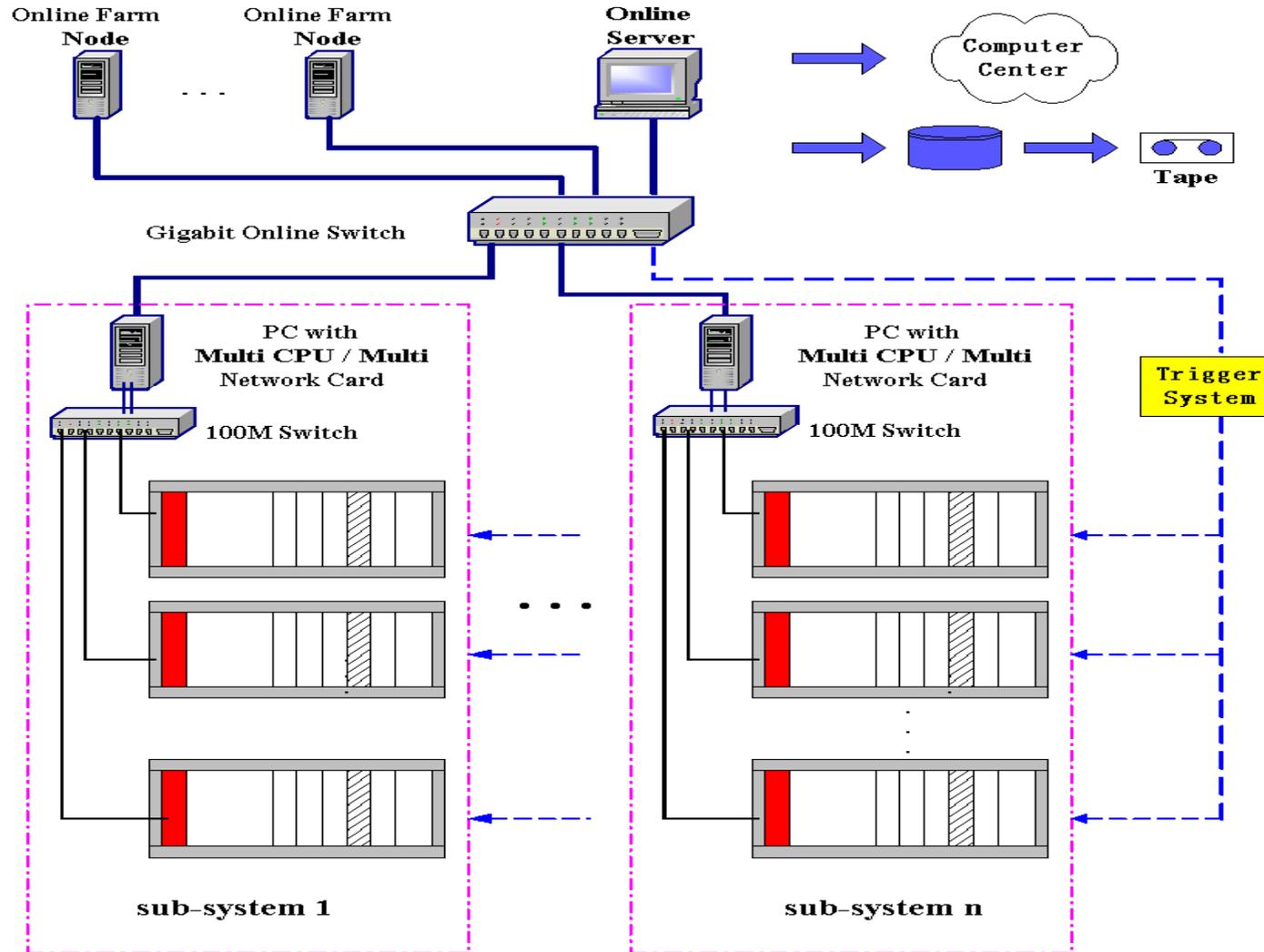
**EMC/TOF/GTL Trigger**

**Optical Cables**



**PCI based Multi-Channel Scaler**

# BESIII DAQ



PowerPC



VME Module

# 正在进行的演变 (Tevatron,LHC ...)

## ➤ Higher level trigger decisions are migrating to the lower levels → Software Migration is following functional migration

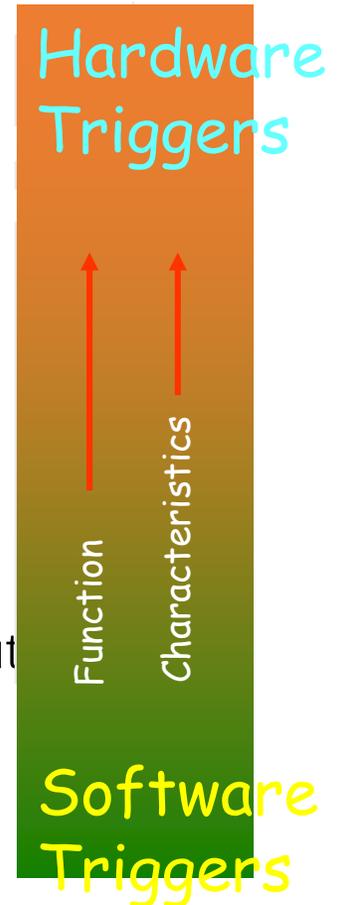
- Correlations that used to be done at Level 2 or Level 3 in are now done at Level 1.
- More complex trigger (impact parameter!) decisions at earlier times (HLT) → Less bandwidth out of detector?

