

BESIII离线数据处理

伍灵慧

wulh@ihep.ac.cn

实验中心 软件组

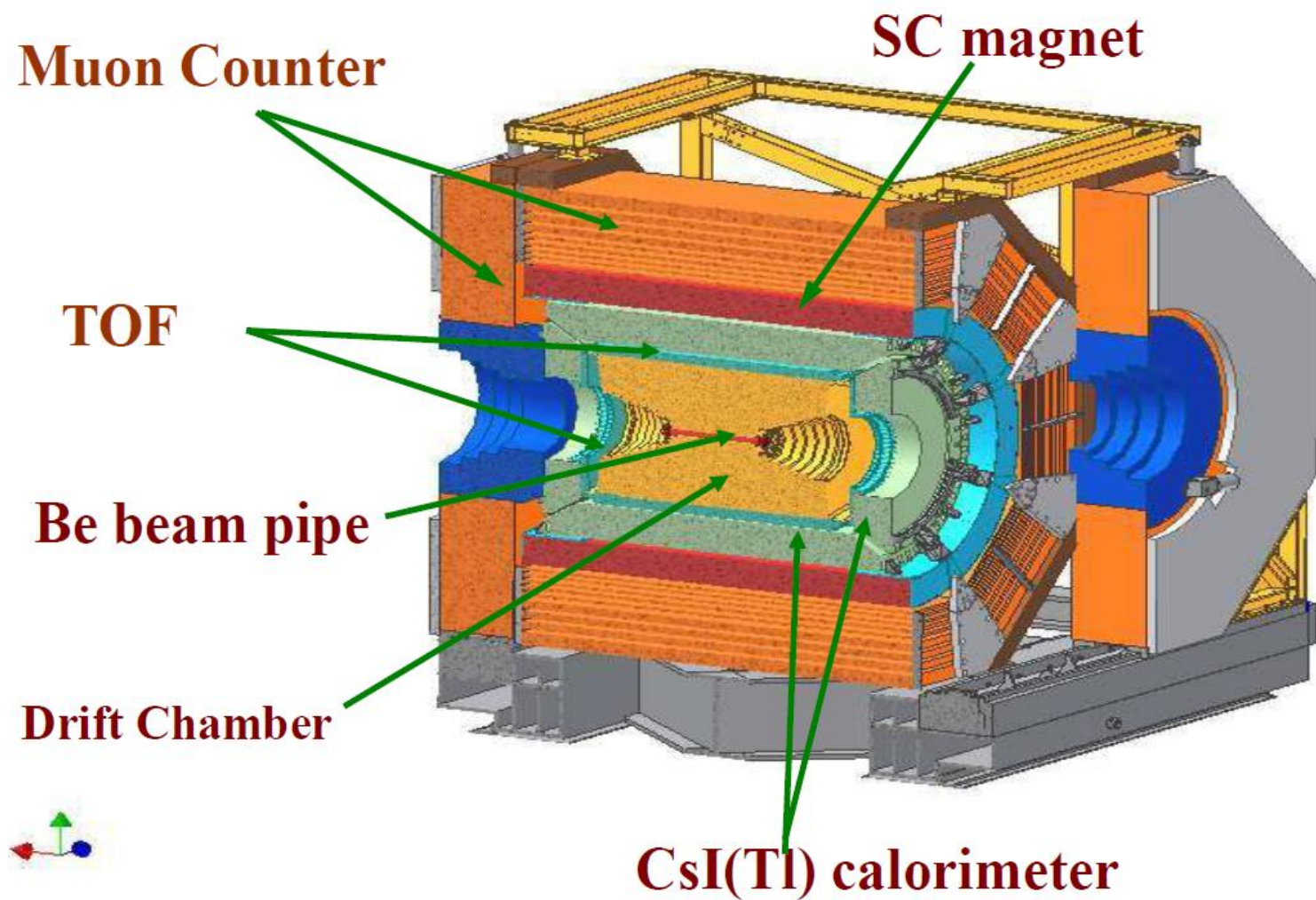
2020-9-25

内容

- 离线软件介绍
- 探测器模拟软件
- 事例重建
- 离线刻度
- BESIII离线软件框架
- 事例显示

第一部分： 离线软件介绍

BESIII探测器



事例重建

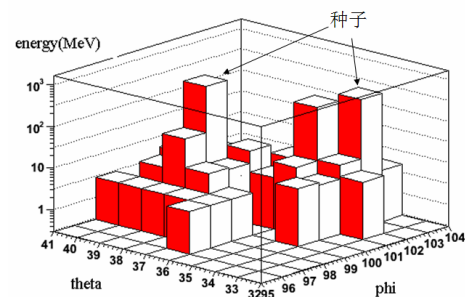
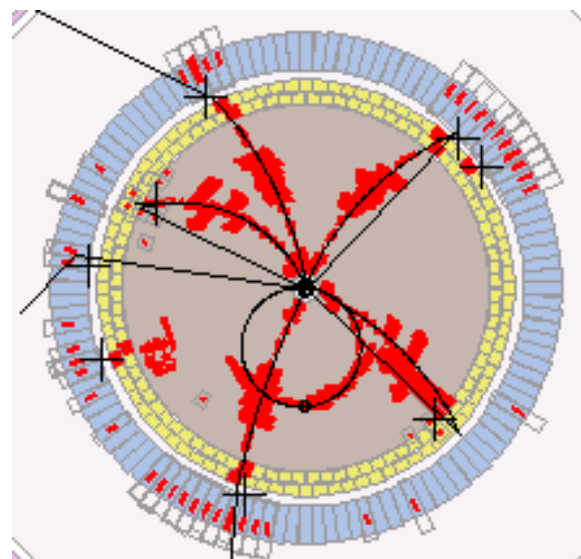
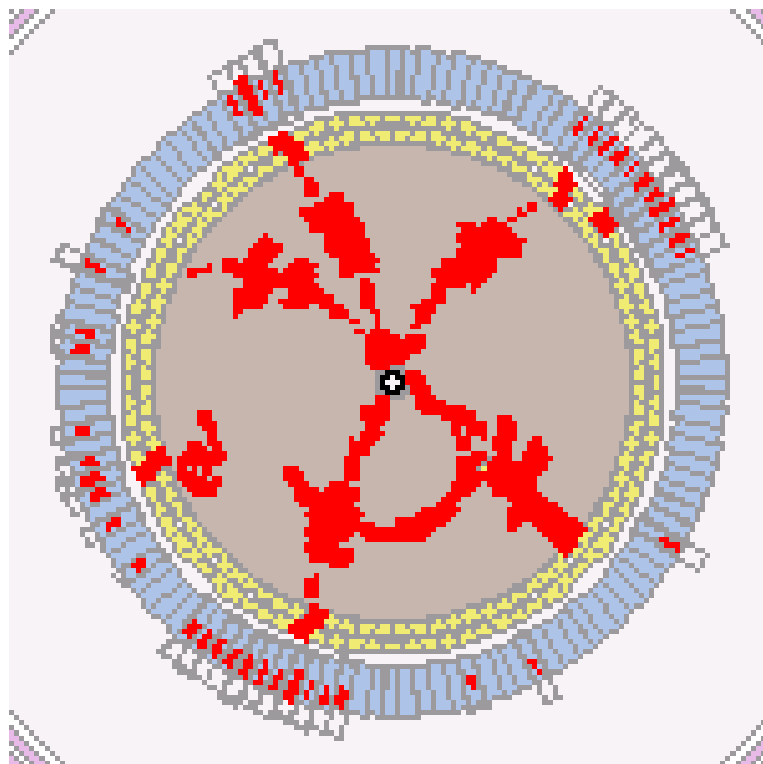
实验获取的原始数据

单元编号, ADC, TDC

事例重建

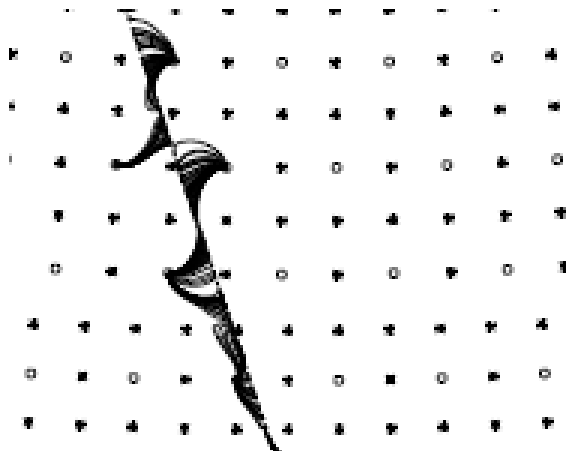
物理分析使用的数据

径迹动量, shower能量



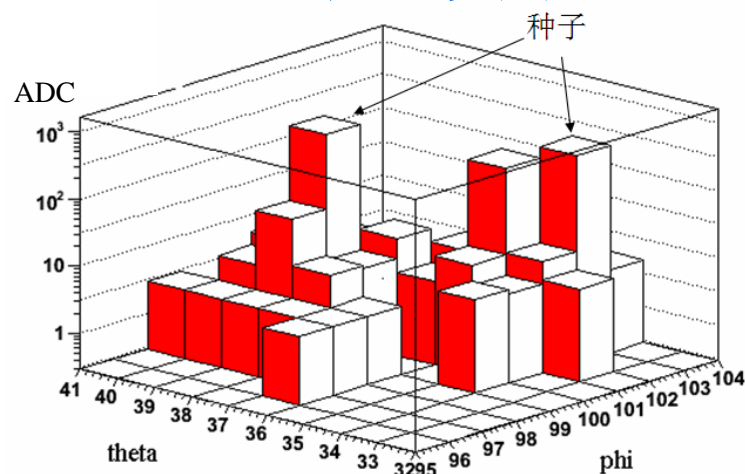
离线刻度

MDC中的径迹



漂移时间 → 漂移距离

EMC中的簇团



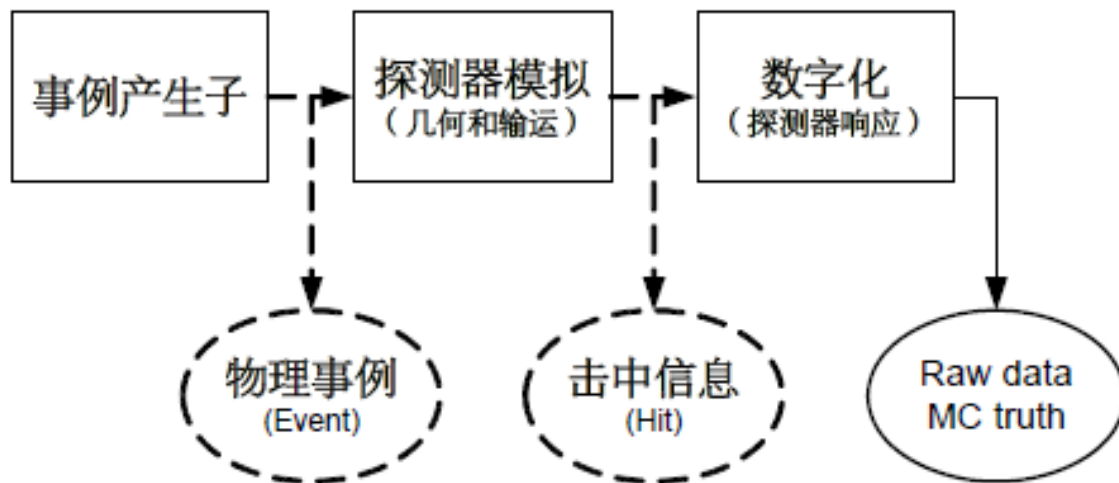
信号幅度 → 能量沉积

混子哥，
 $1\text{ns} = ? \text{mm}$
 $1\text{ADC} = ? \text{GeV}$

必须
离线刻度



Monte Carlo模拟

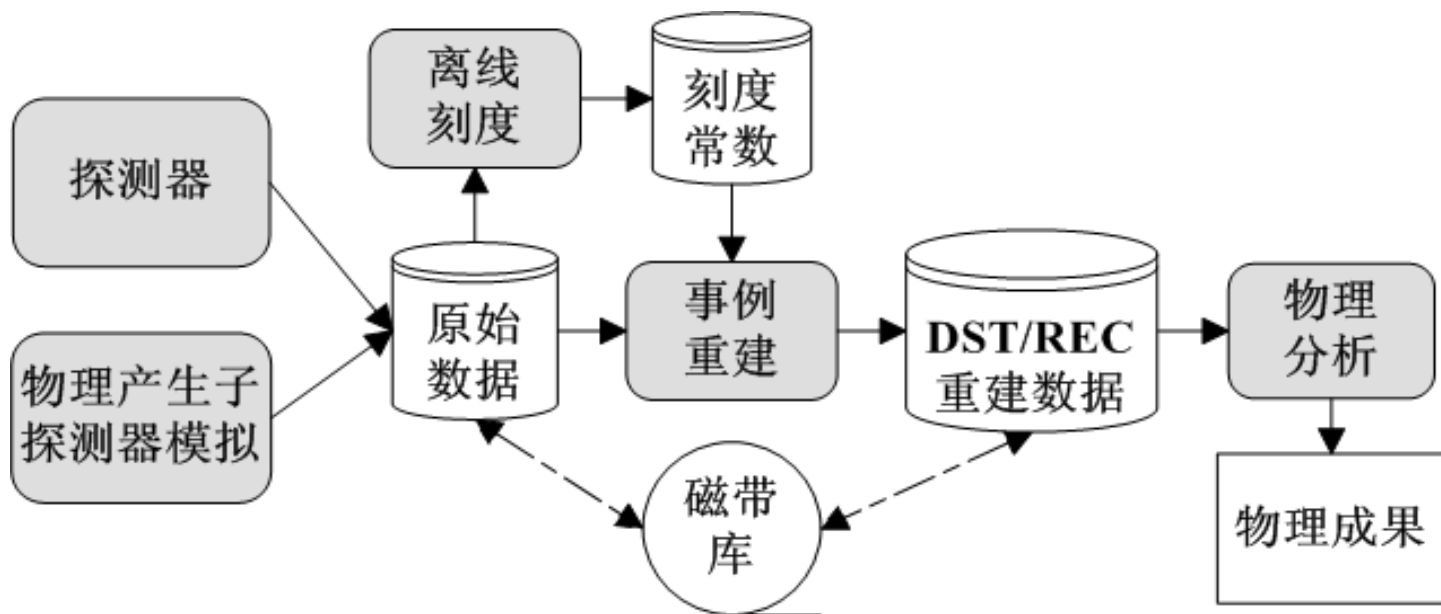


模拟有啥用？

效率计算，本底估计，探测器优化，软件调试...
但是，实验是检验模拟正确性的唯一标准



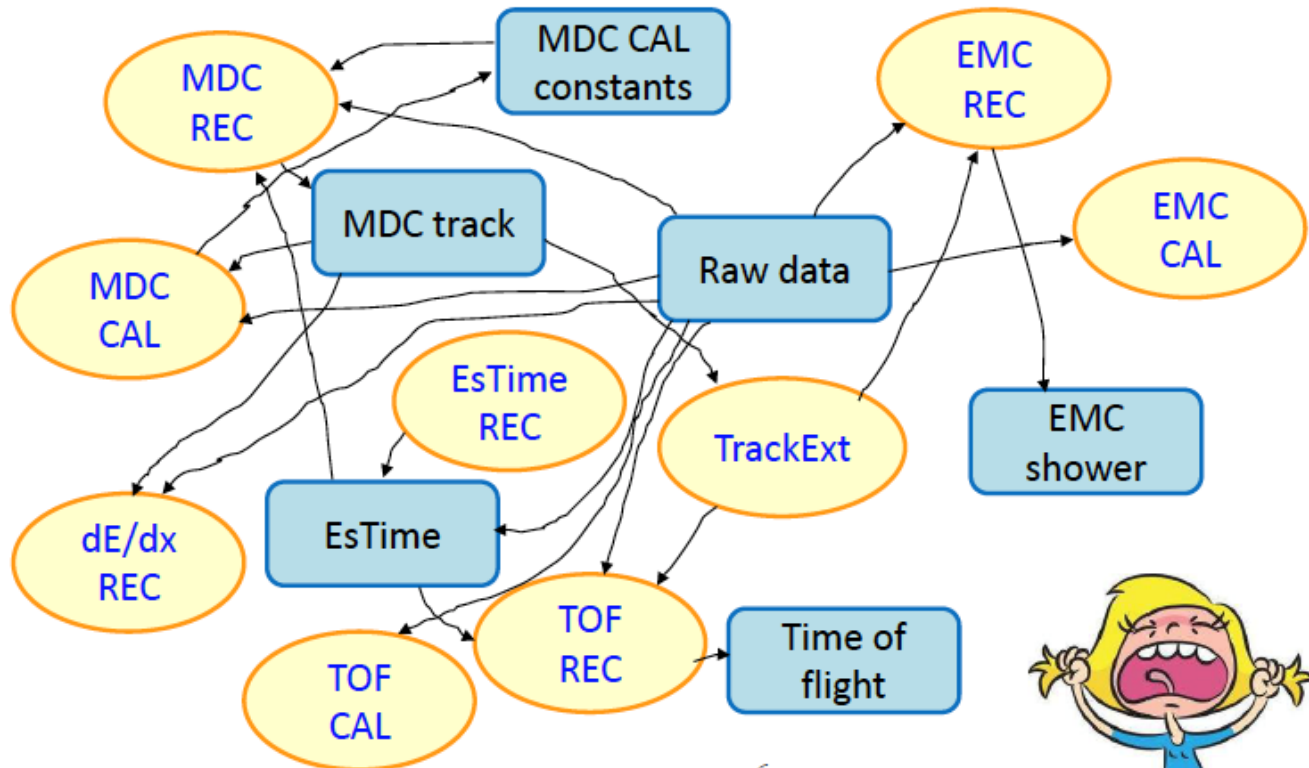
离线数据处理流程



- 离线软件的性能直接影响实验结果
 - 重建、刻度→效率、分辨
 - 模拟数据的一致性→系统误差

大量软件包和数据类型

- 软件框架作用
 - 定义数据模型，提供有效的数据管理工具
 - 定义软件模块间的相互关系及接口标准
 - 实现动态库的链接机制

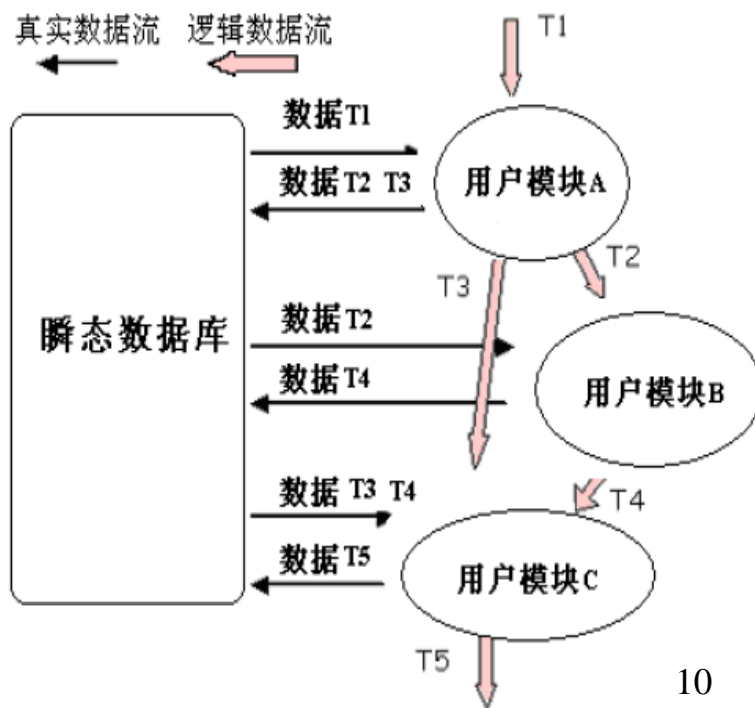


You need a framework!



