

BESIII 在线事例选择流程控制

汤睿¹⁾ 刘英杰²⁾ 曾云¹⁾ 马秋梅²⁾ 马想²⁾ 王大勇²⁾ 邓子艳²⁾ 尤郑昀³⁾ 毛泽普²⁾ 文硕频²⁾ 王喆²⁾ 刘怀民²⁾ 李卫东²⁾ 张长春²⁾ 邱进发²⁾ 何苗²⁾ 张学尧⁴⁾ 张晓梅²⁾ 张瑶⁴⁾ 郑直²⁾ 冒亚军³⁾ 俞国威²⁾ 夏宇¹⁾ 袁野²⁾ 黄性涛⁴⁾ 蒋林立⁵⁾ 臧石磊²⁾

- 1 (湖南大学应用物理系 长沙 410082)
- 2 (中国科学院高能物理研究所 北京 100049)
- 3 (北京大学物理学院技术物理系 北京 100871)
- 4 (山东大学 济南 250100)
- 5 (中国科技大学 合肥 230026)

摘要 北京正负电子对撞机 BEPC II 上的北京谱仪 BESIII 正在建造之中, BESIII 在线数据获取系统的事例筛选将使用软件的方法进行实时事例选择, 把事例率降低到 ~ 3 kHz 以下。遵循尽可能重用 BESIII 离线数据处理软件的原则, 根据在线事例选择的要求, 开发了 BESIII 事例选择流程控制软件。初步测试表明事例选择流程控制软件可以成功地和数据获取系统集成, 并且满足 BESIII 实验的基本要求。

关键词 BESIII 在线事例筛选 事例选择 Gaudi 流程控制

1. 引言

北京正负电子对撞机 (BEPC: Beijing Electron-Positron Collider) 是我国自行建造的一个大型高能物理实验装置, 主要用于 τ -粲物理的研究。北京谱仪 (BES: BEijing Spectrometer) 是安置在北京正负电子对撞机上的一台大型通用磁谱仪[1], 用于探测 BEPC 产生的终态粒子, 从而研究基本粒子性能以及相互作用的规律。目前, 高能物理研究所正在进行 BEPC II / BESIII 升级改造[2], BEPC II / BESIII 计划在 2007 年正式运行。升级之后, BEPC II 的亮度将较之 BEPC 提高约 100 倍, 在 J/ψ 能量点达到 $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ 。为配合 BEPC II 的高亮度, BESIII 的触发判选系统、在线数据获取系统、离线数据处理系统和探测器系统都将采用全新的技术。新的北京谱仪 BESIII 将具有更优的探测性能, 更好的动量、能量、空间、和时间分辨, 更强的粒子鉴别能力, 以及高速获取和处理数据的能力。

2. 触发判选和在线事例筛选

BEPC II 采用双环方案, 束团间隔为 8 ns。在设计亮度上取数运行时, 事例率将高达 10^7 Hz。为了能将感兴趣的物理事例记录下来, 整个事例选择设计为二级。第一级为硬件触发。即触发判选系统 (Trigger System) 利用快速的电子学硬件进行实时的事例选择, 将事例率压缩到 ~ 4 kHz 左右。第二级为在线事例筛选 (Online Event Filter)。它利用运行在计算机集群上的程序, 对通过一级触发的事例进行进一步选择, 使得最后记录的事例率降低为 ~ 3 kHz。

¹⁾ E-mail: tangr@mail.ihep.ac.cn

触发判选和事例筛选的过程如下：触发判选系统对一个事例进行判选期间，来自探测器的所有信号将存储在前端流水线式缓存器中。如果没有通过第一级触发，该事例将被丢弃；如果通过了第一级触发，该事例的所有信号将被移入读出缓冲器中。在线数据流程序将收集存储在不同读出缓冲器中的事例片断，并把它们组装成一个完整的事例数据。然后在线事例筛选利用软件的方法对该事例数据进行处理和选择，排除部分本底事例，从而进一步降低事例率。与硬件触发判选相比，事例筛选可以采用更为灵活和复杂的算法，如主漂移室的快速径迹重建[3]、电磁量能器簇射团的快速寻找等。为了实现快速排除本底事例，在线事例筛选的事例选择部分应该分多步进行的。每一步结束时，运算结果都会和触发表中选择条件进行比较。如果条件满足，会进行下一步的计算，否则该事例会被当作本底排除。当所有步骤的结果都和触发表中的选择条件符合后，该事例会被当作好的物理事例记录在存储介质中。