## ➤ Boundaries

- L2 and L3 are merging into High Levels Triggers
- DAQ and trigger data flow are merging
- On-line and off-line boundaries are flexible

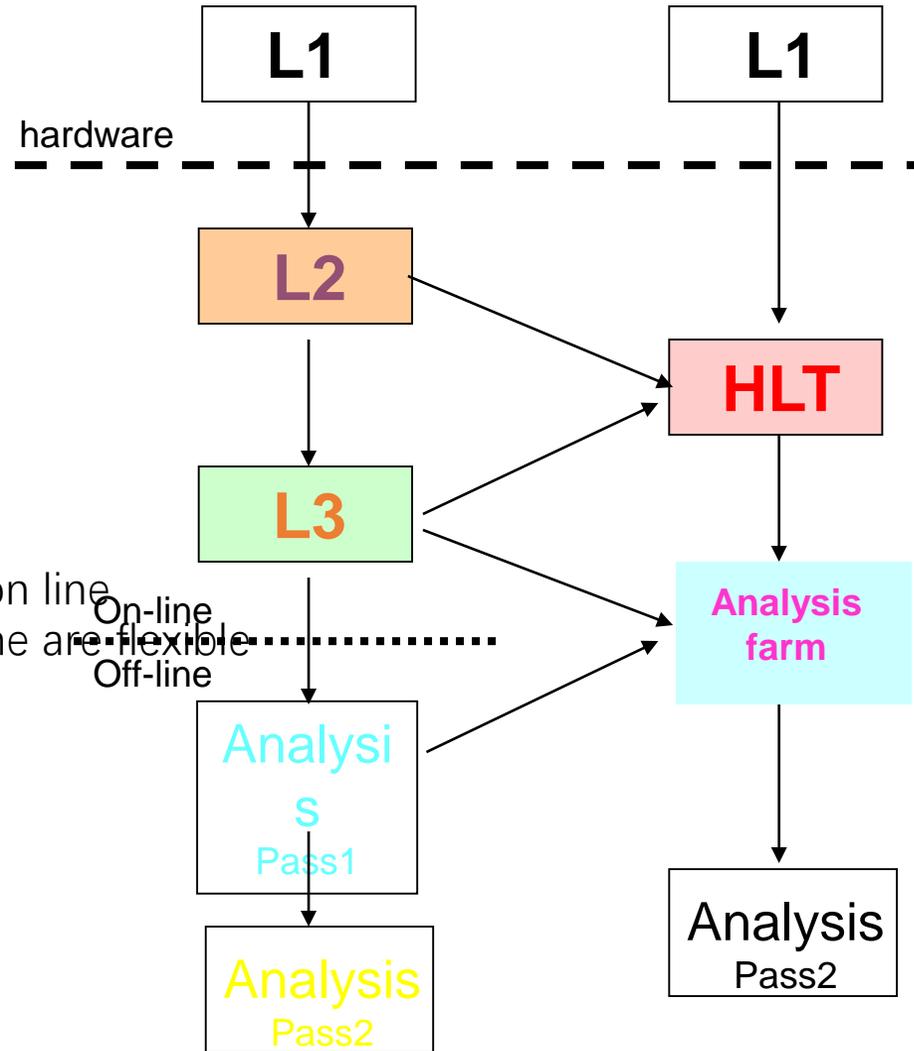
## ➤ Recent Developments in Electronics

- Line between software and hardware is blurring
- Complex Algorithms in hardware (FPGAs)
- Possible to have logic designs change after board layout
- Fully commercial components for high levels.