软件框架

- 软件框架作用
 - 定义数据模型，提供有效的数据管理工具
 - 定义软件模块间的相互关系及接口标准
 - 实现动态库的链接机制
- 高能物理实验软件框架
 - Gaudi: ATLAS, LHCb, BESIII
 - CMSSW: CMSSW



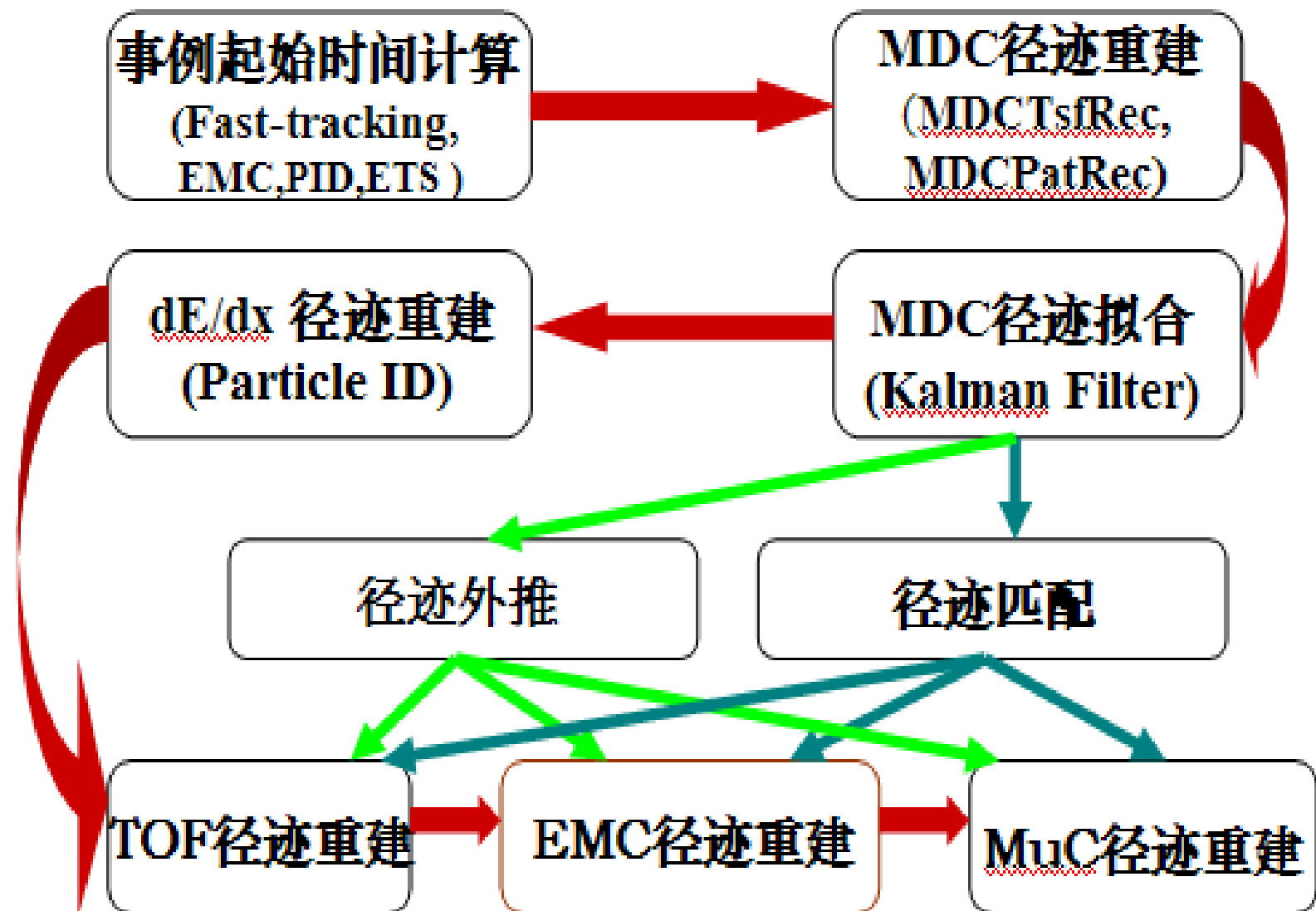
第二部分：事例重建

- 总体介绍
- 子探测器重建软件
- 如何运行重建以及读取重建结果

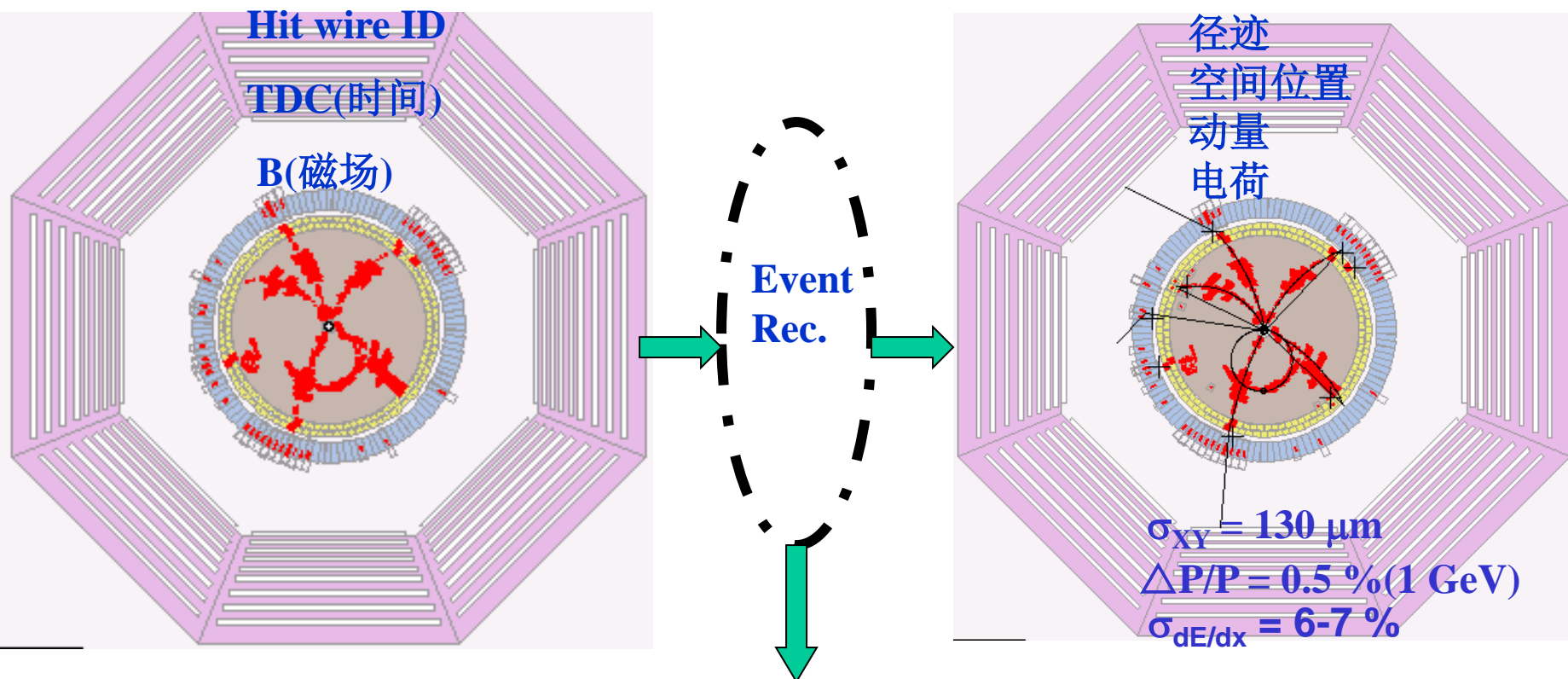
BESIII 事例重建系统软件包

子探测器	软件包	功能
MDC	MdcFastTrkAlg MdcTsfRec MdcPatRec KalFitAlg MdcDedxAlg	MDC快重建算法 基于共形变换方法的MDC寻迹软件包 基于模板匹配的MDC寻迹软件包 基于Kalman滤波方法进行径迹拟合 dE/dx重建
TOF	TofRec	TOF重建
EMC	EmcRec	EMC重建
MUC	MucRec	MUC重建
其它	EsTimeAlg TrkExtAlg PrimaryVertexAlg VeeVertexAlg	确定事例起始时间的算法 径迹外推 事例初级顶点重建 次级顶点重建

BESIII事例重建过程顺序



MDC 事例重建系统



Event
-T_{est}

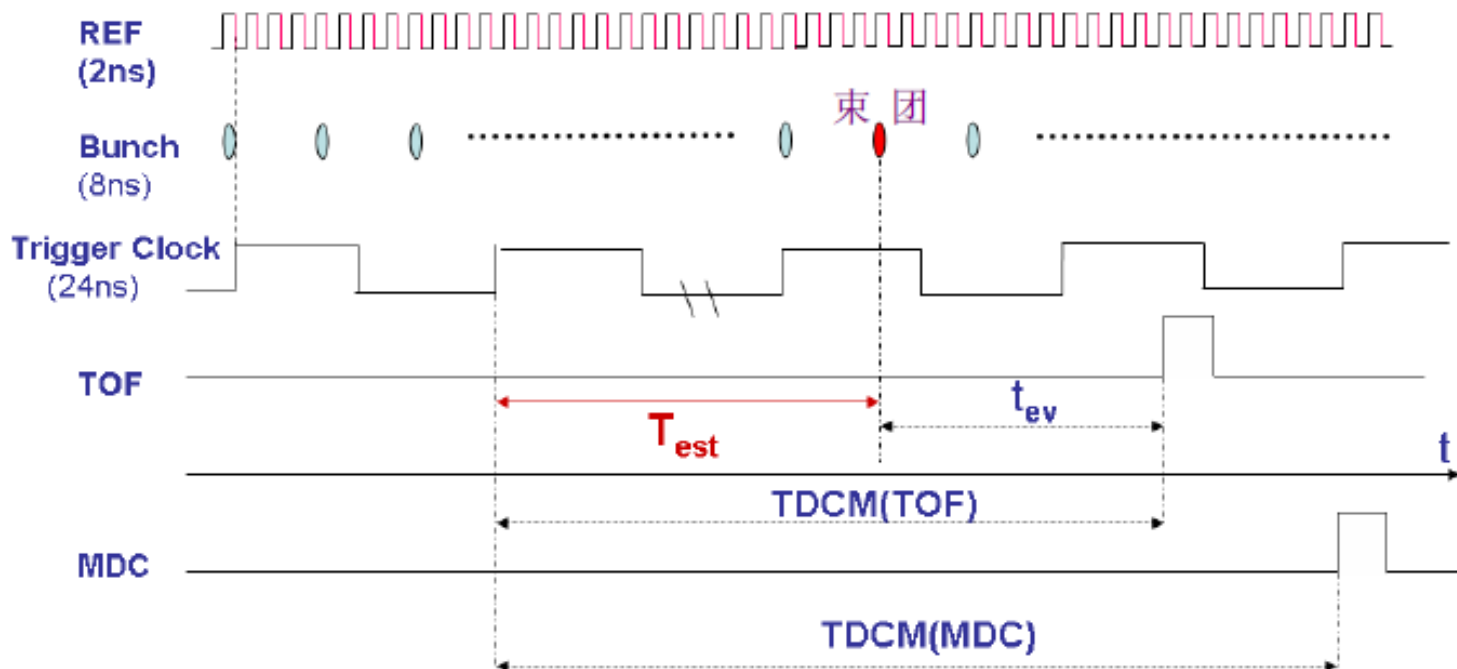
Tracking
& fit

kalman
fit

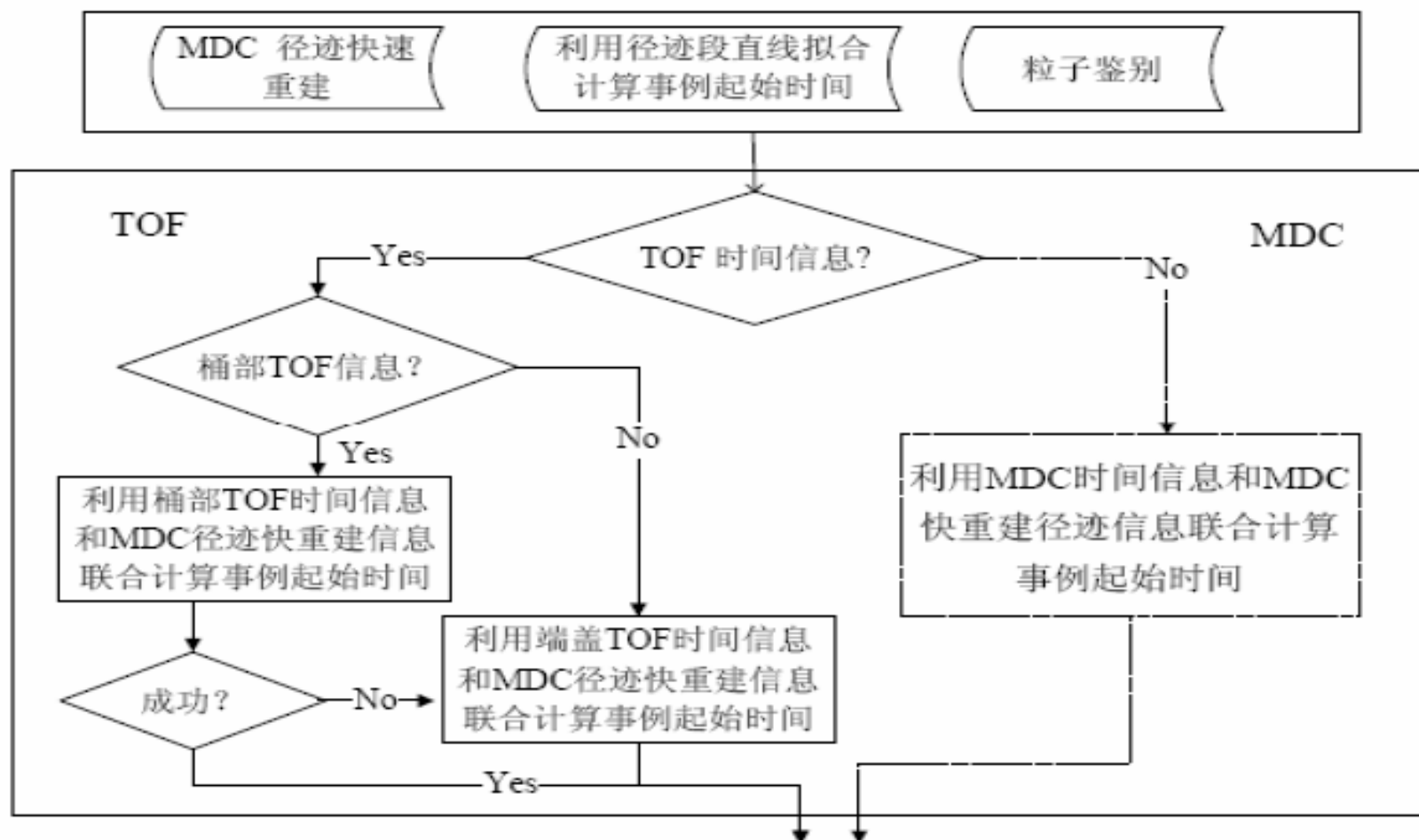
dE/dx
PID

事例起始时间的确定 (EsTimeAlg)

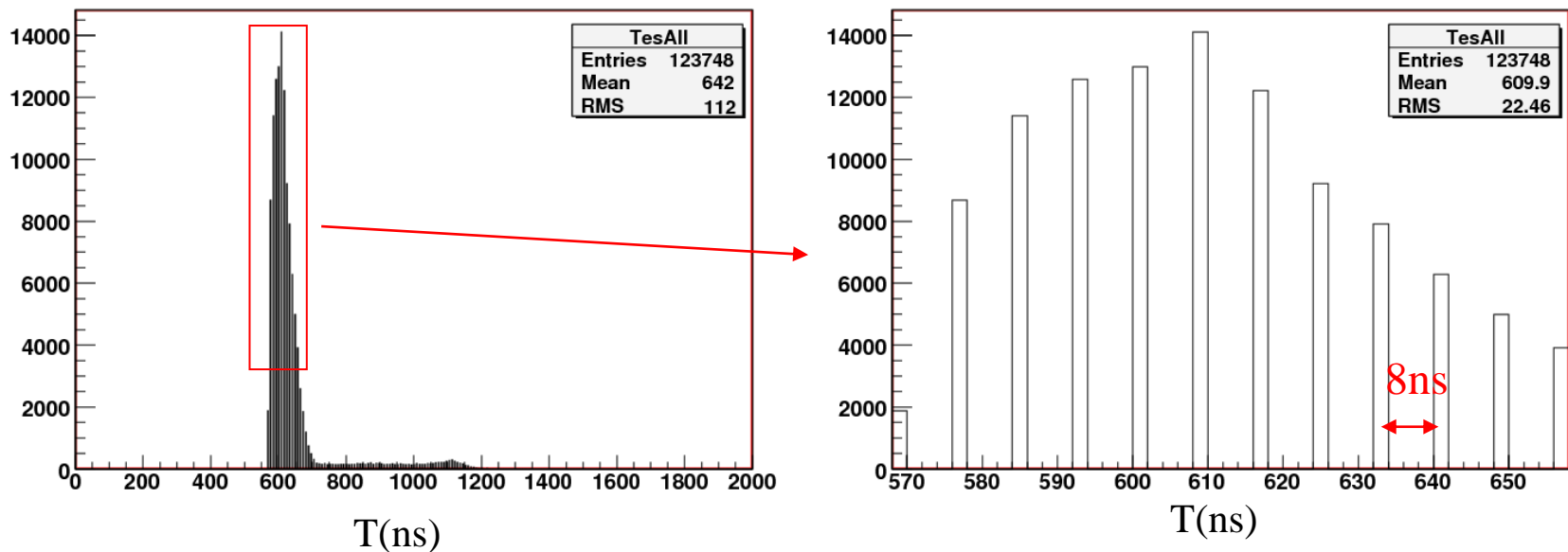
- BEPCII采用多束团对撞机制
- 一个触发周期内有三个束团对撞
- 在线系统无法识别事例来自于哪个束团，需要离线处理



事例起始时间算法流程图



Bhabha事例的起始时间分布



- 相关文献

- 马想等，核电子学与探测技术，2007, 27(4) 670-676
- 马想，BESIII事例起始时间算法研究与软件开发，高能所博士论文

MDC径迹重建

- MDC结构以及径迹参数定义
- MDC快重建
- 径迹寻找
 - PAT算法
 - TSF算法
 - CurlFinder
 - Hough 变换
- Kalman Filter径迹拟合

漂移室 (Drift chamber)

- Georges Charpak, 因发明多丝正比室, 获得1992年诺贝尔奖。对多丝正比室的改进, 发展出了漂移室, 通过测量电子漂移时间大幅度提高了入射粒子的位置测量精度

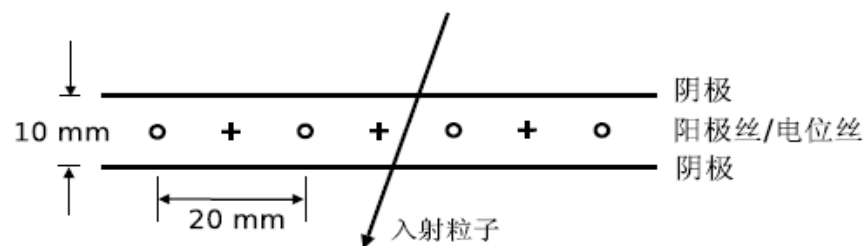
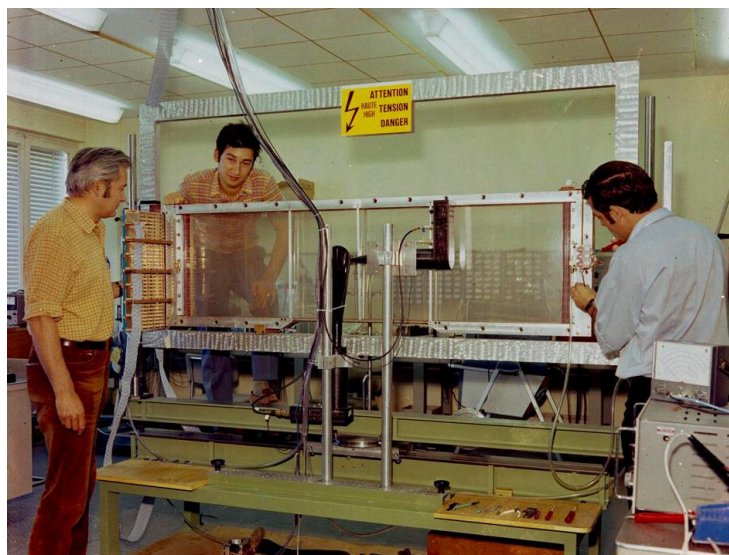
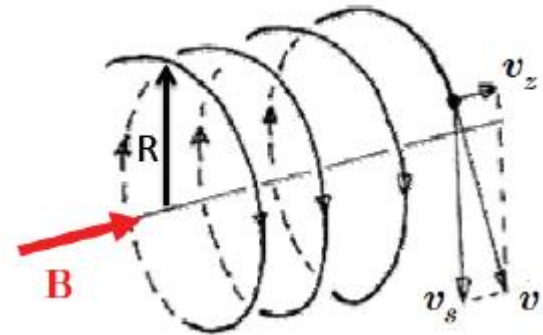


图 1.1: A. H. Walenta 等人建造的漂移室

动量测量

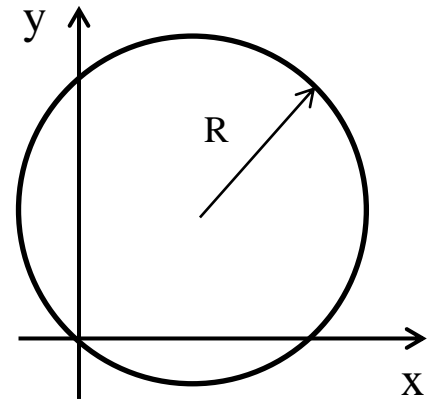
入射带电粒子在均匀磁场**B**下，
其飞行轨迹为螺旋线



在x-y(或r- ϕ)平面上测量粒子的横
动量(P_T)

$$R = \frac{P_T}{0.3qB}$$

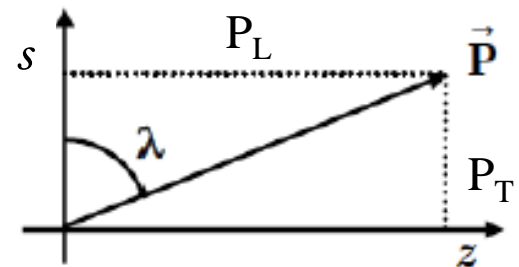
R: m
 P_T : GeV/c
B: T
q: 粒子电荷，以电子的
电荷为单位



在s-z平面上测量dip angle (λ)

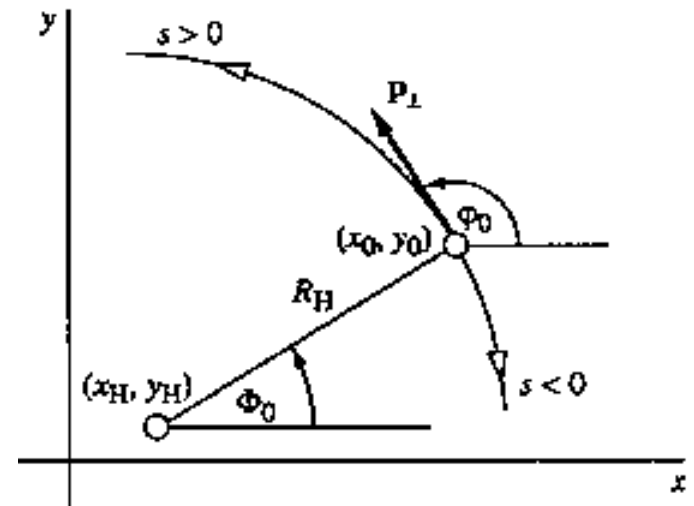
s为粒子飞行长度

$$P = P_T / \cos \lambda$$



坐标系和带电粒子的运行轨迹

- BESIII坐标系
 - $+z$: 沿正电子束流方向，即水平向东
 - $+y$: 竖直向上
 - $+x$: 水平向北
- 磁场：1T, 沿 $-z$ 方向
- 带电粒子在均匀磁场的作用下做螺旋线运动
 - 在 r - ϕ 平面内投影为圆弧线
 - 在 s - z 平面上为直线， s 为 r - ϕ 平面上径迹的飞行距离

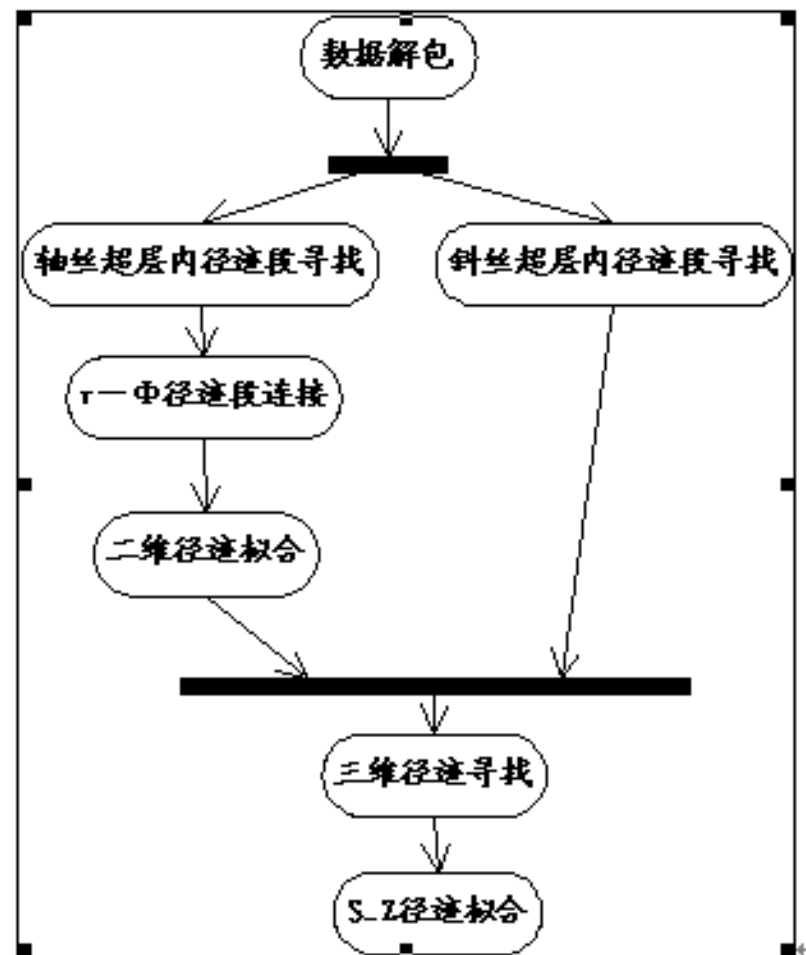


径迹参数定义

- 径迹参数（以坐标原点为参考点）
 - d_r : 螺旋线在x-y平面上的投影与参考点的距离
 - ϕ_0 : 参考点与螺旋线中心连线的方位角
 - κ : 横动量的倒数 ($1/P_t$), 其符号反映粒子电荷的正负
 - d_z : z方向上螺旋线离参考点的距离
 - $\tan\lambda$: 螺旋线径迹的坡度

MDC快重建

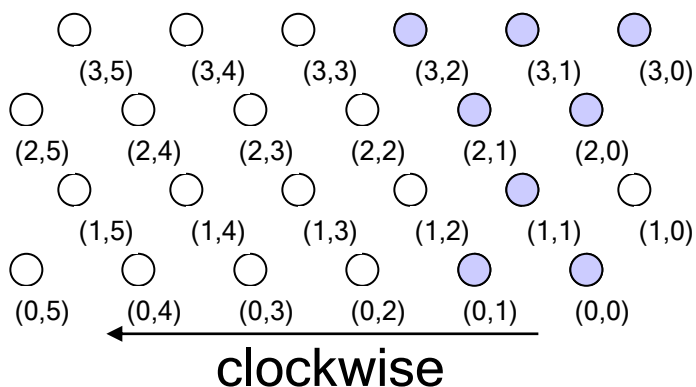
- MDC快重建的任务是尽可能快速地重建出粒子的径迹，供事例起始时间算法使用
- 相关文献
 - 张晓梅等，核电子学与探测技术，2005, 25(6):638-643



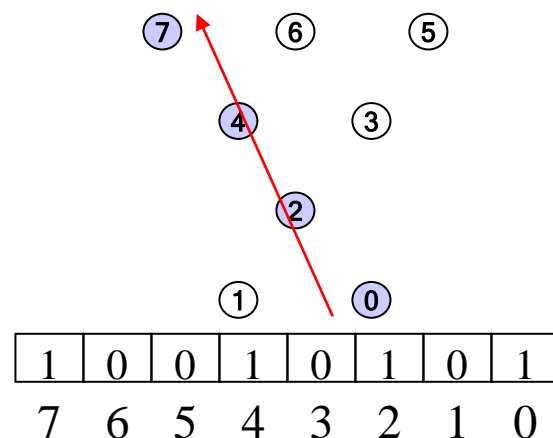
径迹寻找 -- PAT

- 使用超层内模式匹配的方法寻找径迹段
- 通过径迹段连接得到径迹
- 使用最小二乘拟合给出径迹参数
- 参考文献：
 - 张瑶，**BESIII**主漂移室径迹重建软件的设计和开发，山东大学
博士论文

超层中构成模板的8根相邻信号丝



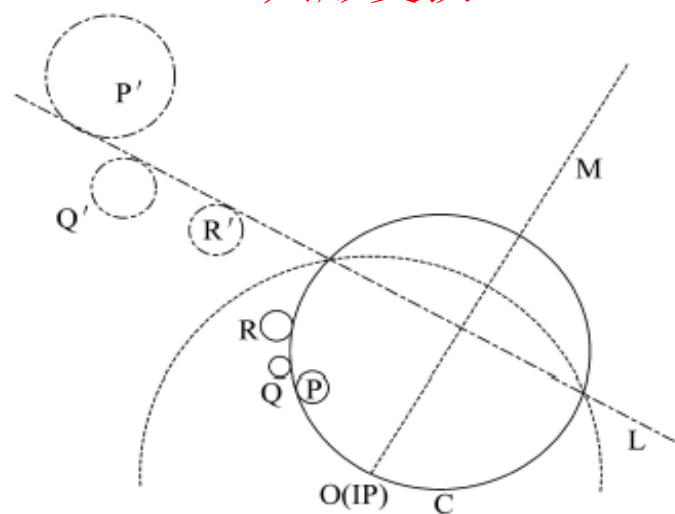
字典中的模式



径迹寻找 --TSF

- 采用共形变换方法进行径迹寻找
 - 在 $r-\phi$ 平面上，经过共形变换后，属于同一条径迹的径迹段在共形面上位于同一条直线上
 - 在 $s-z$ 平面上利用斜丝击中点进行重建
 - 根据径迹所对应的直线($s-z$ 平面)和圆($r-f$ 平面)的参数，以及对应的轴丝、斜丝，能方便的使用螺旋线拟合找到理想情况下的三维径迹

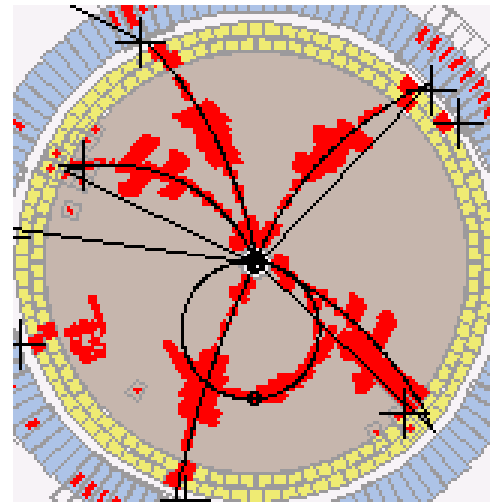
共形变换



参考文献：刘秋光等，中国物理C，2008 32(07)： 565-571

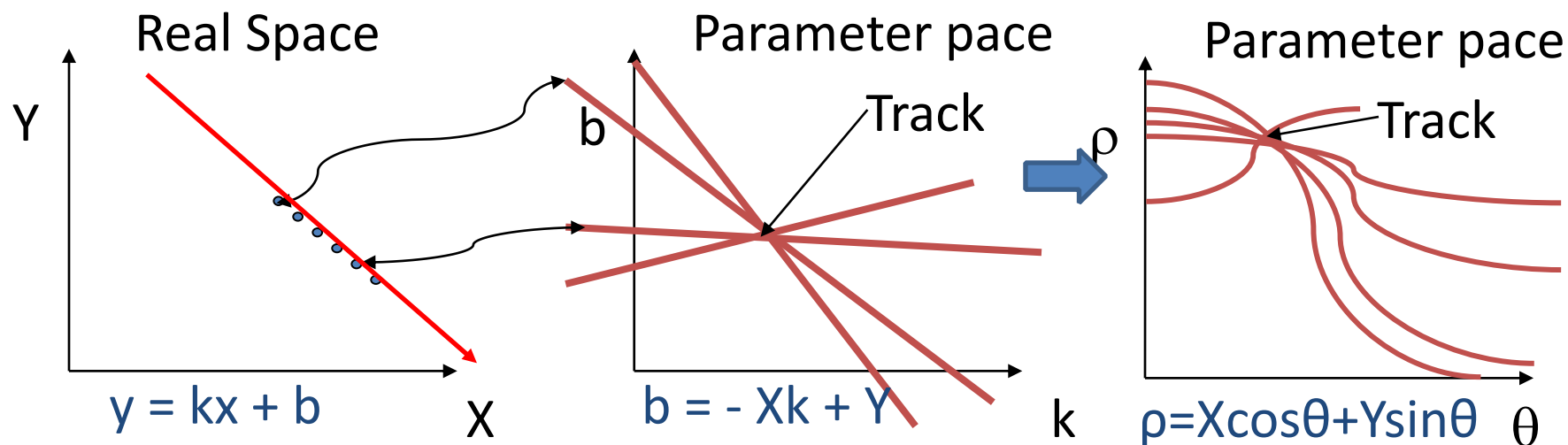
径迹寻找 -- CurlFinder

- 再使用CurlFinder算法寻找低动量径迹
 - 强磁场下，动量较低的带电粒子不能穿越漂移室而难以被有效地重建，为此专门开发了CurlFinder算法
 - 参考文献：JIA Lu-kui et al. Submitted to Chinese Physics C



径迹寻找 -- Hough变换

- 基本思想：
 - 实际平面中的一个点 对应于 参数平面中的一条线
 - 所有线的交点即为待定的径迹参数
- 从Boss7.0.3开始，基于Hough变换的寻迹算法正式应用于BESIII径迹重建，作为其它寻迹算法的补充



径迹拟合

- **Kalman filter径迹拟合**：基于Kalman滤波方法对径迹采用分段螺旋线拟合，为了得到精确的拟合结果，在拟合过程中对各种效应进行仔细修正
 - 多次散射的修正
 - 能量损失的修正
 - 磁场不均匀的修正
 - 丝下垂修正
- 能量损失和多次散射的过程与粒子种类相关，因此在拟合的时候，对于寻迹算法给出的径迹进行5种粒子假设(e, μ, π, K, p)的拟合，分别给出各种假设下的径迹参数和误差矩阵
 - 参考文献
 - 王大勇，BESIII漂移室径迹拟合与 dE/dx 离线软件研究，高能所博士论文
 - 王纪科，中国物理C，2009 33 (10): 870-879
- **Runge-Kutta径迹拟合**：为了给Kalman filter拟合提供更精确的径迹参数初始值，提高Kalman filter成功率，从Boss6.6.2开始引入Runge-Kutta径迹拟合，该算法是TSF的一部分，在寻迹之后，Kalman filter之前运行

Kalman filter

“卡尔曼最重要的发明是卡尔曼滤波算法，该算法成就了过去50年间的许多基本技术，如把阿波罗号宇航员送上月球的航天计算机系统、把人类送去探索深海和星球的机器人载体，以及几乎所有需要从噪声数据去估算实际状态的项目。有人甚至把包括环绕地球的卫星系统、卫星地面站及各类计算机系统在内的整个GPS系统合称为一个巨大无比的卡尔曼滤波器。”



卡尔曼获奥巴马总统授予
美国国家科学奖章(2009)

444

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A262 (1987) 444–450
North-Holland, Amsterdam

APPLICATION OF KALMAN FILTERING TO TRACK AND VERTEX FITTING

R. FRÜHWIRTH

Institut für Hochenergiephysik der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Vienna, Austria

Received 30 June 1987

Recently iterative procedures have been proposed for track and vertex fitting in counter experiments. We show that the proper theoretical framework for these procedures is the theory of linear filtering, in particular the Kalman filter. Using results from filtering theory we confirm and extend the previous results. We also discuss the detection of outliers and of secondary vertices.

1. Introduction

The “progressive” method of track fitting [1,2] which is used in the data analysis program of the DELPHI collaboration has some substantial advantages as compared with other methods, in particular the “global” method [2]:

difficulties can be overcome by applying techniques of linear filtering to track fitting. This has been proposed already some years ago [4], without success, as it seems, as the method was never used in practice.

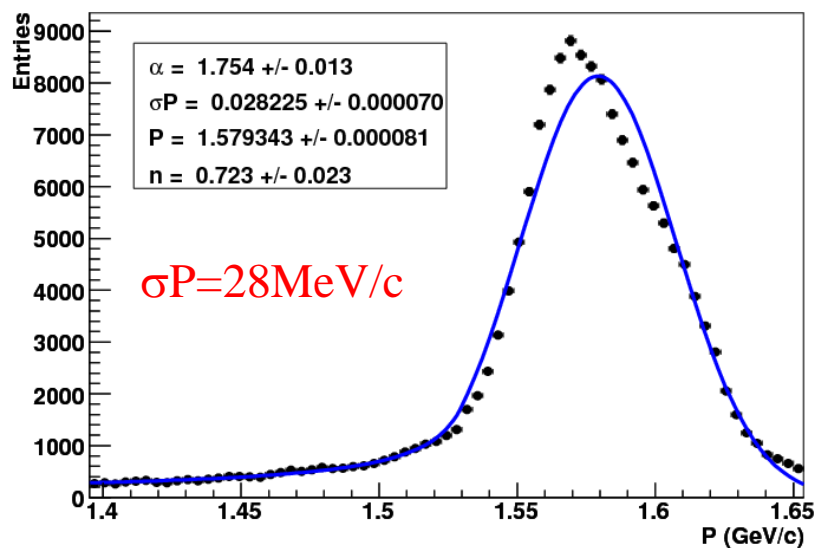
In the framework of filtering theory the progressive method can be regarded as an extended Kalman filter. The smoothing part of the Kalman filter will be seen to

卡尔曼滤波被引入高能物理，应用于径迹拟合、顶点拟合、探测器校准等方面

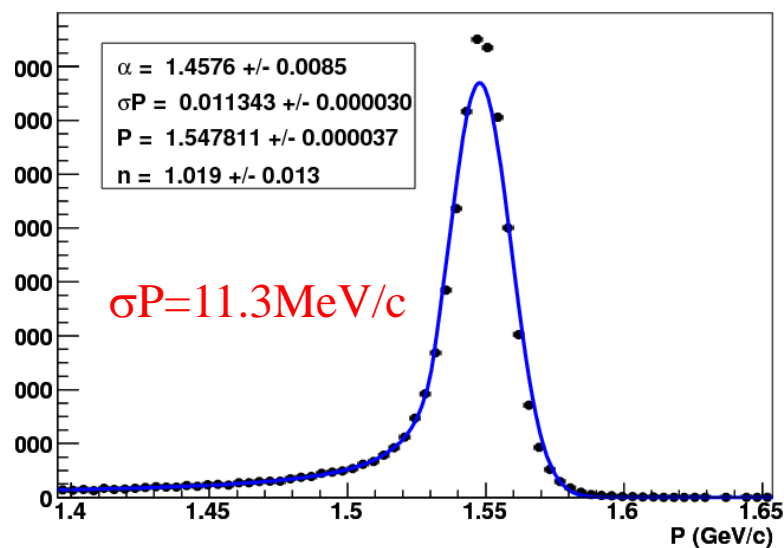
寻迹算法与KalFitAlg重建结果的对比

Bhabha事例动量分布

TSF重建结果

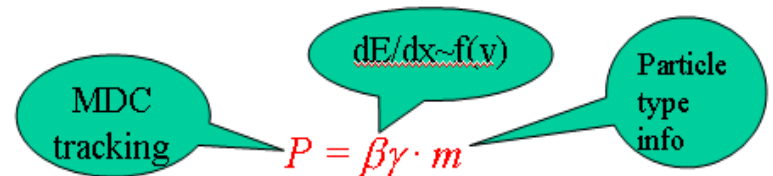


Kalman filter径迹拟合结果

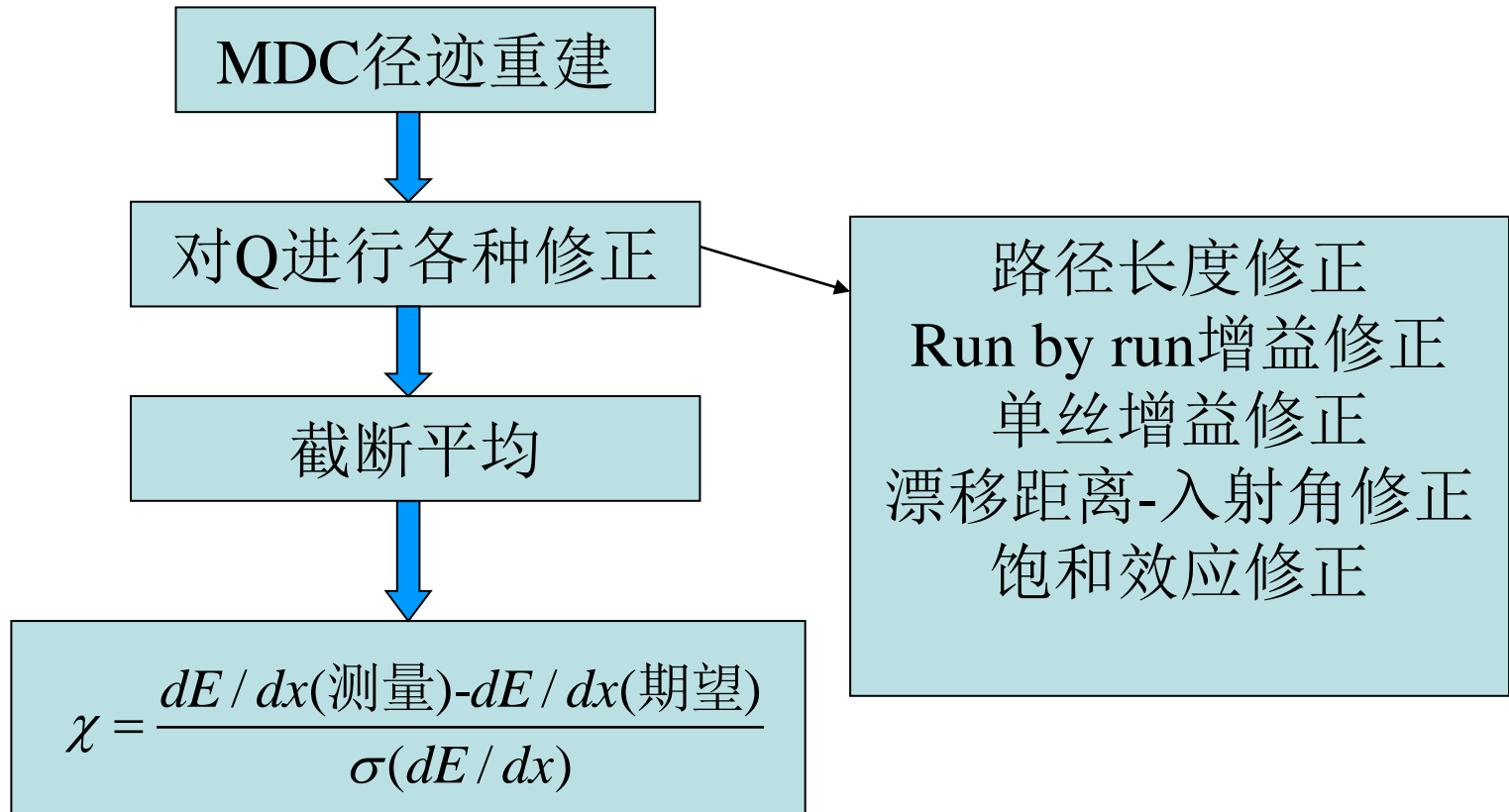


dE/dx重建

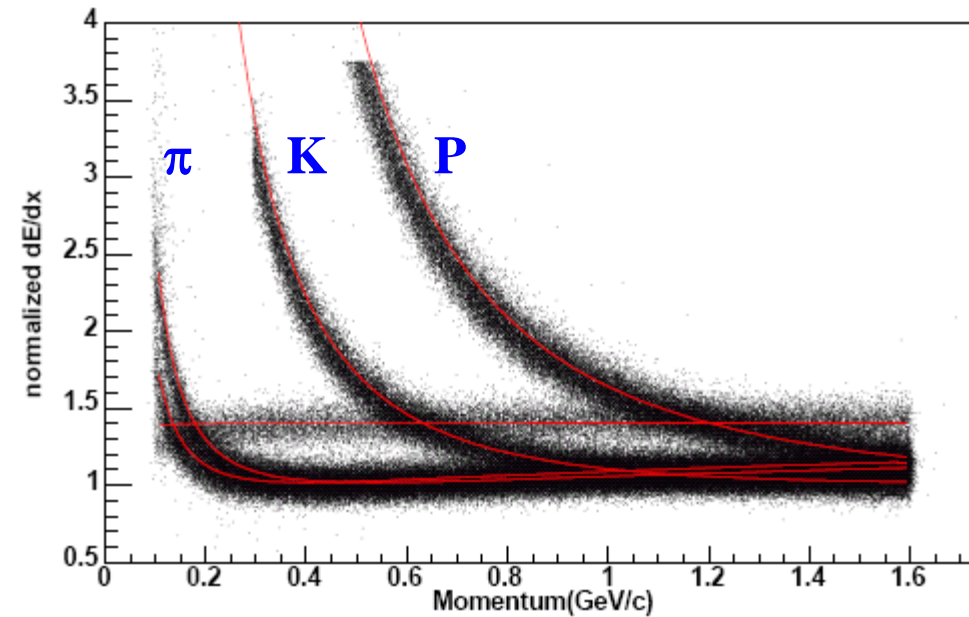
- MDC除了担负带电粒子径迹、动量测量的任务外，还担负着为带电粒子鉴别提供电离能损测量的任务
- 通过dE/dx重建得到粒子的电离能损，结合粒子的动量信息实现粒子鉴别
- 好的dE/dx分辨对于粒子鉴别，尤其是低动量的 π ，K和P粒子的鉴别具有重要意义
- BESIII要求MDC dE/dx 分辨达到6~7%
- 参考资料
 - 王大勇，BESIII漂移室径迹拟合与dE/dx离线软件的研究，高能所博士论文
 - 曹学香，BESIII漂移室dE/dx刻度重建相关研究，高能所博士论文