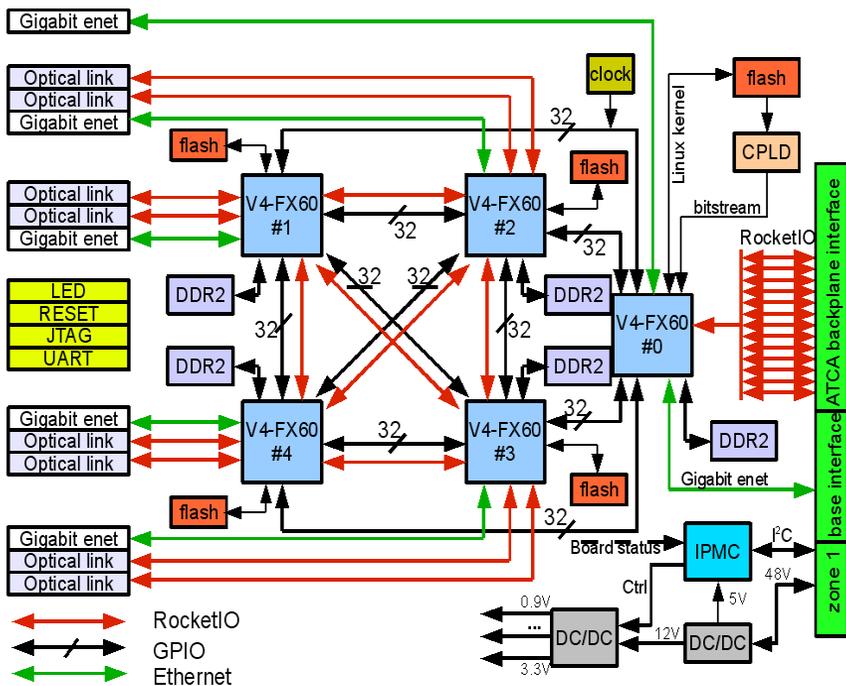


# T/DAQ 结构演变小结

- Today
  - Tree structure and partitions
  - Processing farms at very highest levels
  - Trigger and DAQ dataflow are merging
- Near future
  - Data and control networks merged
  - Processing farm already at L2 (HLT)
  - More complex algorithms are moving on line
  - Boundaries between on-line and off-line are flexible
  - Commodity components at HLT



# 通用硬件平台——计算节点（高能所设计）



它是构成PANDA TDAQ系统的核心模块，具有以下特点：

大容量数据处理能力

•5x (Virtex4 FX 60 FPGA + 2GB DDR2)

高数据传输带宽

•6 个千兆网口(包括背板的)

•8 个光纤口(到3.125Gbps)