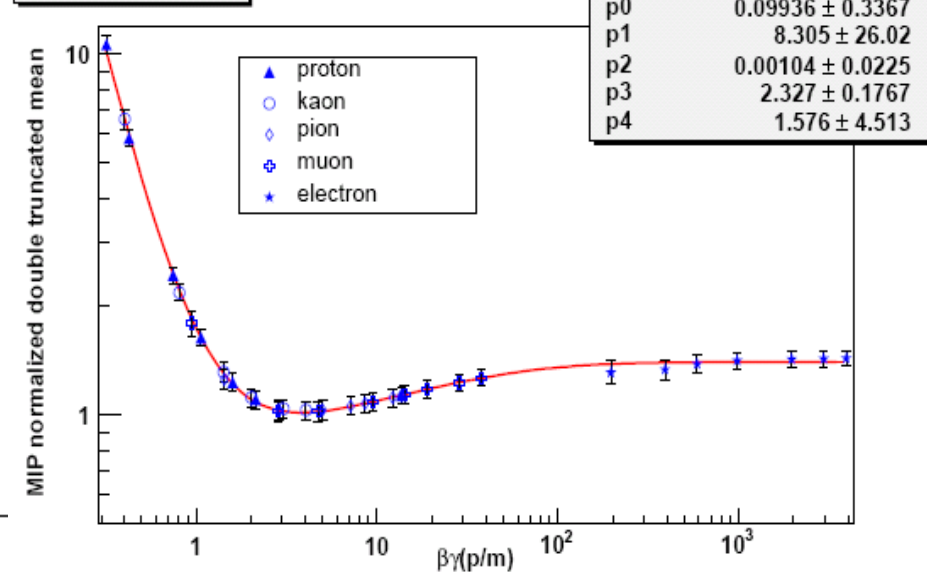
dE/dx重建流程



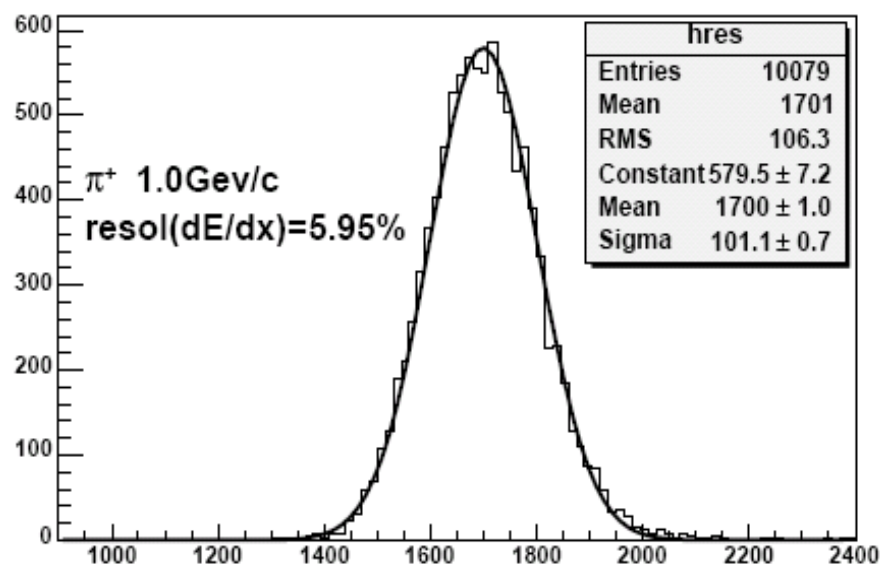
- 根据不同粒子的假设得到不同的 χ 值，比较 χ 值大小，可以得到该粒子属于某种粒子的几率，从而实现粒子鉴别



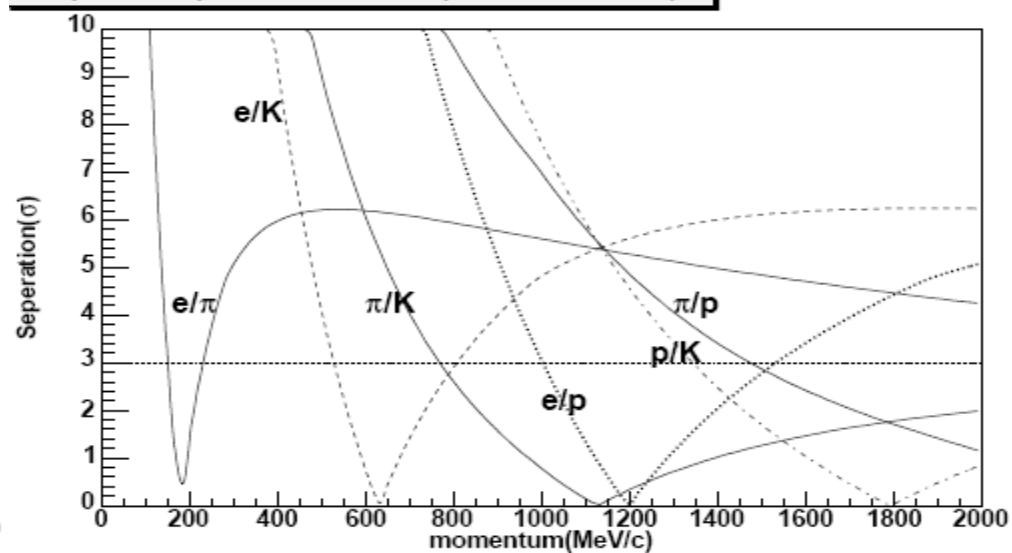
dE/dx vs $\beta\gamma$ curve



$$S_{ij} = \frac{\Delta E_{ij}}{\sigma_{ij}} = \frac{\Delta E_i - \Delta E_j}{(\sigma_i + \sigma_j)/2}, \quad i, j = e, \mu, \pi, K, p$$

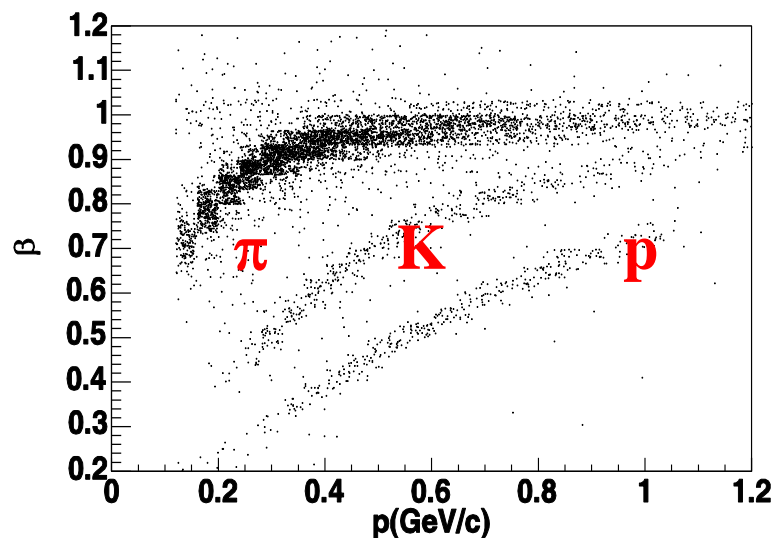


separation power with dE/dx(truncated mean)



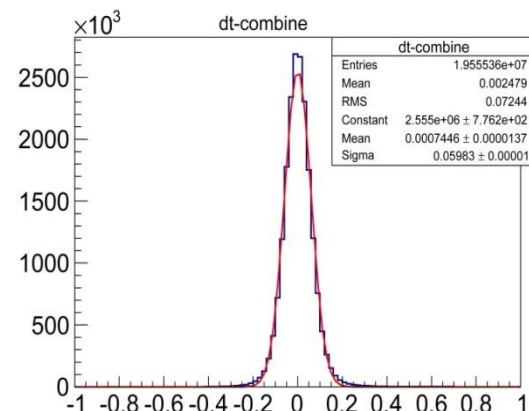
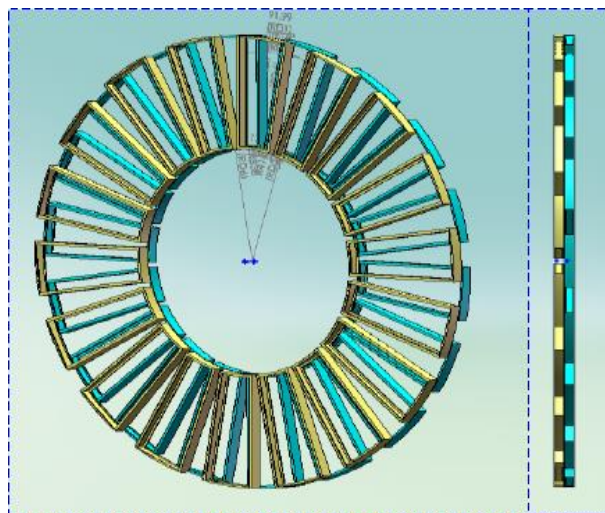
TOF重建

- 目的：利用粒子击中TOF的信息计算粒子的飞行时间等物理量，供粒子鉴别使用
- 步骤
 - 利用电子学记录的脉冲幅度的粗时钟的信息进行T-Q匹配
 - 对于桶部TOF再进行闪烁体两端光电倍增管读出信息的匹配
 - 利用带电径迹的外推击中信息与TOF测量的信号进行匹配
 - 进行各项修正，最后得到粒子的飞行时间等信息

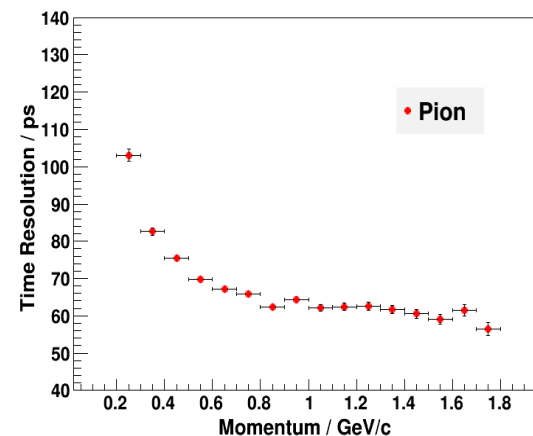
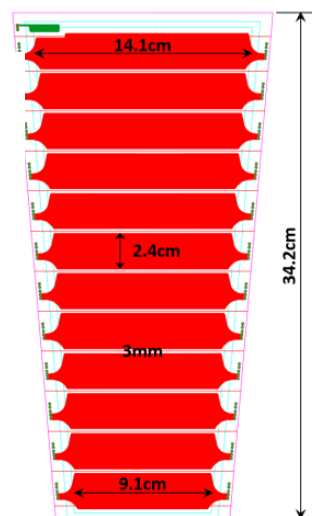
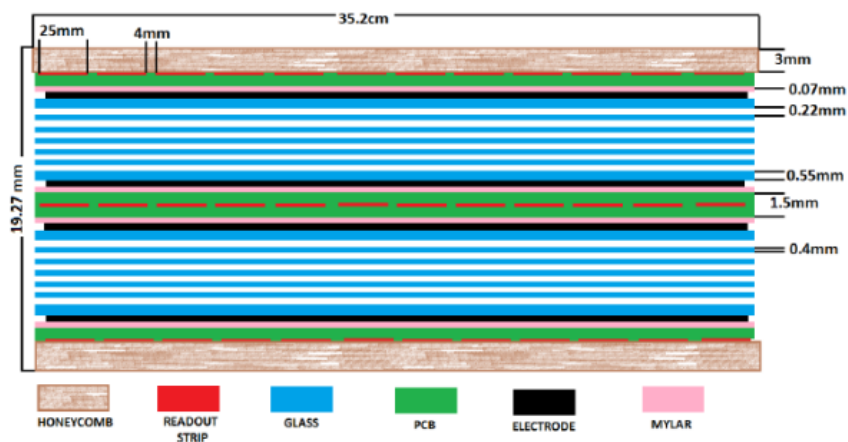


MRPC Endcap Time-of-Flight system at BESIII

- 从2015年底，MRPC 安装测试完毕正式用于 BESIII取数 (round09)
- 从Boss7.0.0开始，加入了MRPC的数据处理软件包



Time resolution 60ps



65ps for pions @0.8GeV

晶体量能器EMC重建

一个高能电子或光子进入量能器后，将与晶体发生相互作用。光子通过电子对转换变为一对正负电子，电子又可以通过韧致辐射释放出光子，这两种作用交替进行，形成电磁簇射。电磁簇射在晶体中横向和纵向发展，把能量损失在一系列相邻的晶体中。量能器的重建算法，就是要寻找这些相邻的晶体，进而计算入射粒子的总能量和击中位置。

重建方法:

- **能量簇团寻找：**一系列能量沉积大于某个阈值的相邻晶体的集合。
- **簇团劈裂：**
 - ✓ **寻找种子：**沉积能量的极大值
 - ✓ **按种子个数劈裂成一个或多个簇射，一个簇射对应一个入射粒子**

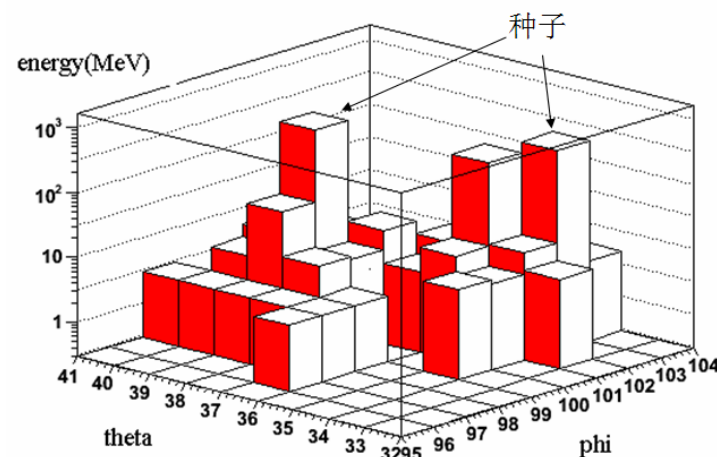
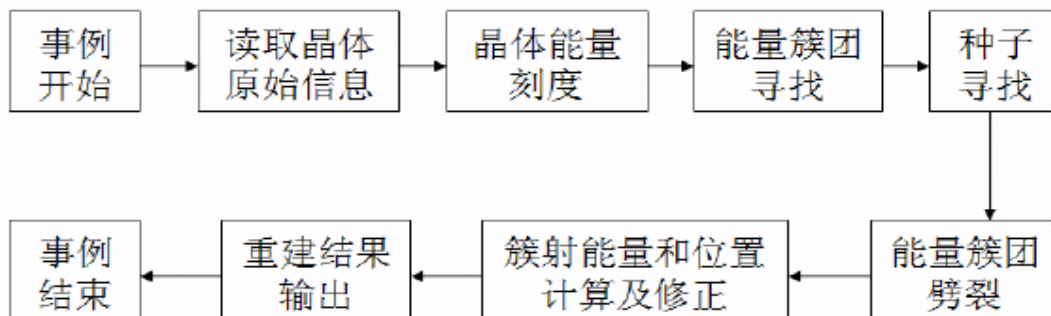
X	X	X
X	○	X
X	X	X

桶部相邻晶体定义

X	X	X			
X	○	X			
X	X				

端盖相邻晶体定义

EMC重建流程



簇射能量计算

- 对簇射中所有晶体能量求和就得到了簇射的能量。不过参与求和的晶体数越多，簇射所包含的噪声也越多，这样会降低能量分辨。由于电磁簇射能量沉积比较集中，通常表示为种子周围9块晶体能量求和，称为 $e3 \times 3$ ；或25块晶体能量求和，称为 $e5 \times 5$ 。根据BESIII实际的噪声水平，目前默认采用 $e5 \times 5$ 作为簇射的能量。

簇射位置计算

- 加权平均

$$x_c = \sum_j^N w_j(E_j) x_j / \sum_j^N w_j(E_j)$$

- 线性权重

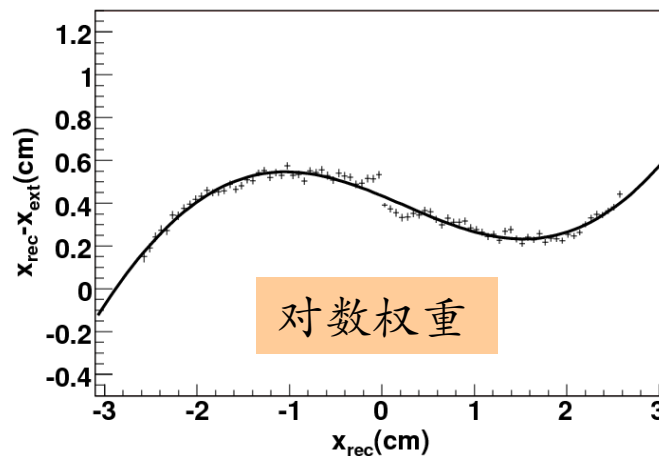
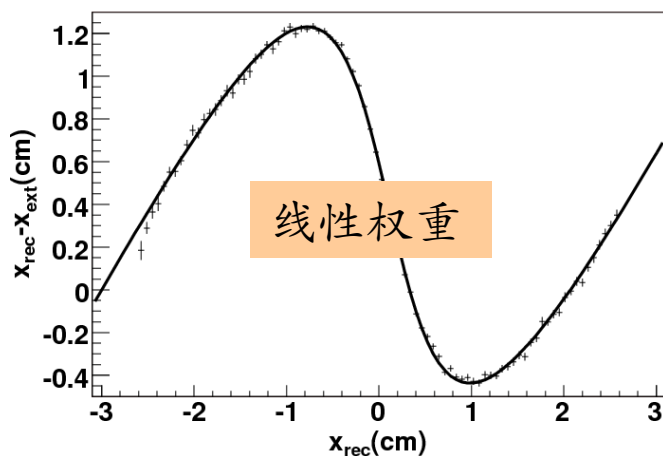
$$w_j^{(linear)}(E_j) = E_j$$

- 对数权重

$$w_j^{(log)}(E_j) = \text{Max}\left\{0, a_0 + \ln(E_j) - \ln(E_{tot})\right\}$$

- 位置修正

- 修正粒子打到晶体表面不同位置带来的偏差
- 用bhabha事例，根据漂移室的径迹外推信息进行修正
- 修正公式： $\Delta x = p_0 \times \arctan(p_1 \times x + p_3) + p_2 \times x + p_4$

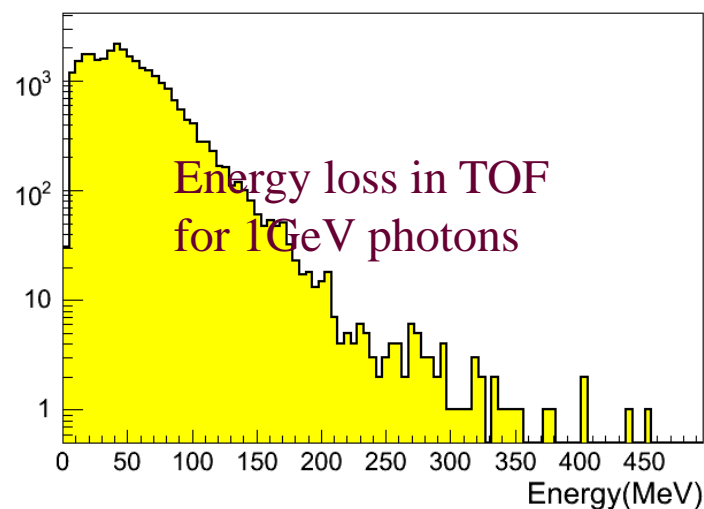


电磁量能器前物质对其性能的影响

Table 1: Material in front of EMC

Component	Material	Radiation Length
Beam Pipe	0.13cm Beryllium	0.4%
DC	1.1cm carbon fiber	5.0%
TOF	10cm scintillator	23.5%

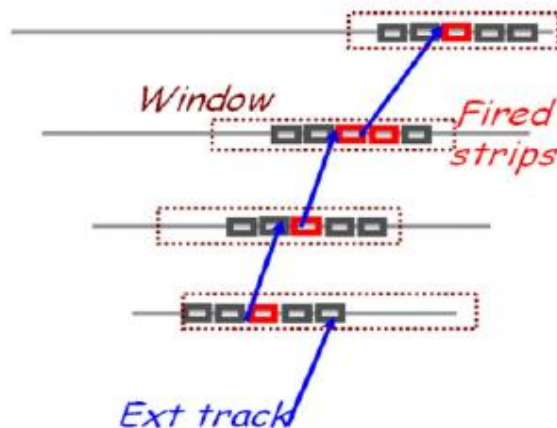
- EMC前有**30%** 辐射长度的物质, 其中TOF占的比重最大
- TOF上的能损延伸到几百个MeV, 这将使能量分辨和探测效率变差,
- 对TOF能量重建后, 能量分辨和探测效率都得到提高



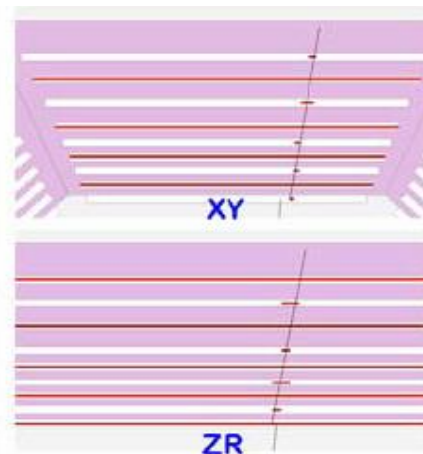
参考资料：何苗，BESIII量能器的模拟与重建，高能所博士论文

MUC 重建

- 主要任务：将击中信息构建成径迹，提供径迹的方向、位置、穿透深度等信息，供 μ 子鉴别使用
- 重建步骤：几何构建、径迹寻找、径迹拟合、径迹参量计算
- 三种径迹寻找算法
 - 漂移室径迹外推算法：主要用于带电粒子重建
 - 自重建算法：适用于各种粒子，但对穿透层数有要求
 - EMC击中或MUC击中联合对撞点外推算法：主要用于中性粒子重建
- 参考资料：LIANG Yu-Tie et al. Chinese Physics C, 2009, 33(8):666-672



MDC径迹外推



自重建

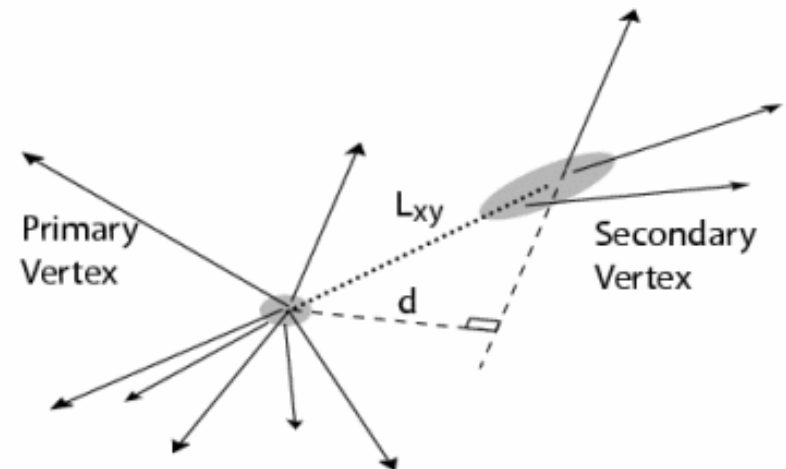
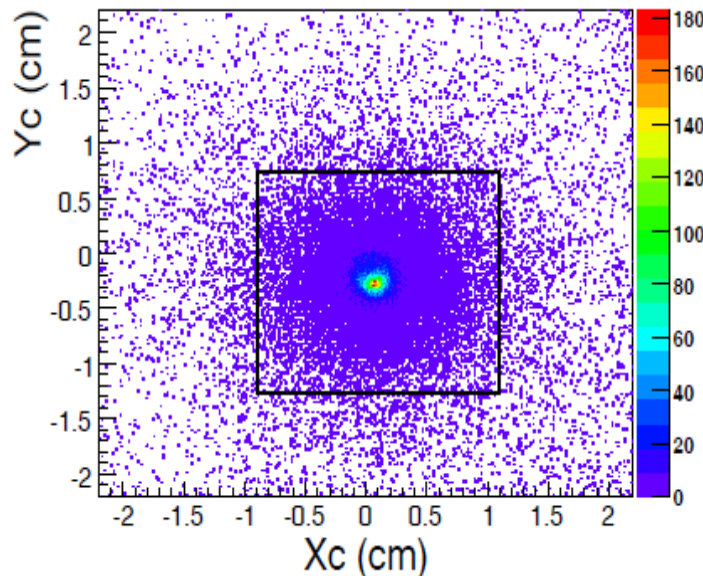
径迹外推

- 任务：根据漂移室重建出的径迹参数及误差矩阵，计算该径迹在MDC以外的各子探测器里击中的预期位置、对应的瞬时动量及相应的6维(位置、动量)协方差矩阵
- 外推的结果将用于TOF、EMC和 μ 子探测器的事例重建
- 外推程序包，基于GEANT4的部分代码，实现了较高精度的径迹外推
- 参考资料：王亮亮等. 高能物理与核物理, 2007, 31(02):183-188

事例顶点重建

- 在高亮度条件下，高精度的物理分析要求能够在大量的末态带电粒子径迹中精确区分它们来自于事例的初级顶点还是次级顶点
- 初级顶点：位于对撞点，其分布依赖于对撞束团的形状
- 次级顶点：主要是 K_S 和 Λ Λ bar 的衰变点，其相对于事例对撞点有一定的飞行距离
- 参考资料：徐敏. BESIII实验的顶点及共振态粒子重建研究, 中国科学技术大学博士论文

事例初级顶点在 X-Y 平面的分布



如何运行重建以及读取重建结果

- 事例重建的jobOption范例
 - 位置: TestRelease/TestRelease-*/run/
 - 重建原始实验数据
 - jobOptions_rec_data.txt
 - 重建rec数据
 - jobOptions_rec_recdata.txt
 - 重建模拟数据
 - jobOptions_rec.txt

重建作业jobOption中的设置(1)

以jobOptions_rec_data.txt为例

.....