•13个RocketIOs通过背板与同机箱内的其他板进行点对点的互联

嵌入式设计方式

•通用的系统+专用的数据处理模块

智能平台管理

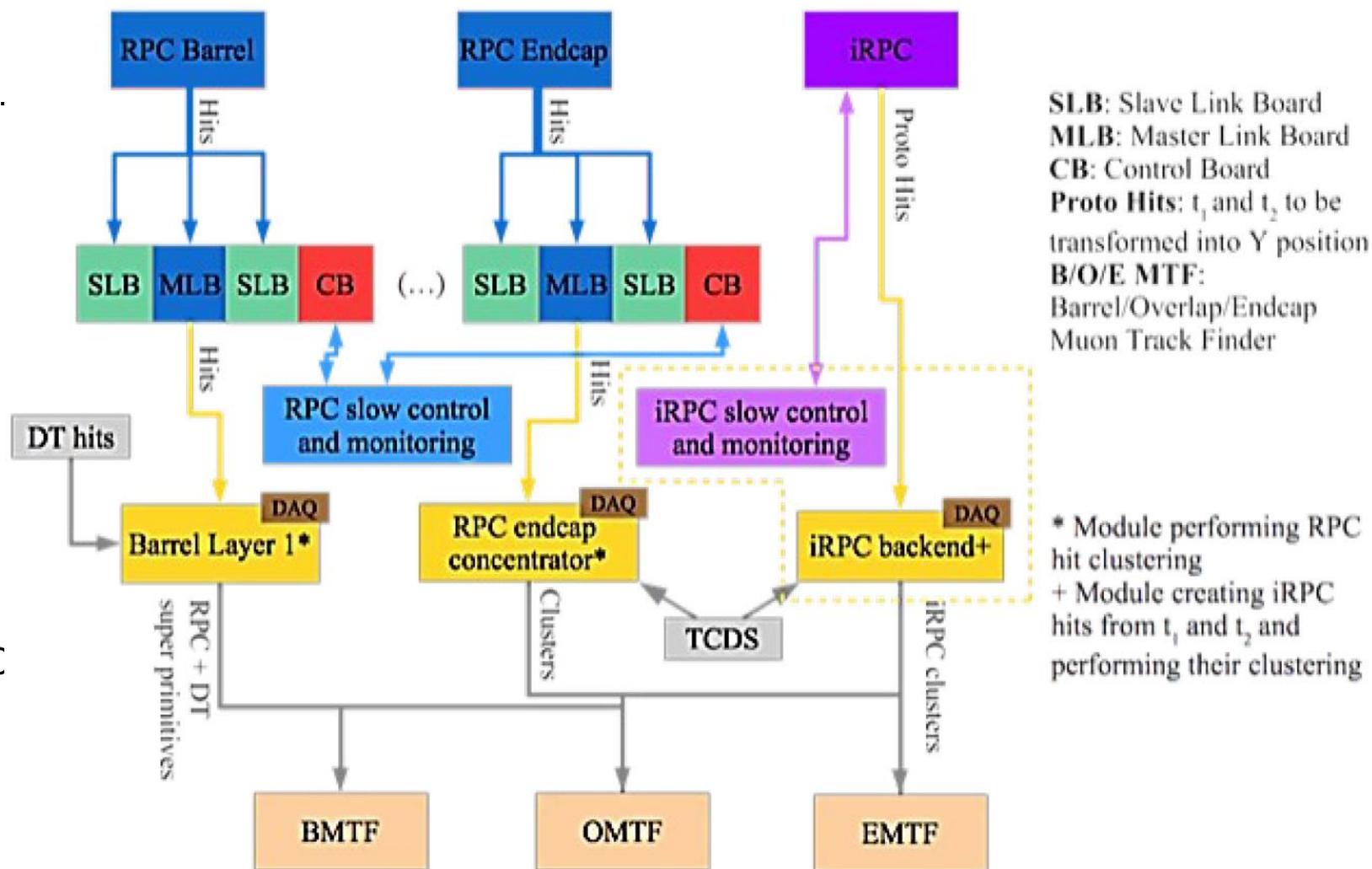
•基于板上IPMC子板与机箱控制器的通信来实现系统监测及管理功能



Thanks

# Project 3: 高能所 RPC触发/电子学任务

- From RPC Group
- iRPC后端电子学 (off-Detector Electronics)
  - 慢控制
  - 探测器监控
  - 快控制
  - 触发
  - DAQ
- 端盖RPC
  - 后端电子学
    - ◆ 探测器监测
    - ◆ 慢控制
- From L1 Trigger Group
  - Concentrator
    - ◆ 快控制
    - ◆ 触发
    - ◆ DAQ



## • Hardware design-- BEB :

### • BackEnd Electronics Board

- ✓ full-height double-width  $\mu$ TCA standard BEB
- ✓ 36 links input/output, a total bandwidth of 400 Gb/s per board

### • CPPF to NEW Micro TCA Version:

#### ■ Clock module

◆ - Fan out to FEE for temporary test

### • XC7VX690T-2(Virtex-7)

- ✓ Core FPGA, data processing

### • XC7K70T-2 (Kintex-7)

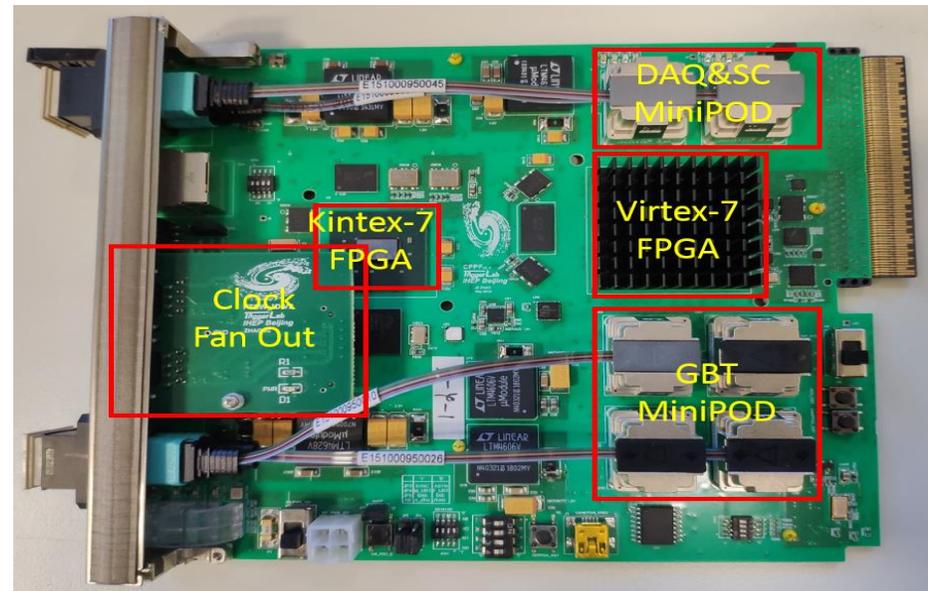
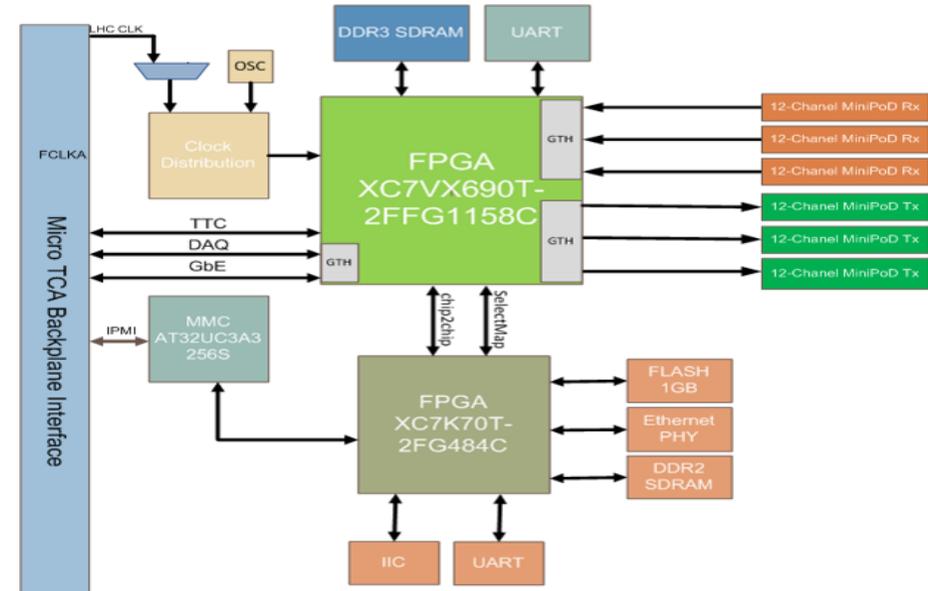
- ✓ Ctrl FPGA, system controlling and clock management