#include "\$ESTIMEALGROOT/share/job_EsTimeAlg.txt" 起始时间确定

// PAT method for MDC reconstruction

PAT+TSF+Runge-Kutta

#include " \$MDCXRECOROOT/share/jobOptions_MdcPatTsfRec.txt "

#include "\$KALFITALGROOT/share/job_kalfit_numf_data.txt" KalFitAlg算法

#include "\$MDCDEDXALGROOT/share/job_dedx_all.txt" dE/dx重建

#include "\$TRKEXTALGROOT/share/TrkExtAlgOption.txt" 径迹外推

重建作业jobOption中的设置(2)

```
#include "$TOFREECROOT/share/jobOptions_TofRec_Data.txt"          TOF重建
#include "$TOFENERGYRECROOT/share/TofEnergyRecOptions_Data.txt"    TOF能量重建
#include "$EMCRECROOT/share/EmcRecOptions.txt"                     EMC重建
#include "$EMCTIMERECROOT/share/EmcTimeRecOptions.txt"

#include "$MUCRECALGROOT/share/jobOptions_MucRec.txt"              MUC重建

#include "$HLTMAKERALGROOT/share/jobOptions_HltMakerAlg.txt"

#include "$EVENTASSEMBLYROOT/share/EventAssembly.txt"
#include "$PRIMARYVERTEXALGROOT/share/jobOptions_kalman.txt"
#include "$VEEVERTEXALGROOT/share/jobOptions_veeVertex.txt"
.....
```

事例顶点重建

如何读取重建结果

以读MDC寻迹结果为例

```
SmartDataPtr<RecMdcTrackCol> newtrkCol(eventSvc(),  
    "/Event/Recon/RecMdcTrackCol");  
if(!newtrkCol){  
    log << MSG::WARNING << "Could not find RecMdcTrackCol" << endreq;  
    return StatusCode::SUCCESS;  
}
```

```
RecMdcTrackCol::iterator it_trk = newtrkCol->begin();  
for(it_trk = newtrkCol->begin(); it_trk != newtrkCol->end(); it_trk++){  
    dr = (*it_trk) -> helix(0);  
    phi0 = (*it_trk) -> helix(1);  
    ...  
}
```

- 从Dst数据中读事例重建信息的例子

[BossCvs/Analysis/Physics/RhopiAlg](#)

从DST和REC数据中能读到哪些重建结果？

- 从相应的头文件中可以获得读DST和REC数据的接口
 - DST:
 - **BossCvs/Event/DstEvent/DstEvent**
 - REC:
 - **BossCvs/Event/DstEvent/DstEvent**
 - **BossCvs/Mdc/MdcRecEvent/MdcRecEvent**
 - **BossCvs/Emc/EmcRecEventModel/EmcRecEventModel**
 - **BossCvs/Tof/TofRecEvent/TofRecEvent**
 - **BossCvs/Muc/MucRecEvent/MucRecEvent**

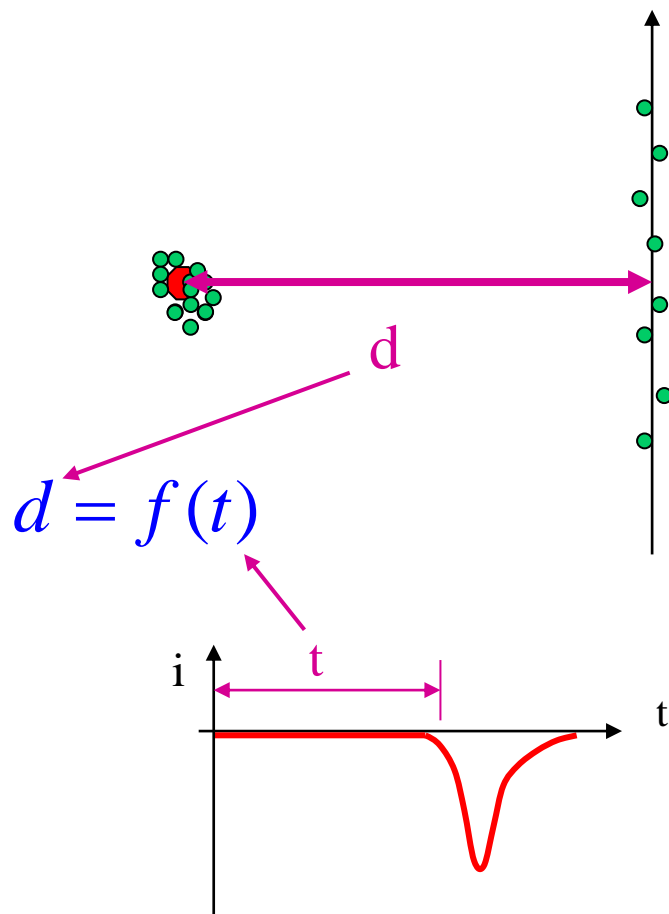
第三部分：离线刻度

- 目的
- MDC刻度
 - MDC时间道刻度
 - MDC几何位置校准
 - dE/dx 刻度（电荷道刻度）
- TOF刻度
- EMC刻度
- MUC刻度
- 刻度常数的管理

目的

- 提供事例重建所需要的函数关系 [动画演示](#)
 - 如MDC的时间-距离的转换关系
- 探测器不同部位的响应存在差别，需要通过刻度消除这些差别
 - 如电子学T0刻度消除不同电子学通道间的差异
- 受温度、湿度等外部环境的影响，探测器的相应会随着时间发生变化 [动画演示](#)
 - 如dE/dx run by run增益刻度
- 探测器的实际几何位置与理想位置之间存在差别，需要进行位置刻度 [动画演示](#)
 - 如MDC几何位置校准

- 通过刻度确定探测器原始信号与相关物理量之间的转换关系，例如距离与TDC之间的转换关系。

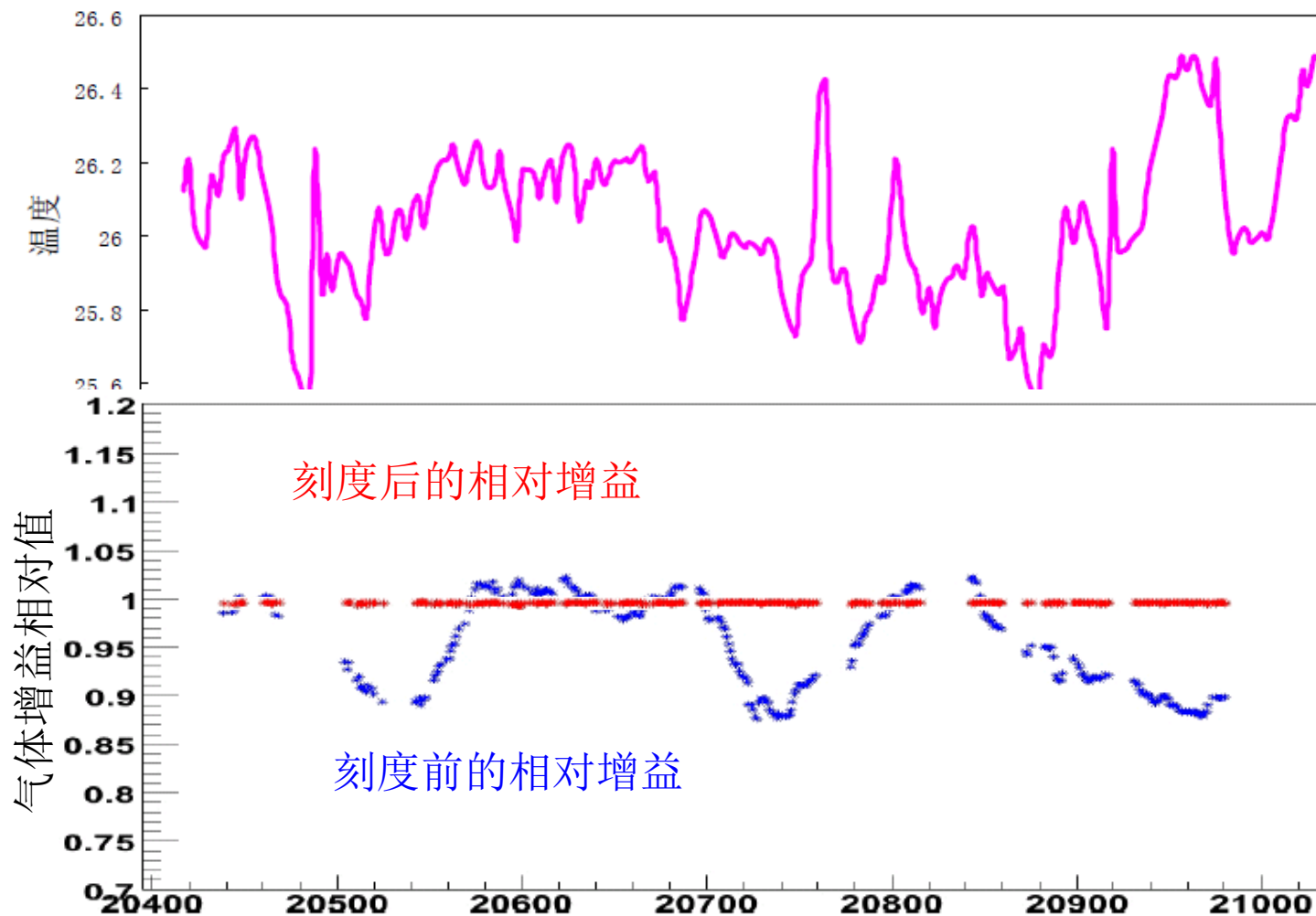


带电粒子穿过漂移室，
电离产生电离电子和离子

电离电子在电场作用下
向信号丝漂移，在信号
丝附近发生雪崩放大，
信号丝上产生信号

测量到的漂移时间通过
时间-距离关系转换为
漂移距离，这个函数关
系通过离线刻度得到

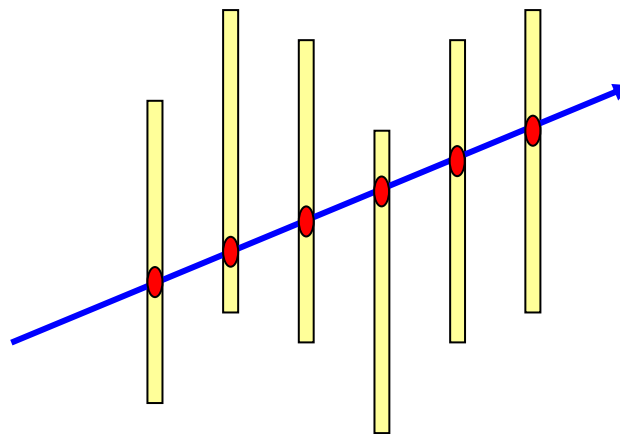
- 受外部环境的影响，探测器的响应会随着时间发生变化，例如温度、气压的变化会导致漂移室气体增益的变化。因此，需要通过离线刻度消除这些差异



- 探测器的实际几何位置与理想位置之间存在差别，需要进行几何位置刻度，即校准

实际的几何位置

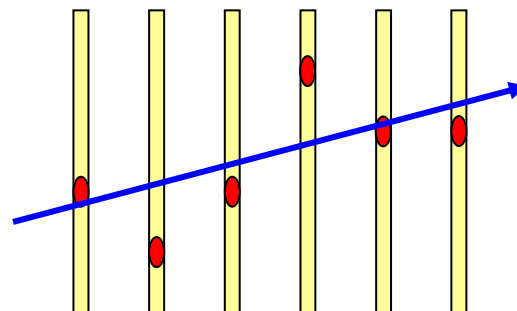
径迹穿过探测器



理想的几何位置

用理想位置进行拟合

拟合结果偏离正确值



因此需要对探测器几何位置进行校准

离线刻度软件包

软件包	功能
MdcCalibAlg	MDC刻度
MdcAlignAlg	MDC几何位置校准
DedxCalibAlg	dE/dx刻度
TofCalibAlg	TOF刻度
EmcCalib	EMC刻度
MucCalibAlg	MUC刻度

MDC刻度

- 径迹重建中采用最小二乘法进行径迹拟合

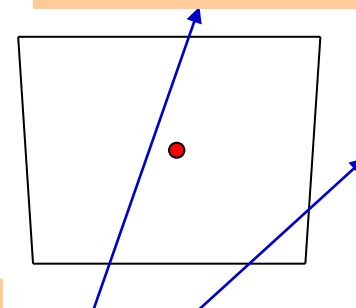
$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_{hit}} \frac{(d_{meas}^{(i)} - d_{track}^{(i)})^2}{\sigma_i^2}$$

- d_{meas} : 径迹与信号丝间的测量距离 → X-T关系, T0, 时幅修正
 - d_{track} : 拟合径迹与信号丝的距离 (以下简称拟合距离) → 信号丝位置
 - σ_i : 该测量点的权重 (空间分辨) → 空间分辨与漂移距离的关系
(d_{meas} 和 d_{track} 都是带符号的量, 此处定义信号丝左侧为负, 右侧为正)
- 径迹残差 $r = d_{meas} - d_{track}$
 - 通常用残差分布的标准差来表征漂移室的空间分辨

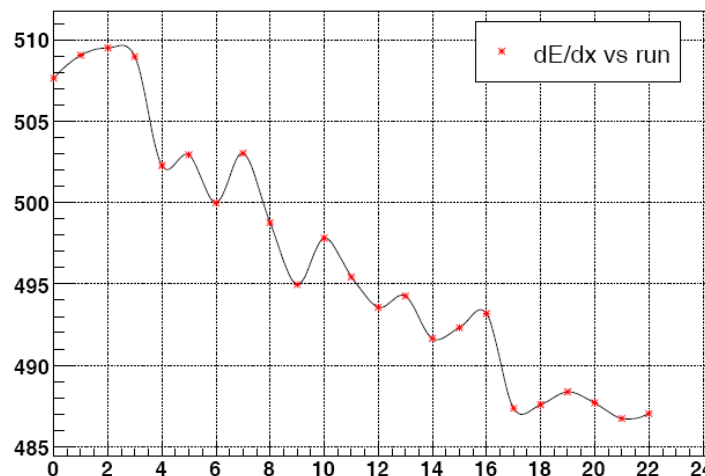
dE/dx 刻度

- dE/dx 测量值受环境、漂移室几何结构、电场磁场不均匀等因素影响，需要通过刻度消除这些因素带来的差异
- 分为hit级别刻度和track级别刻度
- **Hit级别刻度**
 - 径迹长度修正
 - run by run增益刻度
 - 单丝增益刻度
 - 漂移距离-入射角联合修正

径迹长度修正



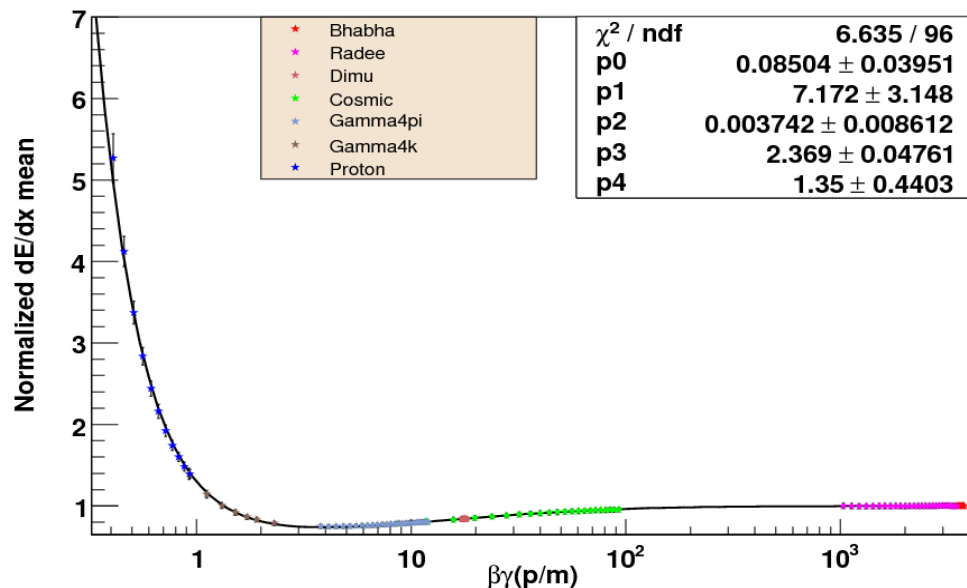
增益随run的变化



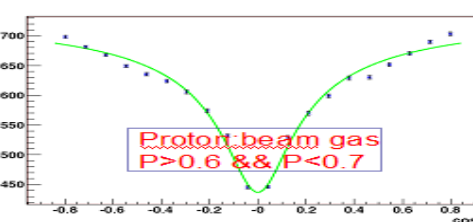
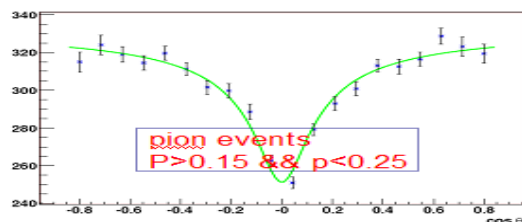
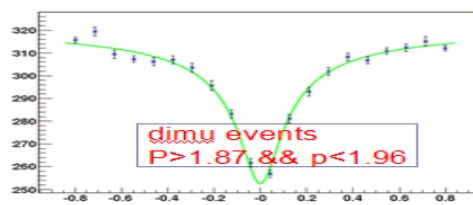
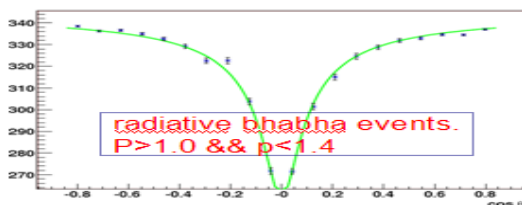
能损曲线

- 径迹级别刻度
 - * 空间电荷效应的修正
 - * 标定dE/dx能损曲线
 - * $\sigma_{dE/dx}$ 的刻度

dE/dx vs $\beta\gamma$ curve



强子的饱和效应



参考文献：曹学香，
BESIII漂移室dE/dx刻度
重建相关研究，高能所
博士论文

飞行时间计数器(TOF)刻度

- 通过刻度消除脉冲幅度、击中位置等因素带来的时间测量差异，消除因闪烁体和电子学通道的不同而带来的差异

- 时间刻度修正函数

- 桶部
$$t_{cor} = P_0 + \frac{P_1 + P_2 \cdot z}{\sqrt{Q}} + \frac{P_3}{Q} + P_4 \cdot z + P_5 \cdot z^2 + P_6 \cdot z^3$$

- 端盖
$$t_{cor} = P_0 + \frac{P_1}{\sqrt{Q}} + \frac{P_2}{Q} + P_3 \cdot r + P_4 \cdot r^2$$

EMC刻度

- 重要性和必要性：
 - * 电子学ADC道数→粒子能量的系数.
 - * 每道电子学、每块CsI晶体的不一致性
- 刻度内容
 - * 晶体单元绝对能量刻度
 - 将电子学ADC道数转换成沉积能量： $E_i = \text{ADC}_i \times C_i$ ， ADC_i 电子学提供， C_i ：i晶体绝对能量刻度常数, 由宇宙线数据刻度提供
 - 用Bhabha事例用矩阵方法精确刻度
 - * 簇射绝对能量刻度
 - 量能器前端物质的吸收、晶体后端及侧面的泄漏，重建得到的簇射能量小于入射光子的实际能量，因此需要将簇射能量的峰位修正到它的期待值，称为簇射绝对能量刻度
 - * 簇射位置刻度
 - 量能器的几何比较复杂，晶体本身不对称，晶体指向偏离对撞点，粒子击中晶体表面不同位置的效果也不一样，所以重建得到簇射位置存在偏差，也需要进行修正，称为簇射位置刻度

- 簇射绝对能量刻度

- 蒙特卡洛单光子刻度

- 通过模拟单能光子在探测器中的响应，得到不同能量下光子分别击中量能器不同位置时的沉积能量分布

- 物理事例刻度

- 高能下利用 $e^+e^- \rightarrow \gamma\gamma$ ，能量较低的区域则利用 $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ ，光子的能量刻度因子靠调节重建出的 π^0 的不变质量到它的期待值来计算

MUC刻度

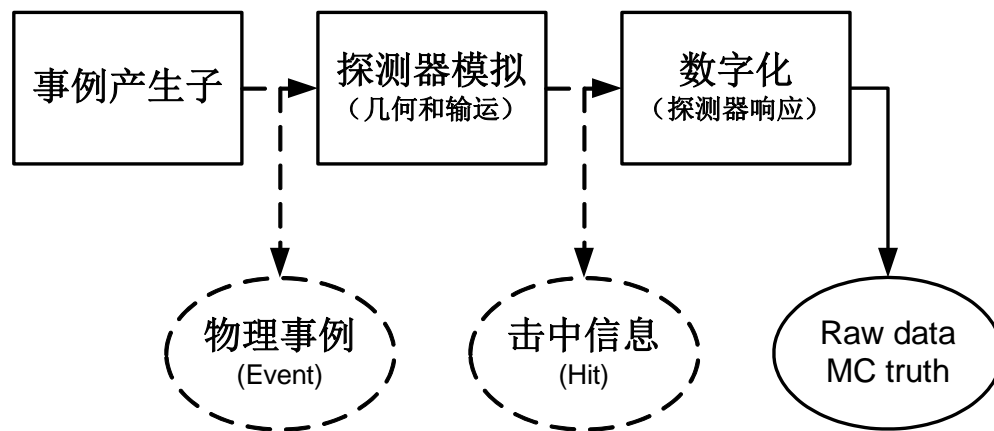
- BESIII的 μ 探测器采用流光模式的阻性板室(RPC)。RPC信号大，效率和噪声对阻性板体电阻率分布、工作高压和电子学阈值，以及环境温度湿度都比较敏感。
- μ 探测器刻度的主要任务是准确给出各探测单元的实际效率和噪声水平，以及反映各种因素对RPC性能的影响。
- 刻度的方法是基于在给定的效率窗口下，探测器击中与重建径迹预期位置的匹配情况来进行的统计分析。根据匹配的不同情况确定击中的种类：有效击中、噪声或者没有击中，并计算各个单元的效率、噪声水平及其误差。
- 参考资料：谢宇广，BESIII μ 探测器的研制和离线刻度，高能所博士论文

第四部分：探测器模拟软件

- BOOST(BESIII Object-Oriented Simulation Tool)是一套基于Geant4开发的BESIII蒙特卡罗模拟软件
 - 蒙特卡罗模拟的基本思想
 - 产生符合特定概率分布的随机变量
 - 用统计方法把模型的数字特征估计出来，从而得到实际问题的数值解
 - Geant4
 - 基于C++语言和面向对象思想开发的模拟工具包，广泛应用于高能物理、核医学、辐射物理等涉及粒子与物质发生相互作用的领域

探测器模拟的过程

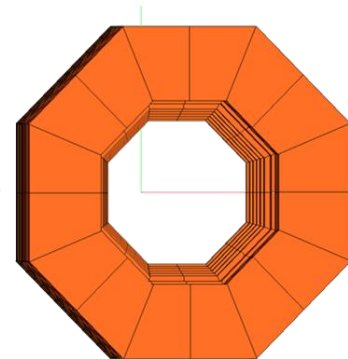
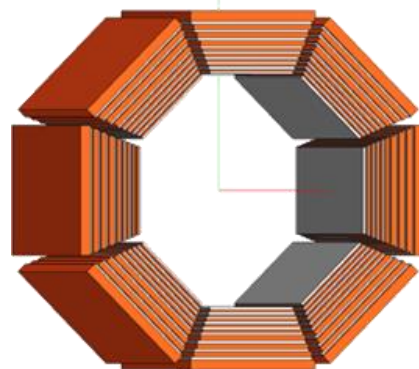
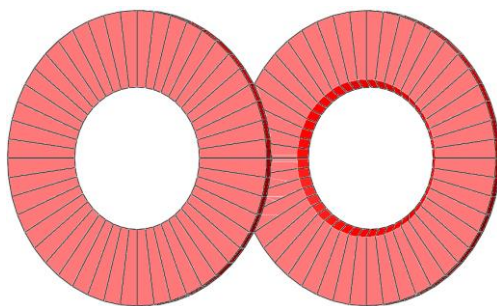
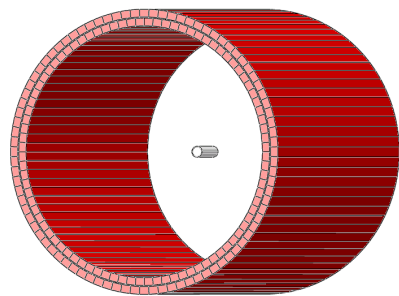
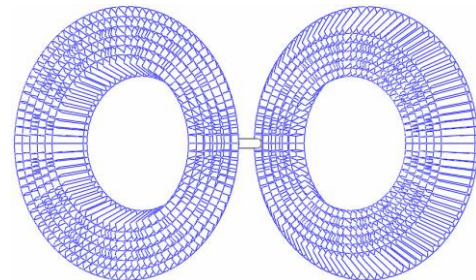
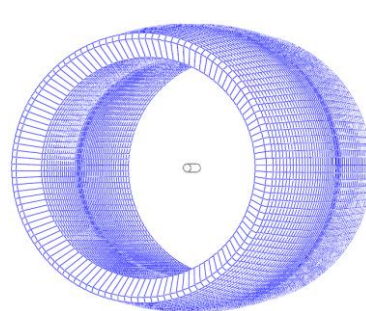
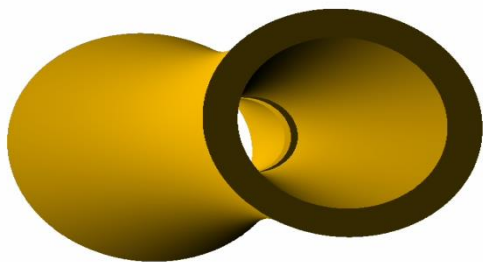
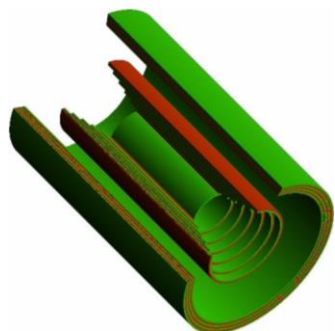
- 事例产生子产生物理事例，作为输入提供给探测器模拟程序
- 探测器模拟程序构造出探测器的几何结构，并模拟粒子在探测器中的输运及相互作用，同时记录下粒子在各个灵敏探测器中的击中信息
- 探测器响应程序利用击中信息，经过数字化过程以后得到的原始数据跟探测器在线取数时得到的真实数据具有相同的数据格式



探测器描述

- 探测器描述是进行探测器模拟的基础
- 完整的探测器描述包括探测器中每个几何单元的几何形状、尺寸、材料属性、图形显示属性、空间位置、几何单元之间的逻辑关系以及磁场分布等等

BESIII探测器描述

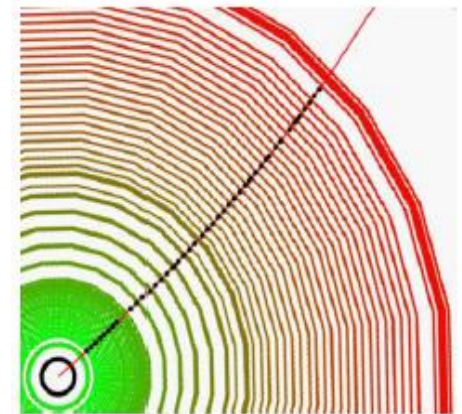


物理相互作用

- 物理相互作用用于描述粒子与探测器物质的相互作用过程，是探测器模拟程序对粒子进行运输和跟踪的必要条件
- 物理相互作用的定义包括粒子和相互作用两部分
 - Geant4提供了各种基本粒子的定义，每个粒子的定义包含了该粒子的名称、质量、电荷、自旋等属性
 - 创建的每个粒子指定可能发生的相互作用类型
 - 运输、电磁作用、强相互作用、衰变、光学作用(Optical Photon)、以及用于快速模拟的参数化相互作用

击中信息和数字化

- 在探测器模拟过程中记录粒子在探测器中的击中信息(Hit)，然后在击中信息基础上结合探测器的实际性能进行数字化，最终得到可以跟实验数据对比的原始数据
- 击中信息
 - 以MDC为例，把每个漂移单元定义为灵敏探测器，Hit信息主要包括层号、丝号、沉积能量、飞行时间、漂移时间、漂移距离、左右、角度和位置等
- 数字化
 - 以MDC为例，为了模拟空间分辨，用双高斯分布对Hit信息中的漂移距离进行弥散。测量时间由漂移距离经过X-T关系转换得到的漂移时间加上粒子飞行时间得到
- MC tuning: 根据数据调试数字化模型参数



蒙特卡罗真实信息

- 在探测器模拟过程中，除了要记录各个子探测器的数字化信息外，另一个重要任务就是记录模拟过程中所产生的粒子的真实状态以及它们与探测器击中信息之间的联系，这些信息被称为蒙特卡罗真实信息（MCtruth），可分为两部分：
 - 初级粒子：描述初级粒子的各种物理参数，以及起始点和终止点的信息
 - 初级粒子在探测器中的真实响应：记录初级粒子在灵敏探测器中的真实响应信息，并在粒子以及响应信息之间建立起对应关系

jobOption_sim

```
#include "$OFFLINEEVENTLOOPMGRROOT/share/OfflineEventLoopMgr_Option.txt"

//*****job options for generator (KKMC)*****
#include "$KKMCROOT/share/jobOptions_KKMC.txt"
KKMC.CMSEnergy = 3.097;
KKMC.BeamEnergySpread=0.0008;
KKMC.NumberOfEventPrinted=1;
KKMC.GenerateJPsi=true;

//*****job options for EvtGen*****
#include "$BESEVTGENROOT/share/BesEvtGen.txt"
EvtDecay.userDecayTableName = "rhopi.dec";

//*****job options for random number*****
BesRndmGenSvc.RndmSeed = 100;

//*****job options for detector simulation*****
#include "$BESSIMROOT/share/G4Svc_BesSim.txt"

//configure for calibration constants
#include "$CALIBSVCROOT/share/calibConfig_sim.txt"

// run ID
RealizationSvc.RunIdList = {-9989};

#include "$ROOTIOROOT/share/jobOptions_Digi2Root.txt"
RootCnvSvc.digiRootOutputFile = "rhopi.rtraw";

// OUTPUT PRINTOUT LEVEL
// Set output level threshold (2=DEBUG, 3=INFO, 4=WARNING, 5=ERROR, 6=FATAL )
MessageSvc.OutputLevel = 5;

// Number of events to be processed (default is 10)
ApplicationMgr.EvtMax = 50;
```

产生子

Decay card

随机数种子

见下页

刻度常数设置

Run号

输出文件

G4Svc_BesSim.txt

```
ApplicationMgr.DLLs += {"BesServices"};
```

```
#include "$REALIZATIONSVCROOT/share/jobOptions_Realization.txt"
```

```
#include "$BESSIMROOT/share/Bes_Gen.txt"
```

```
#include "$DETVERSVCROOT/share/joboptions_DetVerSvc.txt"
```

```
ApplicationMgr.DLLs += { "BesSim" };
```

```
ApplicationMgr.TopAlg += {"BesSim"};
```

→ 探测器模拟

```
//realization
```

```
RealizationSvc.IfUseTrg = false;
```

→ 真实化开关

```
G4Svc.BoostLab = true;
```

```
// beam bunch position, unit (mm)
```

```
G4Svc.BeamPosX=0;
```

```
G4Svc.BeamPosY=0;
```

```
G4Svc.BeamPosZ=0;
```

对撞点位置设置

```
// beam bunch size , unit (mm)
```

```
G4Svc.BeamSizeX=0.38;
```

```
G4Svc.BeamSizeY=0.0057;
```

```
G4Svc.BeamSizeZ=15;
```

束团尺寸设置

```
// beam start time , unit (ns)
```

```
G4Svc.NBunch=3;
```

```
G4Svc.BeamStartTime=648;
```

```
G4Svc.BeamDeltaTime=8;
```

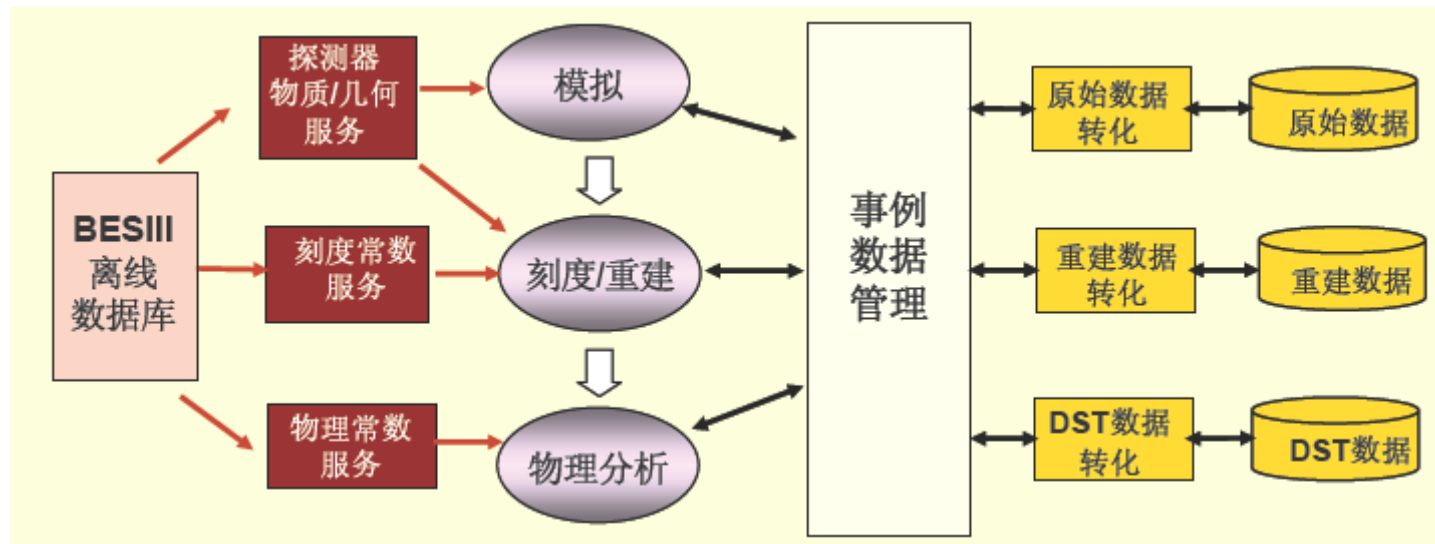
束团时间设置

模拟相关的参考文献

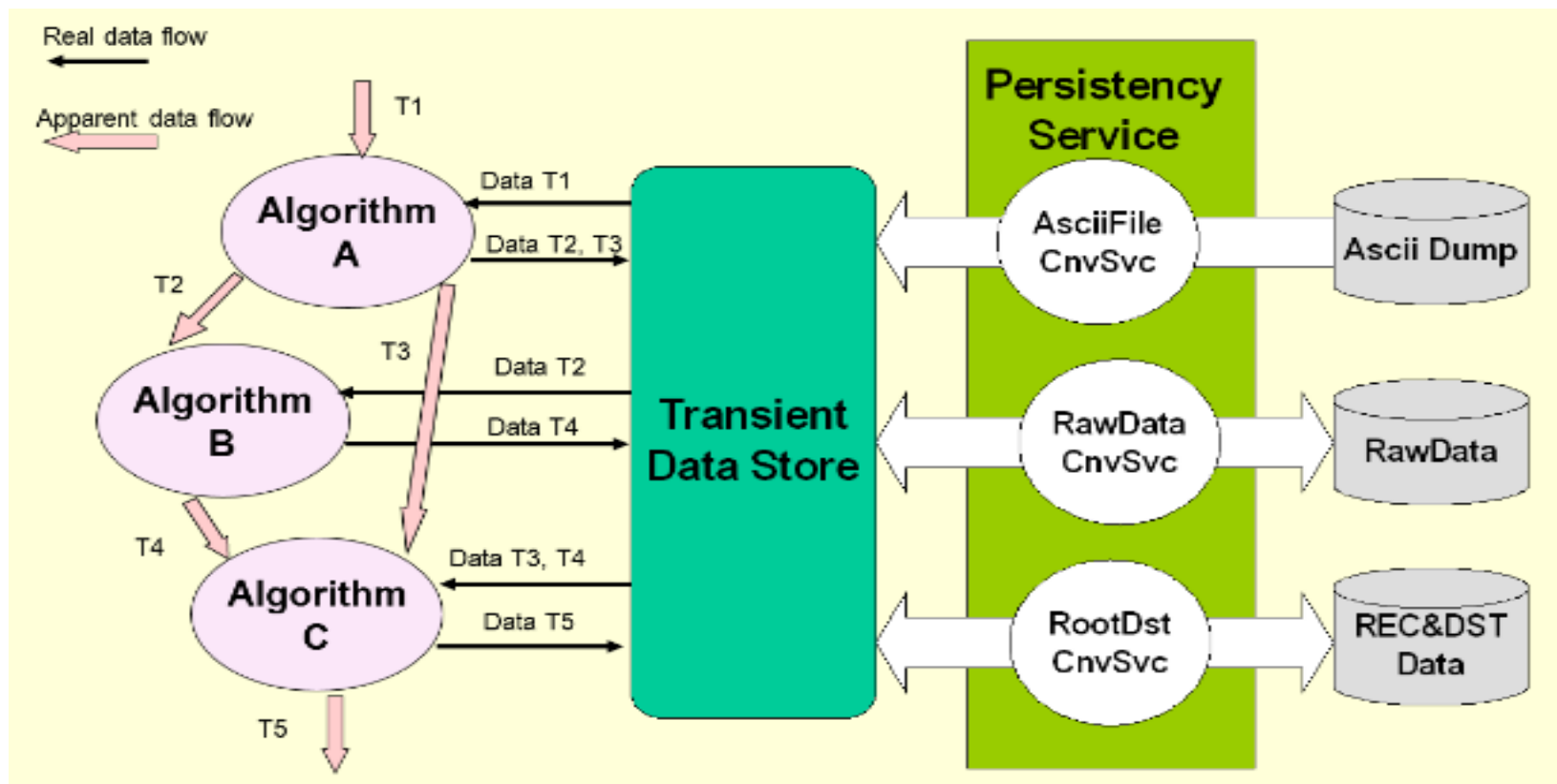
- 邓子艳，BESIII探测器模拟软件的设计和开发，高能所博士论文，2006
- 潘明华，BESIII主漂移室的蒙特卡罗模拟，广西师范大学硕士论文，2008
- 何苗，BESIII量能器的模拟与重建，高能所博士论文，2008

第五部分：BESIII离线软件框架

- BESIII Offline Software System (BOSS), 采用 GAUDI为基础, 以C++语言为主开发的离线数据处理软件平台
 - 提供有效的数据管理工具
 - 定义软件模块间的相互关系及接口标准
 - 实现动态库的链接机制



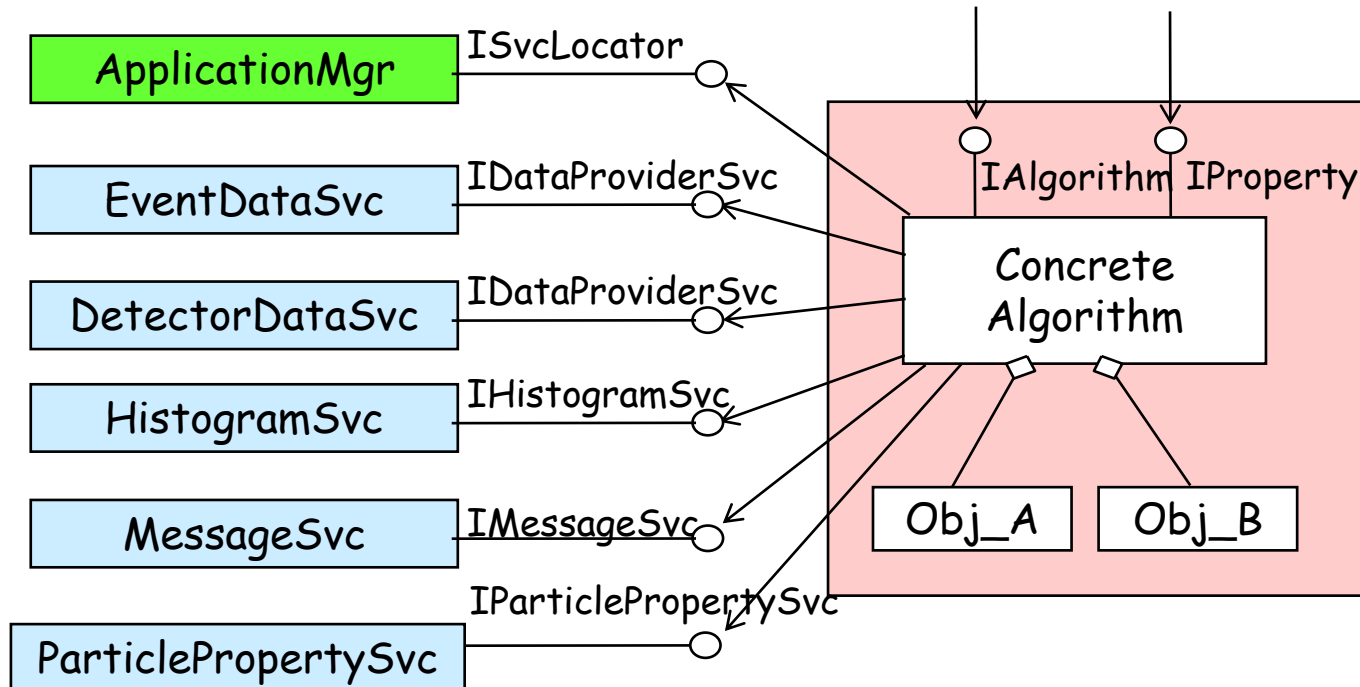
Work flow



- 瞬态数据库(TDS): 程序运行期间各功能模块所需事例数据、探测器描述数据和直方图统计数据所存放的内存空间，只存在于框架运行期间

Algorithm

- Users write concrete Algorithms derived from base class Algorithm
- Implements - at least - three methods in addition to the constructor and destructor
 - `initialize()`, `execute()`, `finalize()`
- `execute` is called once per physics event



软件配置管理

- 采用软件包来进行组织和管理软件。软件包是由一组相关功能的软件代码构成的，从功能逻辑上结合在一起的物理单元，它是软件发布的最小单元
- 采用配置管理工具CMT(Configuration Management Tool)来规范软件开发和发布过程，并且为该过程提供一套完整的配置管理工具
- 一些常用命令
 - `cmt create <packagename> <version>`
 - `cmt co -r <tag> <package>`
 - `cmt show uses`