### • AT32UC3A1512(Atmel)

- ✓ Intelligent controller that manages the module and is interfaced to the Carrier

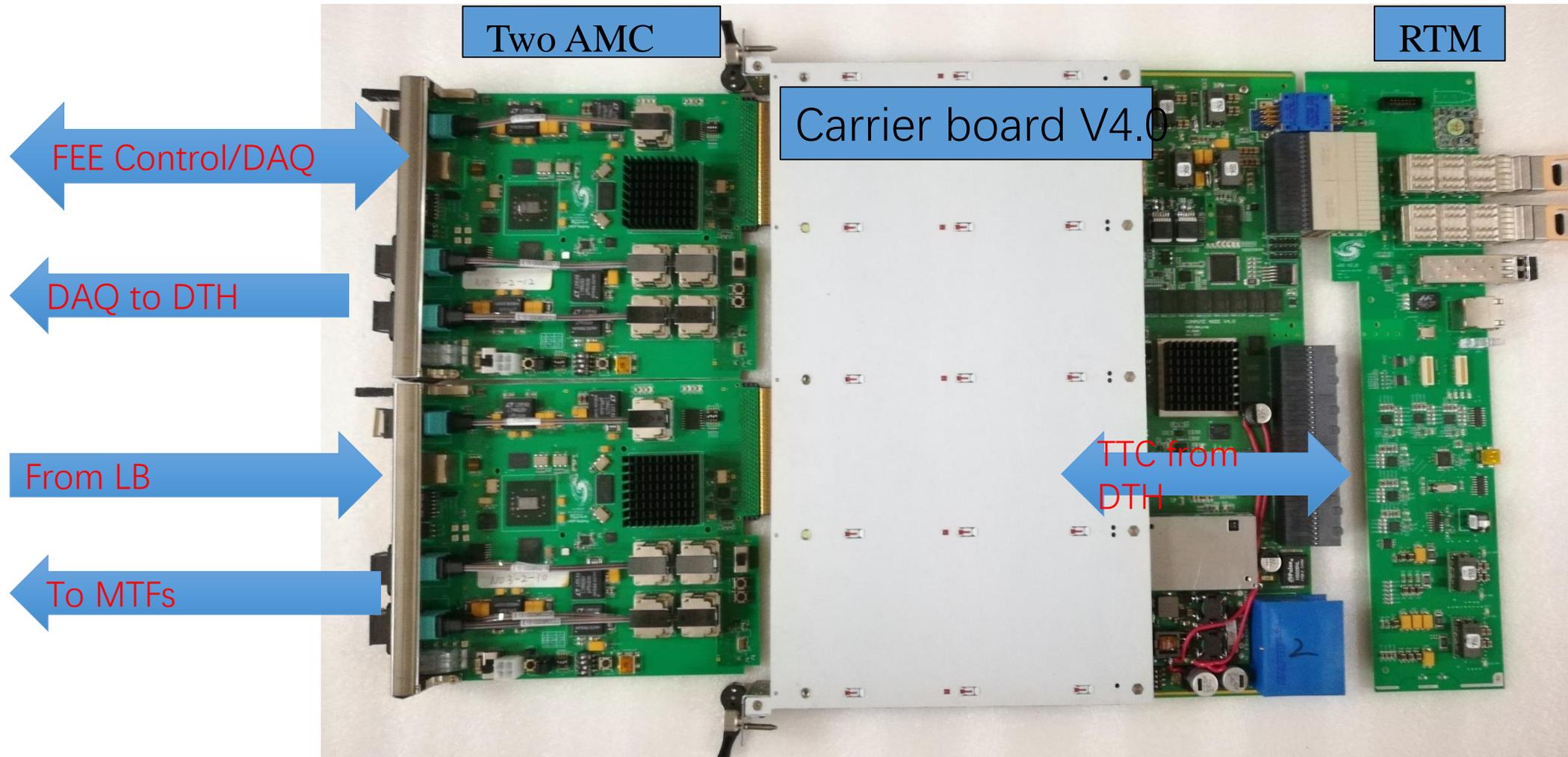