软件代码管理--CVS

所内: <http://koala.ihep.ac.cn/cgi-bin/viewcvs.cgi/BossCvs/>

所外: <http://docbes3.ihep.ac.cn/viewvc/cgi-bin/viewvc.cgi/BESIII/BossCvs/>

BossCvs
Current directory: [\[BESIII\]](#) / **BossCvs**
File
[Analysis/](#)
[BesCxxPolicy/](#)
[BesExamples/](#)
[BesFortranPolicy/](#)
[BesJob/](#)
[BesPolicy/](#)
[BesRelease/](#)
[BesVis/](#)
[BossJob/](#)
[Calibration/](#)
[Control/](#)
[DQA/](#)
[DQA_TO_DB/](#)
[DQM/](#)
[Database/](#)
[DetectorDescription/](#)
[DistBoss/](#)
[Emc/](#)
[Event/](#)
[EventDisplay/](#)
[EventFilter/](#)
[EvtPreSelect/](#)

BossCvs/Analysis/VertexFit
Current directory: [\[BESIII\]](#) / [BossCvs](#) / [Analysis](#) / **VertexFit**
Files shown: 1

File	Rev.	Age	Author	Last log entry
VertexFit/				
cmt/				
share/				
src/				
_ChangeLog	1.3	20 months	mat	More details can be found in the Chang

Show files using tag:

- Branches -

- Branches -

VertexFit-00-02-68-slc6

- Non-branch tags -

VertexFit-00-02-75

VertexFit-00-02-74

VertexFit-00-02-73

VertexFit-00-02-72

VertexFit-00-02-71

VertexFit-00-02-70

VertexFit-00-02-69

VertexFit-00-02-68-slc6tag

VertexFit-00-02-68

VertexFit-00-02-67

VertexFit-00-02-66

VertexFit-00-02-65

VertexFit-00-02-64

VertexFit-00-02-63

VertexFit-00-02-62

VertexFit-00-02-61

VertexFit-00-02-60

[CVS admin address](#)

BOSS发布 (1)

- 查看发布区位置：
 - 输入 `echo $CMTPATH`，屏幕显示如下信息：
`/besfs/groups/cal/mdc/mdccal/workarea/7.0.5/workarea:/cvmfs/bes3.ihep.ac.cn/bes3sw/Boss/7.0.5:/cvmfs/bes3.ihep.ac.cn/bes3sw/ExternalLib/SLC6/ExternalLib/gaudi/GAUDI_v23r9:/cvmfs/bes3.ihep.ac.cn/bes3sw/ExternalLib/SLC6/ExternalLib/LCGCMT/LCGCMT_65a`
(红色部分为当前所用的**BOSS**版本发布区路径)
- 通过版本号区分不同种类的BOSS版本：
 - 正式版：6.5.1, 6.5.2 ...
 - 供物理分析使用的正式版本
 - 测试版：6.5.2.a, 6.5.2.b ...
 - 介于正式版之间的临时版本，供软件测试使用
 - 补丁版：6.5.1.p01 ...
 - 相应的正式版本已经发布，但后来发现了bug，修复bug之后发布的版本

BOSS环境设置

- 2020年8月，运行BESIII离线软件的高能所计算集群将操作系统升级到CentOS，设置环境的方式略有变化
 - 登录 lxslc7.ihep.ac.cn
 - For BOSS versions [7.0.5](#), [7.0.4](#), [7.0.3](#), [7.0.3.p01](#), [7.0.3.p02](#), and [6.6.5.p01](#):
 - a) **Reset BOSS environment** using template
[/cvmfs/bes3.ihep.ac.cn/bes3sw/cmthome/cmthome-***-Slc6Centos7Compat](#)
 - b) Submit jobs: **boss.condor job_option.txt**
 - For BOSS versions [6.6.4](#), [6.6.4.p01](#), [6.6.4.p02](#), [6.6.4.p03](#):
 - a) Start a singularity: [/cvmfs/container.ihep.ac.cn/bin/hep_container shell SL5](#)
 - b) Reset BOSS environment using template
[/cvmfs/bes3.ihep.ac.cn/bes3sw/cmthome/cmthome-***-Slc6Centos7Compat](#)
 - c) Submit jobs: **boss.condor -os SL6 job_option.txt**

例子: RhopiAlg

- 发布区路径:

/afs/ihep.ac.cn/bes3/offline/Boss/7.0.3/Analysis/Physics/RhopiAlg

- Check out 某一版本到自己的工作区

```
cmt co -r RhopiAlg-00-00-23 Analysis/Physics/RhopiAlg
```

Head file: Rhopi.h

RhopiAlg/Rhopi.h

```
#include "GaudiKernel/AlgFactory.h"
#include "GaudiKernel/Algorithm.h"
#include "GaudiKernel/NTuple.h"
// #include "VertexFit/ReadBeamParFromDb.h"

class Rhopi : public Algorithm {

public:
    Rhopi(const std::string& name, ISvcLocator* pSvcLocator);
    StatusCode initialize();
    StatusCode execute();
    StatusCode finalize();

private:
    // ReadBeamParFromDb m_reader;
    // Declare r0, z0 cut for charged tracks
    double m_vr0cut;
    double m_vz0cut;
```

Source files

src/Rhopi.cxx

```
Rhopi::Rhopi(const std::string& name, ISvcLocator* pSvcLocator) :  
    Algorithm(name, pSvcLocator) {  
  
    //Declare the properties  
    declareProperty("Vr0cut", m_vr0cut=1.0);  
    declareProperty("Vz0cut", m_vz0cut=5.0);  
    declareProperty("EnergyThreshold", m_energyThreshold=0.05);  
    declareProperty("GammaPhiCut", m_gammaPhiCut=20.0);  
    declareProperty("GammaThetaCut", m_gammaThetaCut=20.0);  
    declareProperty("GammaAngleCut", m_gammaAngleCut=10.0);  
}
```

src/components/Rhopi_entries.cxx

```
#include "GaudiKernel/DeclareFactoryEntries.h"  
#include "RhopiAlg/Rhopi.h"  
  
DECLARE_ALGORITHM_FACTORY( Rhopi )  
  
DECLARE_FACTORY_ENTRIES( RhopiAlg ) {  
    DECLARE_ALGORITHM(Rhopi);  
}
```

src/components/Rhopi_load.cxx

```
#include "GaudiKernel/LoadFactoryEntries.h"  
  
LOAD_FACTORY_ENTRIES( RhopiAlg )
```


cmt/requirements

```
package RhopiAlg

use BesPolicy BesPolicy-*
use GaudiInterface GaudiInterface-* External

use DstEvent DstEvent-* Event
use EventModel EventModel-* Event
use EvtRecEvent EvtRecEvent-* Event
use McTruth McTruth-* Event

use VertexFit VertexFit-* Analysis
use ParticleID ParticleID-* Analysis

use BesROOT BesROOT-00-* External

apply_pattern component_library
library RhopiAlg *.cxx components/*.cxx

apply_pattern declare_runtime files=*.txt
```

jobOption

算法相关设置

```
#include "$VERTEXFITROOT/share/jobOptions_VertexDbSvc.txt"
ApplicationMgr.DLLs += {"RhopiAlg"};
ApplicationMgr.TopAlg += { "Rhopi" };

Rhopi.Vr0cut = 1.0;
Rhopi.Vz0cut = 5.0;

Rhopi.EnergyThreshold = 0.04;
Rhopi.GammaPhiCut = 20.0;
Rhopi.GammaThetaCut = 20.0;
Rhopi.GammaAngleCut = 20.0;
```

[share/jobOptions_Rhopi.txt](#)

完整的、可运行的jobOption

```
#include "$ROOTIOROOT/share/jobOptions_ReadRec.txt"
#include "$VERTEXFITROOT/share/jobOptions_VertexDbSvc.txt"
#include "$MAGNETICFIELDROOT/share/MagneticField.txt"
#include "$ABSCORROOT/share/jobOptions_AbsCor.txt"
#include "$RHOPIALGROOT/share/jobOptions_Rhopi.txt"
```

[TestRelease/run/jobOptions_ana_rhopi.txt](#)

```
// Input REC or DST file name
EventCnvSvc.digiRootInputFile = {"rhopi.dst"};

// Set output level threshold (2=DEBUG, 3=INFO, 4=WARNING, 5=ERROR, 6=FATAL )
MessageSvc.OutputLevel = 5;

// Number of events to be processed (default is 10)
ApplicationMgr.EvtMax = 50;

ApplicationMgr.HistogramPersistency = "ROOT";
NTupleSvc.Output = { "FILE1 DATAFILE=' rhopi_ana.root' OPT='NEW' TYP=' ROOT' "};
```

TestRelease 下的 requirements

```
package TestRelease

##### setup gaudi env #####
use GaudiInterface      GaudiInterface-*      External
use BesCLHEP            *                      External
use PartPropSvc          *
use CASTOR              *                      LCG_Interfaces
use ExHelloWorld        *                      BesExamples
##### for Analysis #####
#use Analysis            Analysis-*
#use AnalysisDemoAlg     AnalysisDemoAlg-*      Analysis
#use BKlamsVTX           BKlamsVTX-00-*          Analysis
#use GammaEtaAlg         GammaEtaAlg-00-*        Analysis/Physics
#use KlamsTestAlg        KlamsTestAlg-00-*        Analysis/Physics
#use RhoPhiAlg           RhoPhiAlg-00-*          Analysis/Physics
#use PipiJpsiAlg         PipiJpsiAlg-*           Analysis/Physics/PsiPrime
#use AbsCor              AbsCor-*               Analysis/PhotonCor
#use Telesis             Telesis-00-*            Analysis
#use VertexFit           VertexFit-*             Analysis
```

常见错误的相关检查

echo \$CMTPATH

```
[wulh@lxslc606 run]$ echo $CMTPATH
/ihepbatch/bes/wulh/workfs/702p01:/afs/ihep.ac.cn/bes3/offline/Boss/7.0.2.p01:/afs/ihep.ac.cn/bes3/offline/ExternalLib/SLC6/ExternalLib/gaudi/GAUDI_v23r9:/afs/ihep.ac.cn/bes3/offline/ExternalLib/SLC6/ExternalLib/LCGCMT/LCGCMT_65a
```

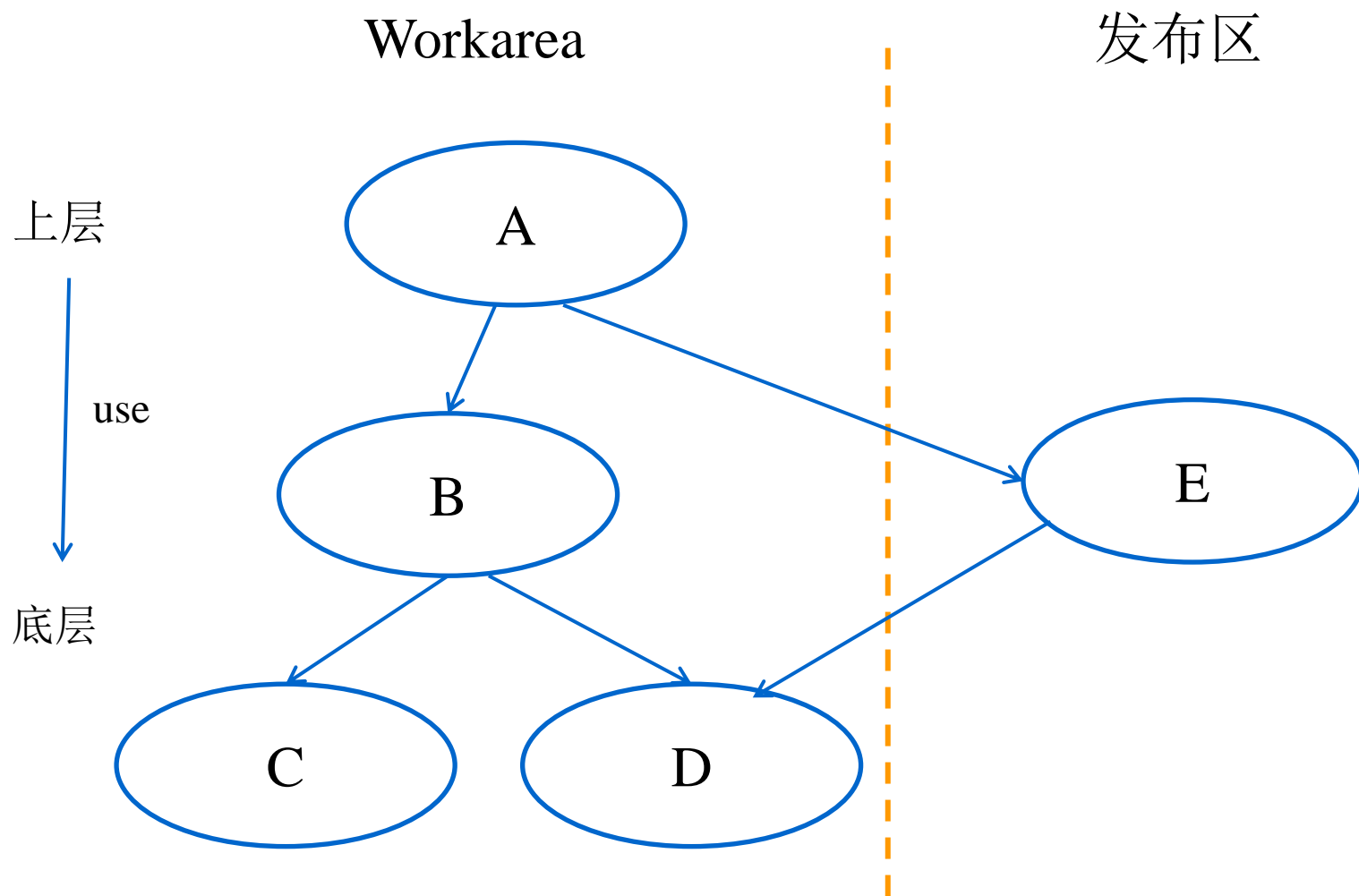
cmt show uses|grep RhopiAlg

```
-----
[wulh@lxslc606 cmt]$ cmt show uses|grep RhopiAlg
# use RhopiAlg RhopiAlg-00-* Analysis/Physics
use RhopiAlg RhopiAlg-00-00-23 Analysis/Physics (/afs/ihep.ac.cn/bes3/offline/Boss/7.0.2.p01)
-----
```

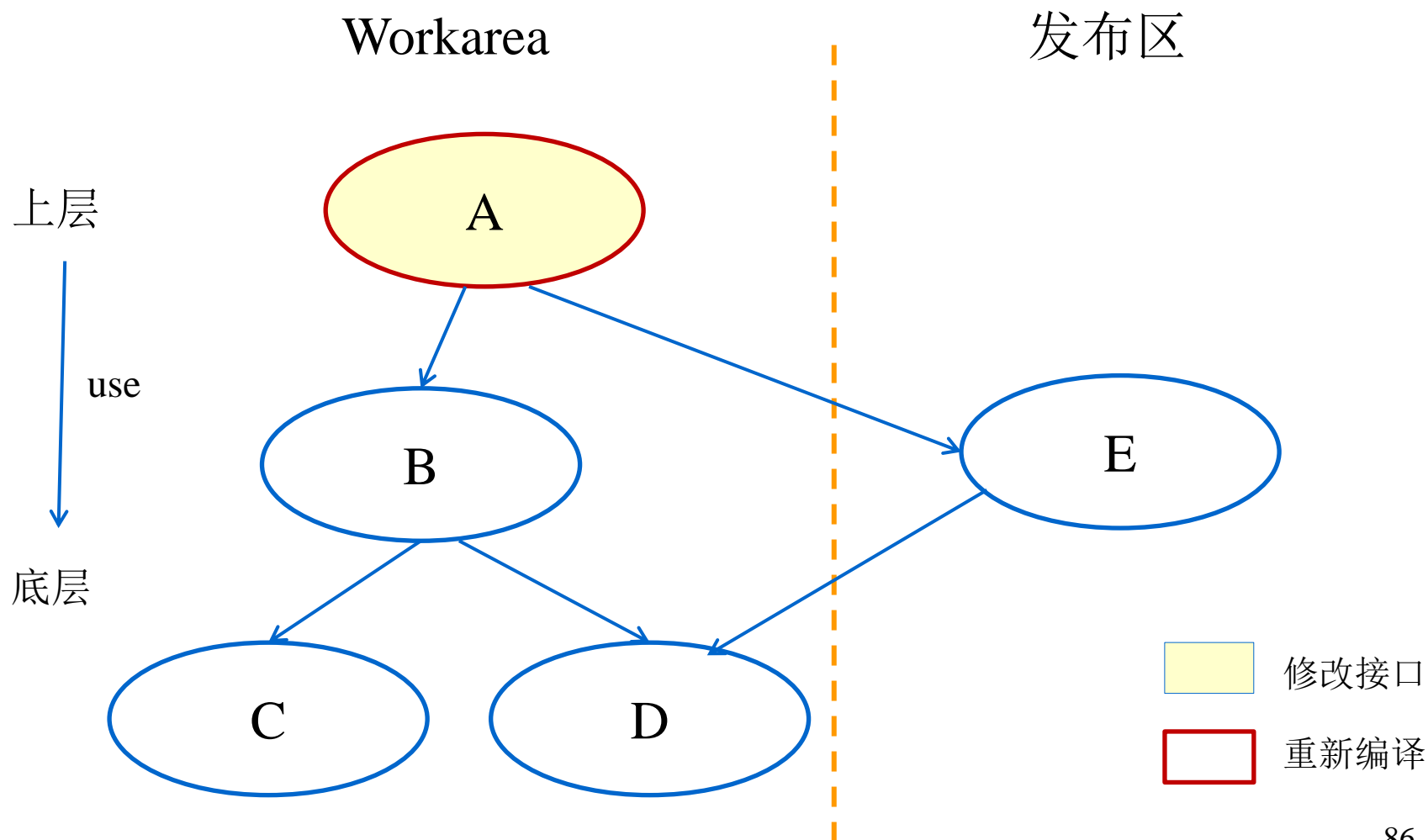
echo \$RHOPIALGROOT

```
[wulh@lxslc606 run]$ echo $RHOPIALGROOT
/afs/ihep.ac.cn/bes3/offline/Boss/7.0.2.p01/Analysis/Physics/RhopiAlg/RhopiAlg-00-00-23
```

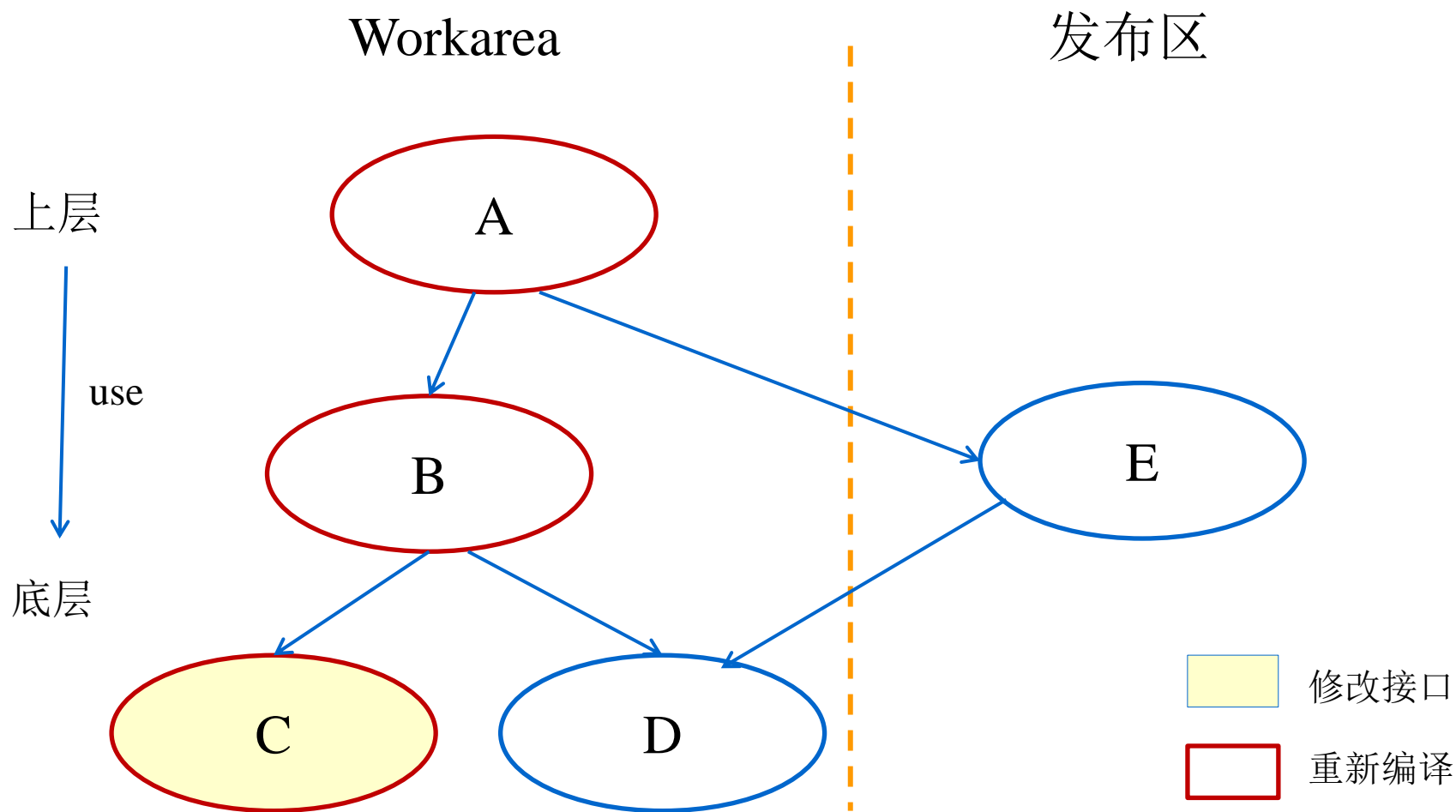
软件包的调用关系和修改编译



软件包的调用关系和修改编译

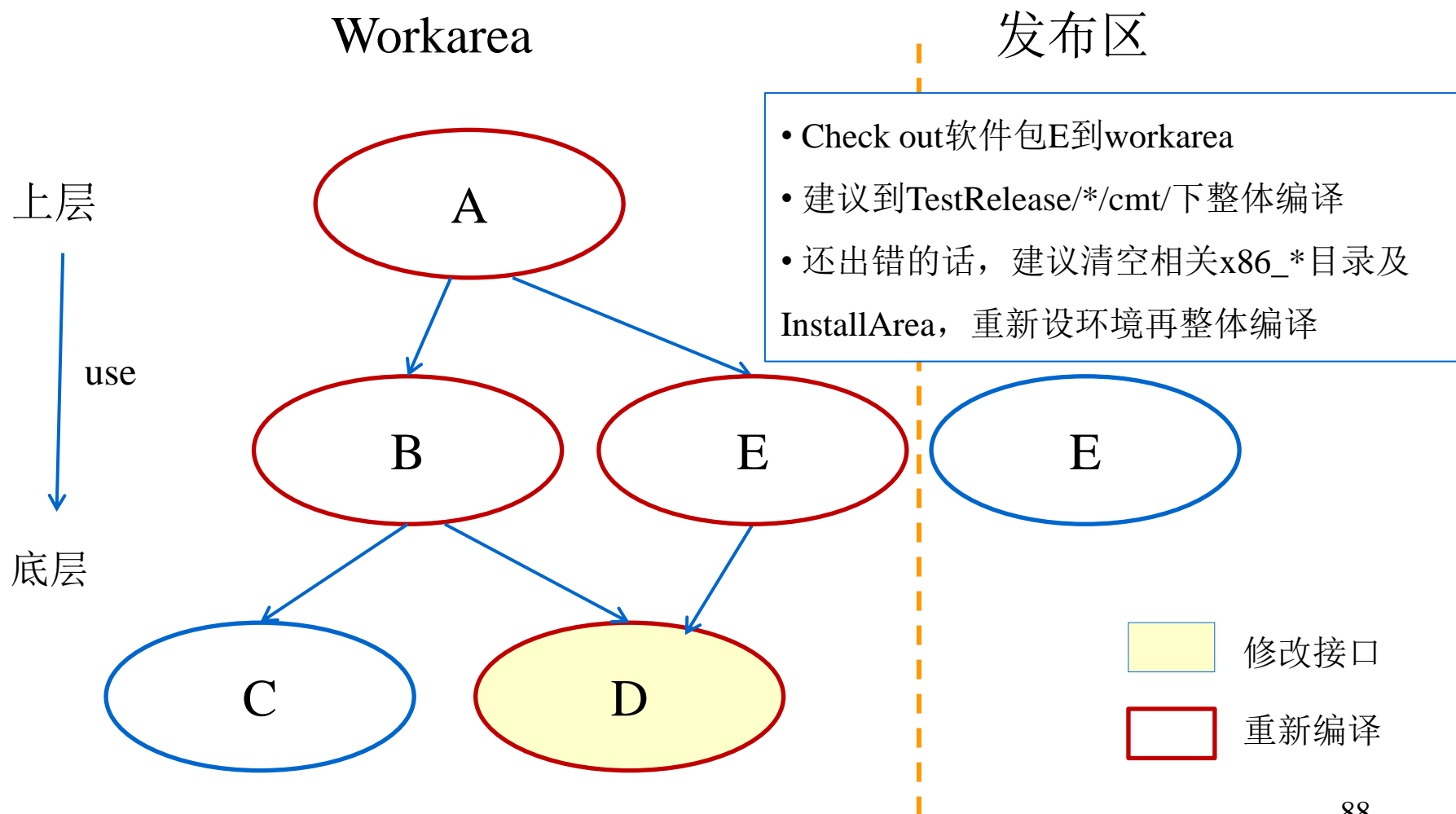


软件包的调用关系和修改编译



如果关联的包太多，建议到TestRelease/*/cmt/下整体编译

软件包的调用关系和修改编译



软件组网页

- http://docbes3.ihep.ac.cn/~offlinesoftware/index.php/Main_Page
- 有用的信息：
 - BOSS入门：Gaudi和CMT命令使用、设置环境及提交作业等
 - 各个Boss版本的release note
 - 读取DST和REC数据的接口列表
 - 模拟、重建、刻度、分析工具软件的相关文档
 - 原始数据的位置