### • Rj45

- ✓ Clock fan out



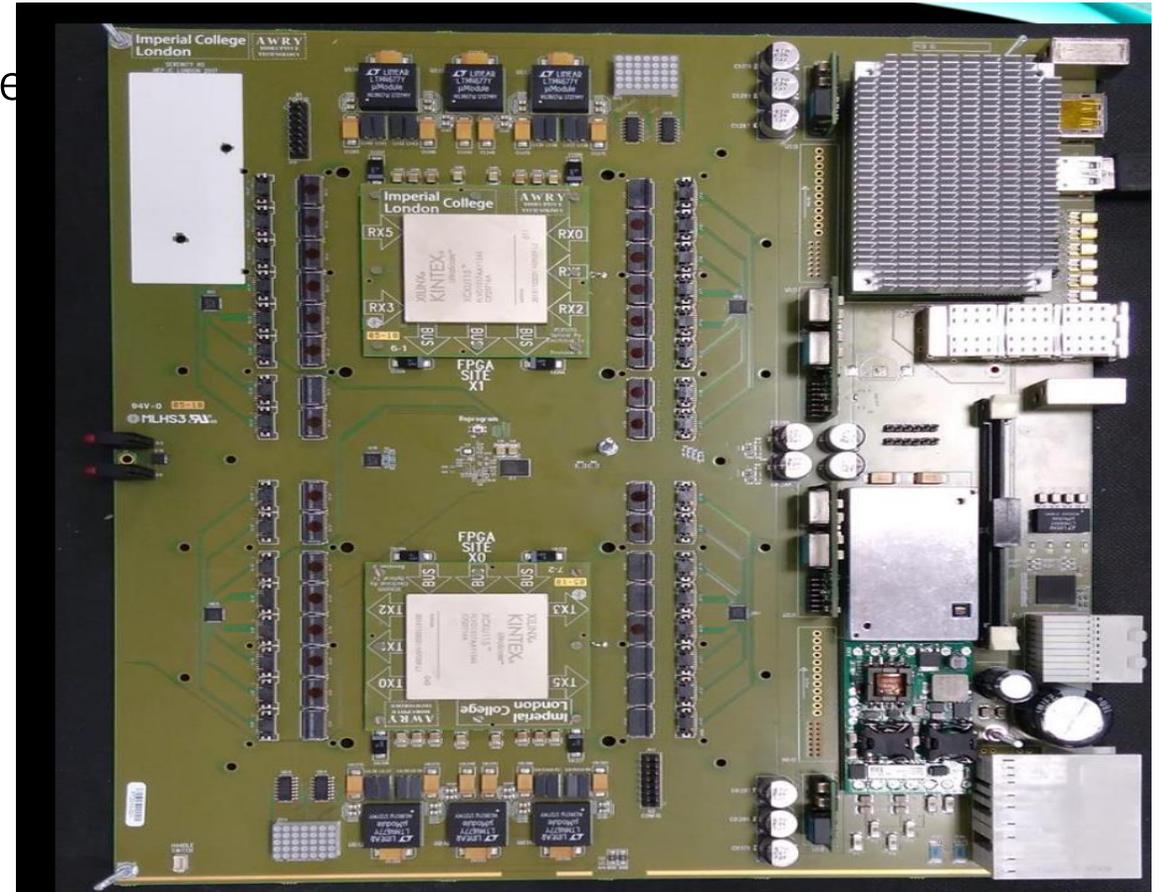
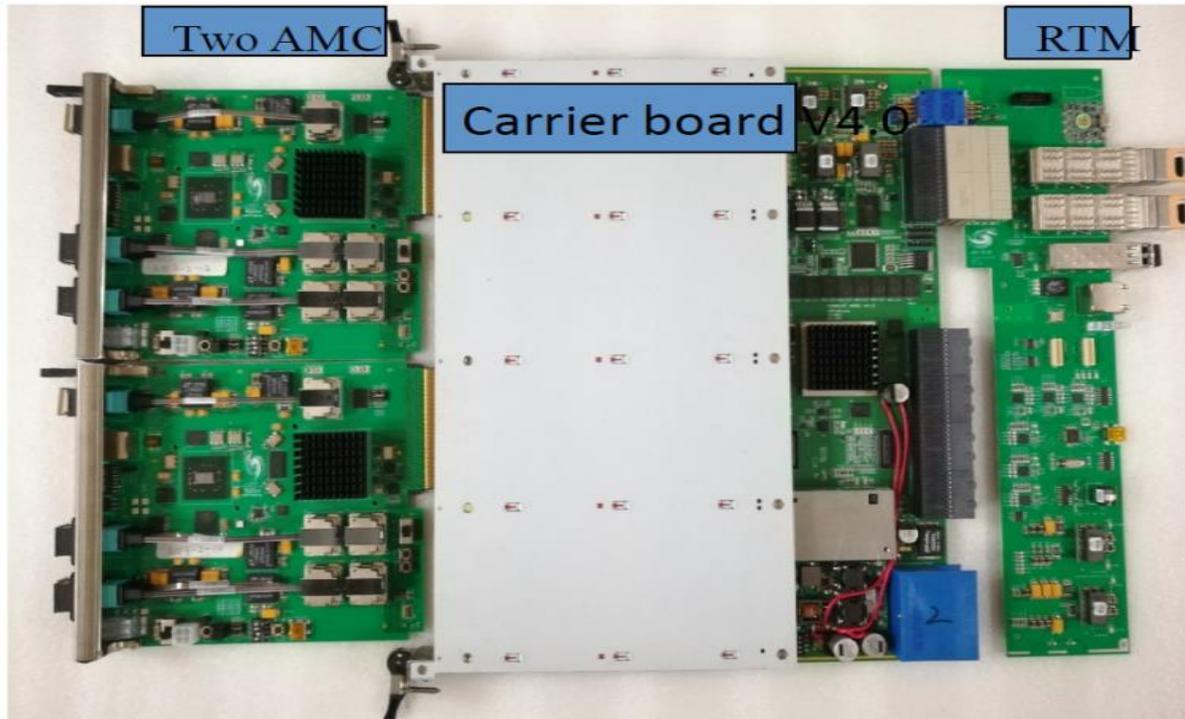
# Earliest IHEP ATCA Prototype Module for CMS

- ATCA: = 1 Carrier + 2 AMCs + RTM



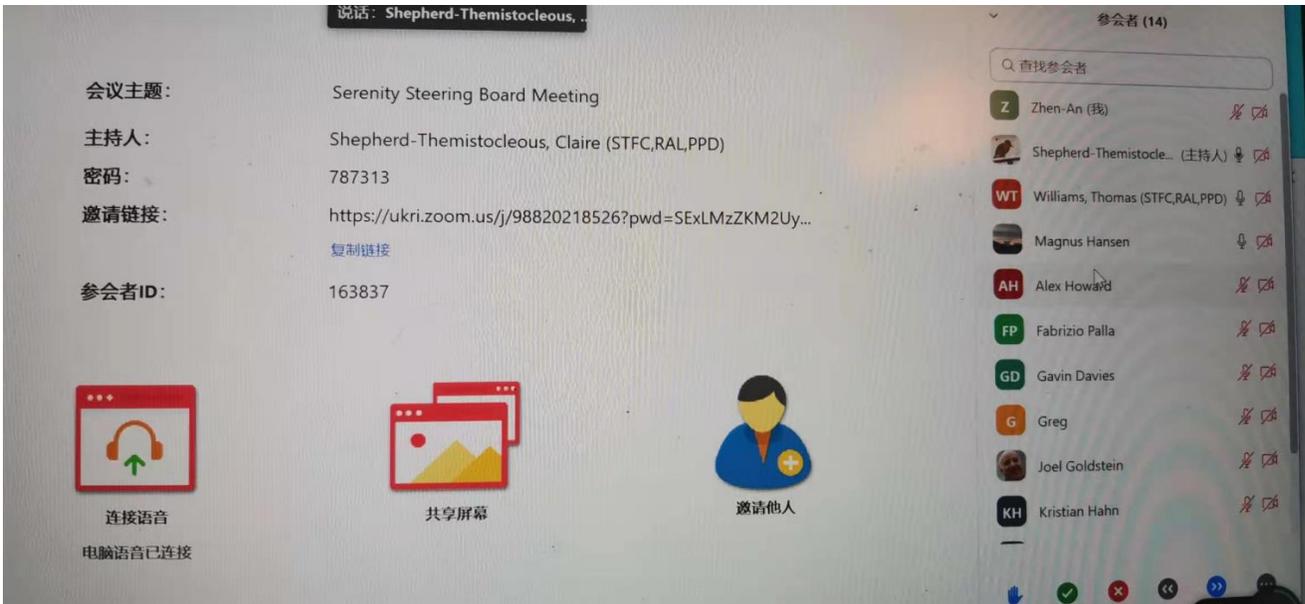
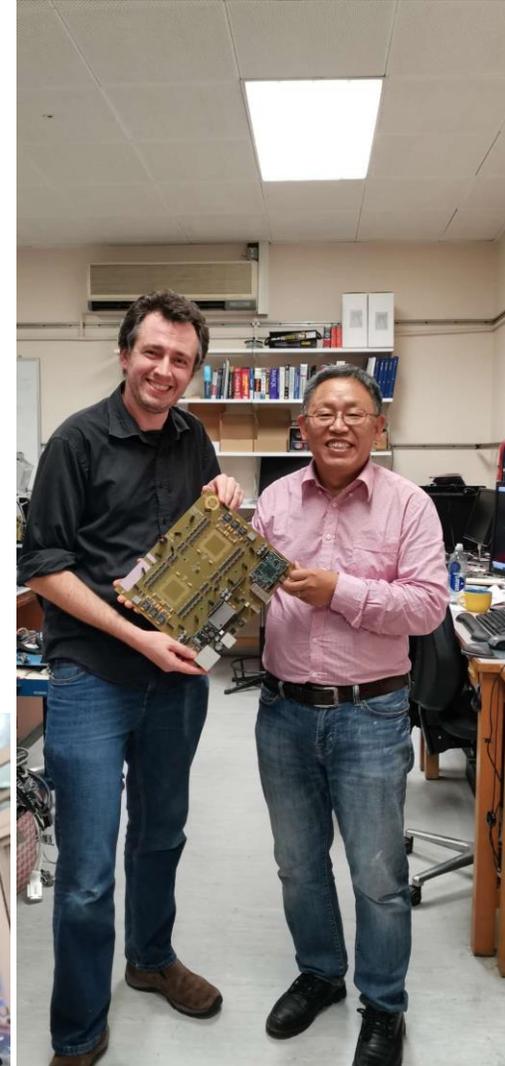
# Muon Upgrade Review Committee