The screenshot shows the 'Main Page' of the 'Offline Software Group' website. The page has a light blue header with the group name and navigation links (Page, Discussion, View source, History, Watch). A left sidebar contains a 'Main Menu' with links to Home, Getting Started, ReleaseNotes, Doxygen, and Documents, and a 'Software Guide' with links to Generator, Simulation, Calibration, Reconstruction, Analysis, Validation, and Event Display. The main content area features a 'Main Page' title, a co-ordinator link to Weidong LI, a paragraph about getting involved in software service work, a detailed paragraph about the BESIII Offline Software System (BOSS) and its components (Scientific Linux, CERN SLC, C++ language, GAUDI framework, CERNLIB, CLHEP, ROOT, Geant4, CMT, MySQL), and links to the BOSS software source code CVS repository for users inside and outside IHEP.

Offline Software Group

Page Discussion View source History Watch

Main Menu

- ▶ Home
- ▶ Getting Started
- ▶ ReleaseNotes
- ▶ Doxygen Documents

Software Guide

- ▶ Generator
- ▶ Simulation
- ▶ Calibration
- ▶ Reconstruction
- ▶ Analysis
- ▶ Validation
- ▶ Event Display

Database

- ▶ DatabaseSys

Main Page

Offline Software Co-ordinator: [Weidong LI](#)

If you are interested in getting involved in a software service work, please take a look at the ' [Service Work](#) ' .

The BESIII Offline Software System (BOSS) is developed on the operating system of Scientific Linux CERN (SLC), using C++ language and GAUDI framework. The software uses some external HEP libraries such as CERNLIB, CLHEP, ROOT, Geant4 etc. The CMT is used as the software configuration management tool. MYSQL is used as database server. Please take a look at the '[Links to External Software](#)' for more information.

BOSS software source code CVS repository:
for users inside IHEP, [click here](#)
for users outside IHEP, [click here](#)

各类数据文件(1)

- 原始实验数据 (Data)

- 实验中探测器记录的原始数据

- 如: run_0008093_All_file040_SFO-1.raw

- 文件位置可查看

- 软件组网页 → Raw Data

- Skim raw data命令

- raw_evt_filter.exe {事例号文件} {母文件}

- 例如: raw_evt_filter.exe run34011.txt

- “/bes3fs/offline/data/raw/round07/131210/run_0034011_All_file*.raw”

- 事例号文件包含2列: run号、事例号

各类数据文件(2)

- 模拟产生的事例样本 (MC sample)

如: `jpsi_round001_run10236_file10.rtraw`

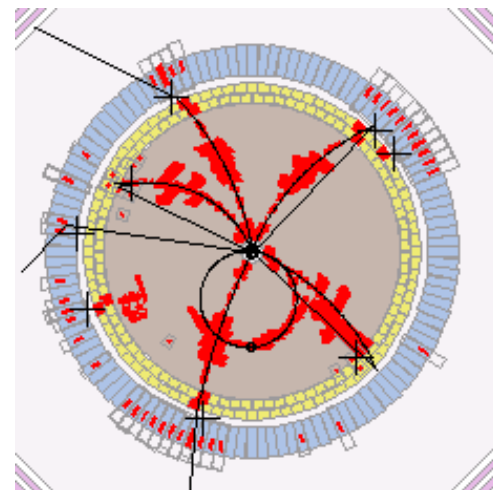
- 重建数据

- Dst数据

- 只包含对物理分析有用的重建后的信息，如track信息

- Rec数据

- 包含：探测器原始信息，重建后的track及hit信息

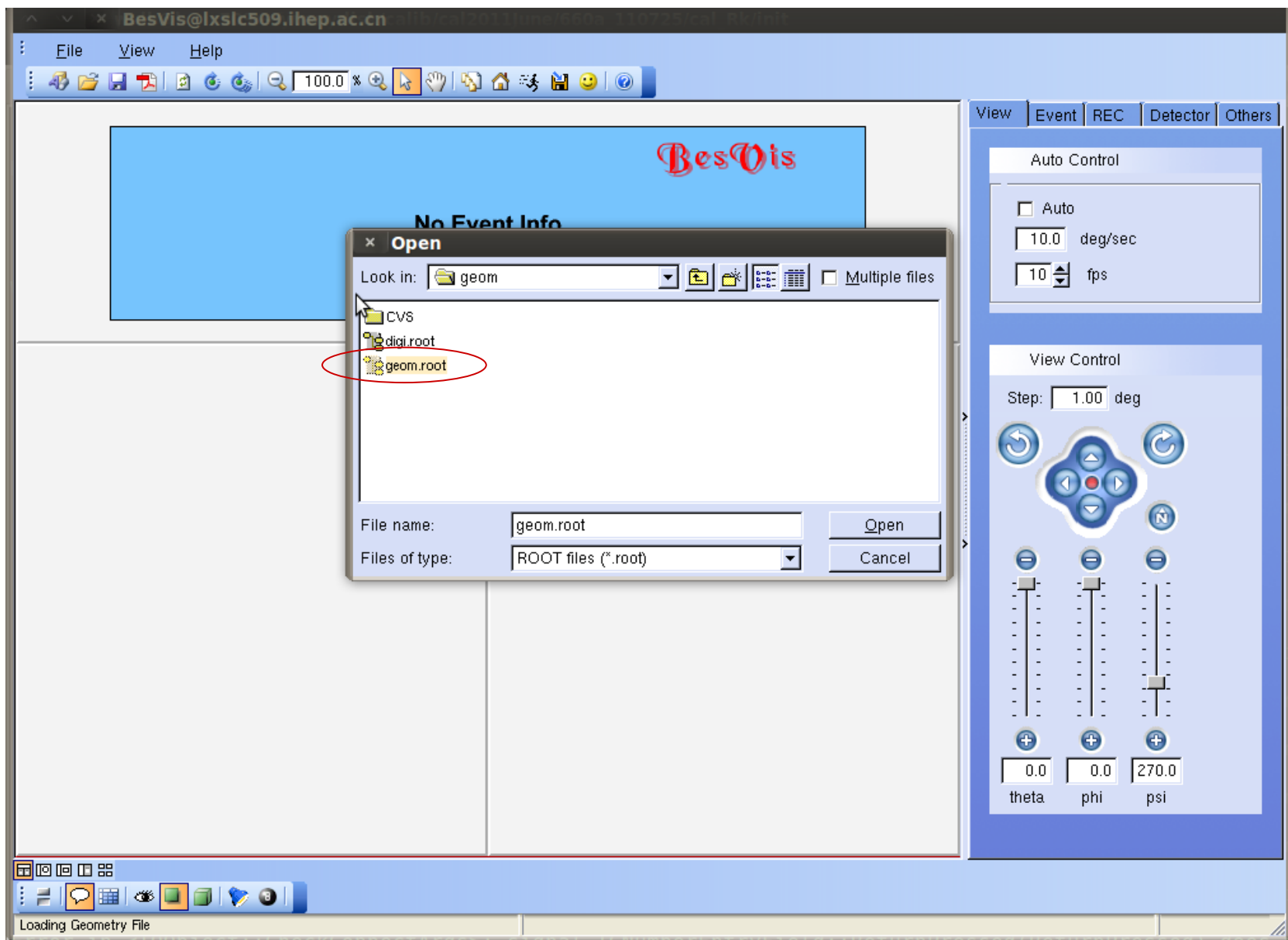


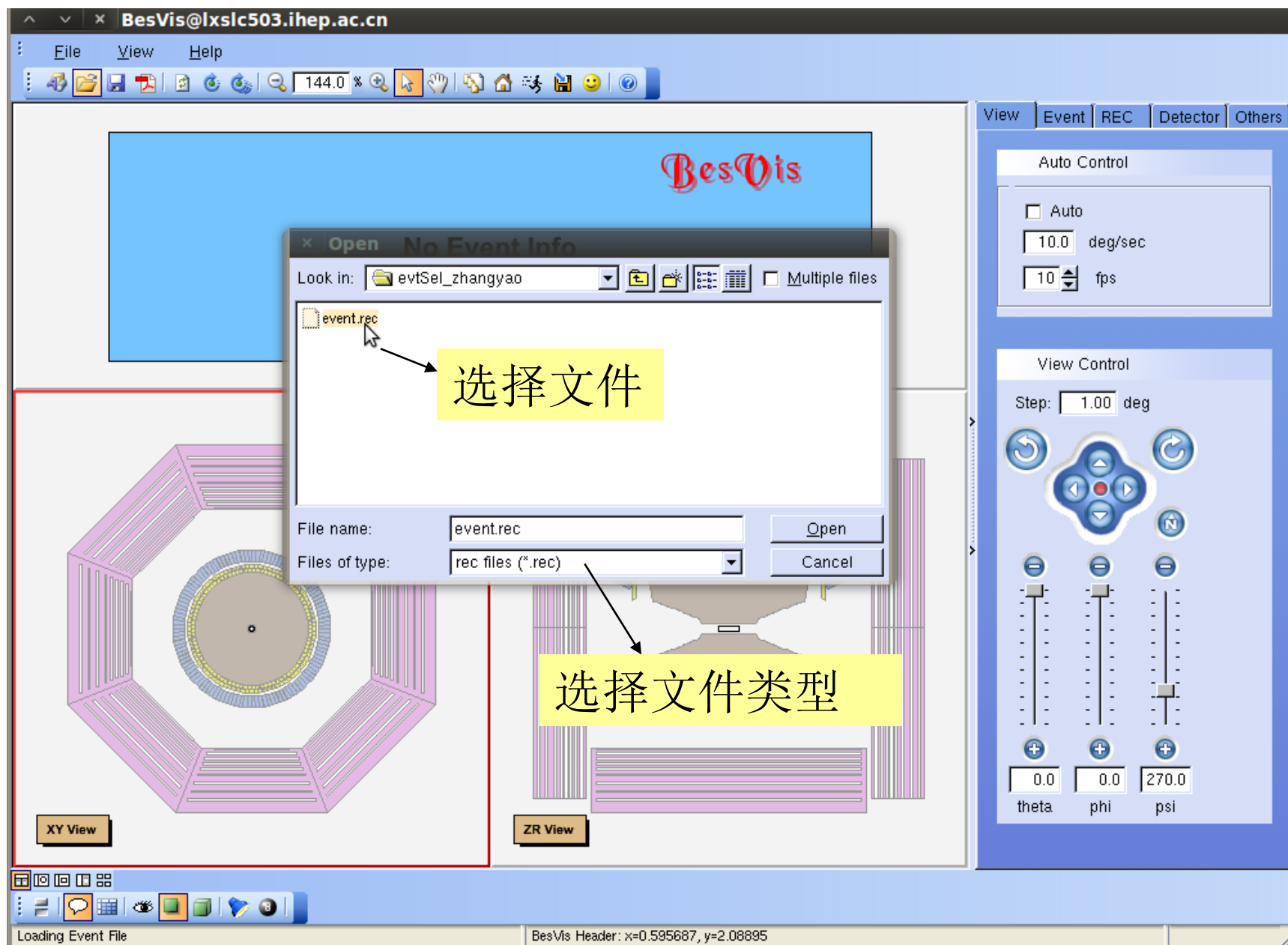
总结

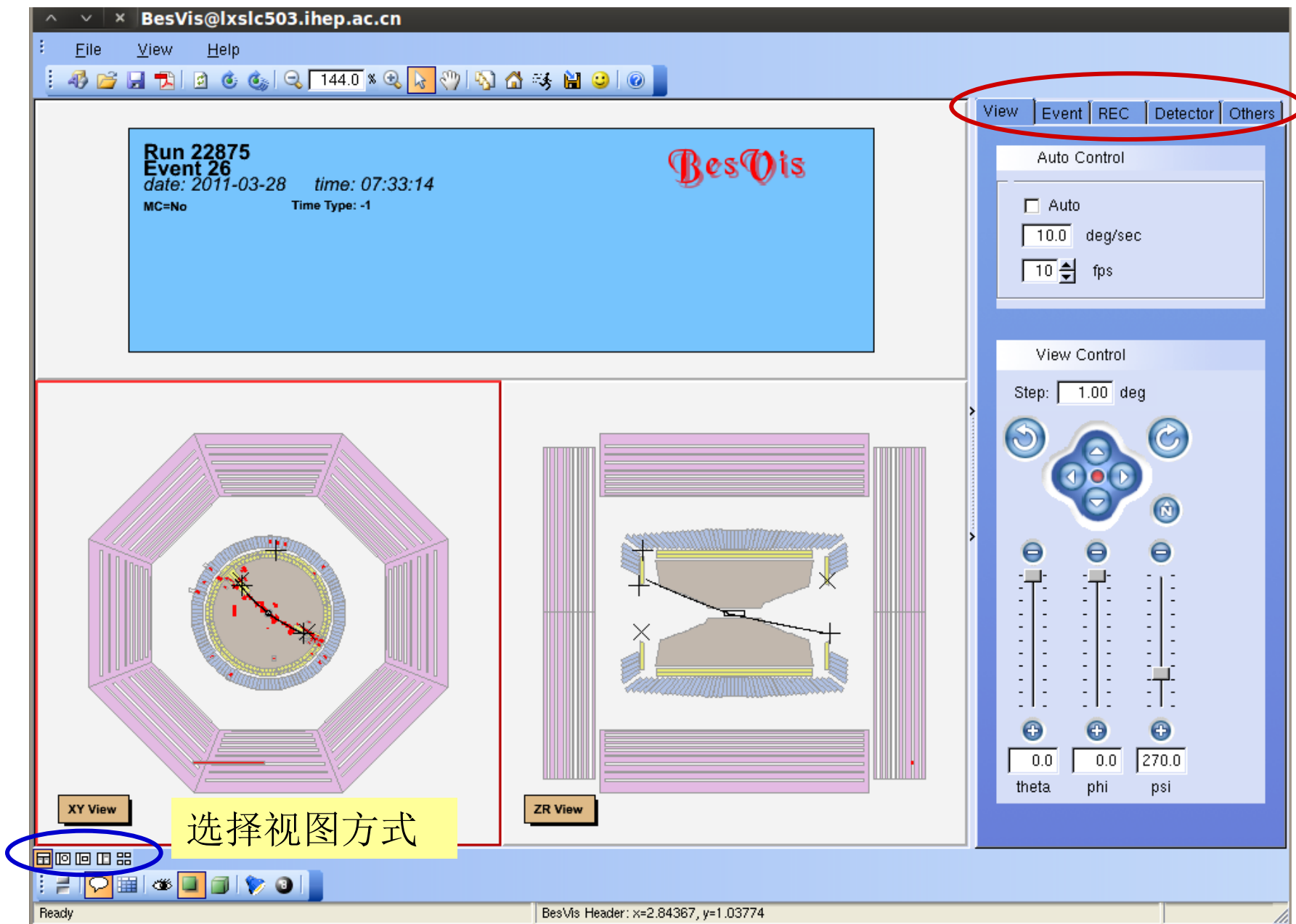
- 探测器原始数据经过离线数据处理，转换成物理分析可用的数据
- 离线数据分析包含三大部分：重建、刻度、模拟
- 离线软件的性能直接影响探测器的最终性能

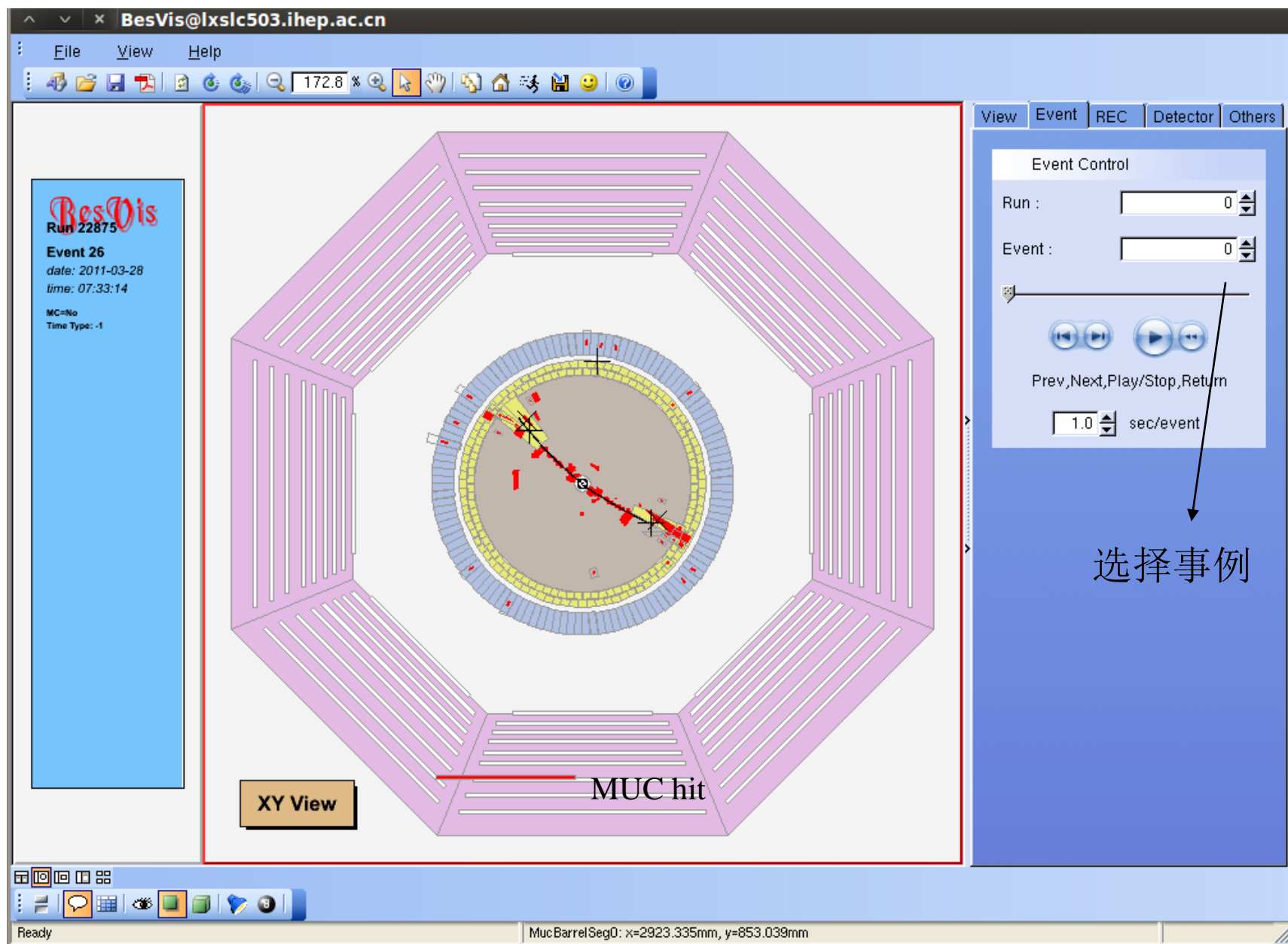
事例显示

- 目的
 - 直观地显示每个事例中各子探测器的情况以及重建后的径迹，帮助查找问题。
- 运行步骤
 - 设置BOSS环境后，输入命令besvis.exe
 - 加载探测器几何文件：选择geom.root，单击“open”
 - 打开需要进行事例显示的文件：通过左上角小图标或File菜单进入选择文件的窗口
 - 通过工具栏选择合适的显示方式
 - 通过左下角工具条选择合适的视图
 - 上方工具栏可设置显示比例等
 - 右侧工具栏可选择事例号、子探测器等
- 目前可以用于事例显示的文件类型：*.rec, *.rtraw









选择事例