- Feb 18 2019: Review in Muon Upgrade Committee
- Decision:
  - Move IHEP Prototype to Serenity Board
  - Two AMC Daughter Card -> Two FPGA Card
  - Zhen-An Liu Join Serenity as Steering Committee



# Activities in Serenity Development

- Visit to Serenity Development Base: Blackett Lab(HEP), Imperial College, London
- Deep discussion with Dr. Andy Rose on Serenity Development
- Board member in Serenity Steering Committee for Bi-Weekly Meeting
- Final decision earliest by the end of 2021
- Posters:1.Qingfeng Hou:**Development of the embedded module based on ZYNQ**
  - 2. Wenxuan Gong:**Devel of High-Performance data processing board**



# IHEP Roadmap: 2 Steps Installation: uTCA+ATCA

➤ **TDR installation:**

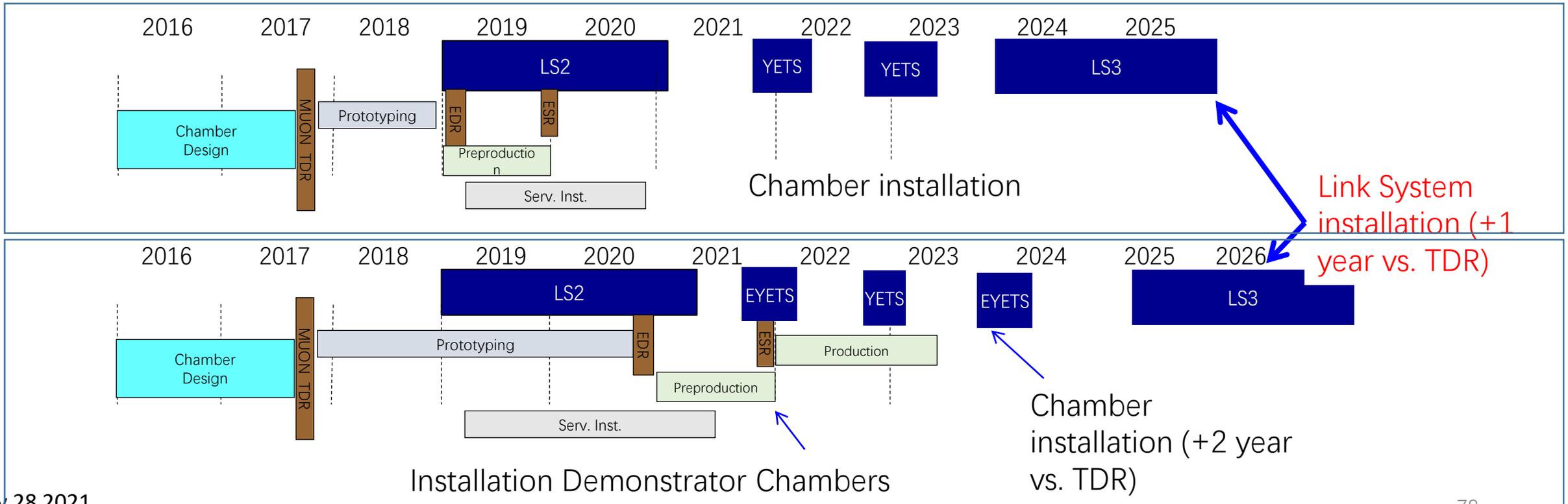
- YETS21 and YETS22 for RE3.1 and RE4.1 stations
- LS3 for Link System

➤ **New Installation schedule (due to new LHC schedule):**

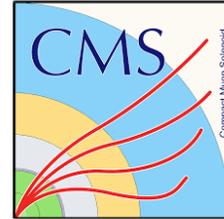
- RE3/4.1 **Demonstrators in EYETS 2021/22**
- RE3/4.1 stations in **EYETS 2023/24**
- Link System **week-50 of LS3**

➤ **More details on**

- FEB development and pre & mass production
- RPC Chamber Preproduction (Demonstrator)
- Production Procedure



# Proposal made to Muon/L1T Joint Workshop Nov.28



TriggerLab

## **Proposal for RPC Backend and Status**

Zhen-An Liu on behalf of Muon Group

Muon/L1 Joint Workshop

Nov. 28-30 2018 CERN/Geneva

# IHEP Involvement in Serenity Consortium

- Zhen-An join the Bi-weekly Serenity SC meeting since Nov. 26 2020
- IHEP Activities:
  - Firmware Development
  - Fiber Optics test/Study(discussed last Thursday)
- RPC ATCA Serenity Prototype for testing?
  - Not available yet, requested last Thursday
- IHEP design on FPGA daughter board?
  - Waiting for the daughter techniques
    - Dimension, signals, levels,...
    - Requested again last Thursday