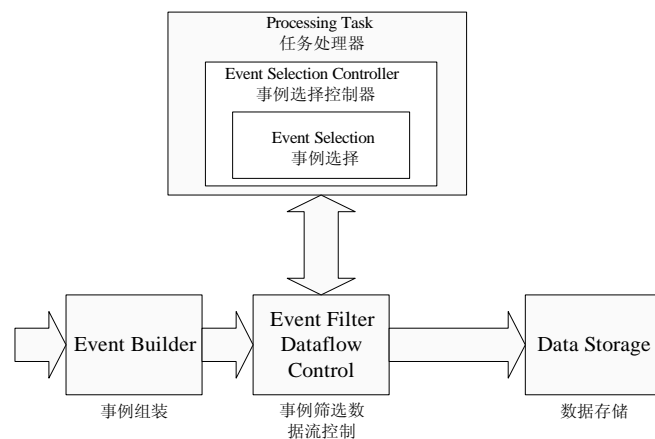


图 1 BESIII 在线事例筛选结构示意图

如图 1 所示，在线事例筛选主要由事例筛选数据流控制程序（Event Filter Data Flow Control）、任务处理器（Processing Task）两个部分组成。事例选择会被任务处理器调用来处理 and 选择事例。

3. 在线事例选择流程控制的需求

BESIII 离线数据处理是基于底层软件 Gaudi（Gaudi 是一个高能物理实验数据处理的通用软件框架）[4] 开发的。根据国外高能物理实验的经验，在线事例选择和离线数据处理应该使用同一软件框架。这样可以实现软件的最大程度的重用，减少研发成本和提高软件系统的可维护性。同时，使用同一软件框架还有以下两方面原因：其一，这是在线事例选择软件所需要的。在线事例选择软件需要一个离线运行环境进行开发、测试和性能优化（例如提高事例选择效率和程序运行速度等）。其二，BESIII 离线数据处理需要运行在线事例选择软件来筛选 M.C. 模拟事例，以保证物理学家在从事数据分析时得到正确的事例选择效率，从而得到正确的衰变道分支比测量。

和离线数据处理相比，在线事例选择还有一些特殊的需求，在它的流程控制软件设计时应加以考虑。在线事例选择的根本目标是根据事例的主要物理特征来决定是否要记录或丢弃事例，而不是精确地重建事例的所有物理量。同时在线事例选择是一个实时系统，事例选择花费的时间应该尽量短。这不仅需要算法本身要快速，而且整个事例选择要分成多步进行。根据每一步的运行结果来判断事例是否是本底。如果是本底，该事例将被马上丢弃；如果不是，再进行下一步的运算和判断，直至所有的步骤都完成。另外，在线事例选择是事例驱动的。如果有组装好的事例，系统就进行处理；如果没有，事例选择进程或线程会转入休眠状

态。而且实际取数运行的时候，事例选择的标准必须能随实验条件的变化而改变。例如对撞实验的本底突然增加或出现大片“假信号”的情况会造成事例率超出能接受的范围，这时事例选择的条件应该能够很容易被修改。为了进一步降低事例率，对于一些认识非常清楚的物理事例（如 Bhabha 事例和双 μ 事例）要求能够预定标取数。所有这些都导致在线事例选择的流程控制比离线的流程控制要复杂得多。

4. 在线事例选择流程控制的设计和实现

在线事例选择的主要任务是选择感兴趣的物理事例，在系统的计算能力允许的情况下，还可以对事例进行分类。从结构上看，在线事例选择主要由事例选择框架和快速重建算法组成。事例选择框架为快速重建算法提供了一个软件环境，它主要包括探测器的几何描述、事例数据模型、数据对象的管理和事例选择流程控制等部分。

通过重用基于 Gaudi 的离线数据处理的软件框架，在线事例选择可以重用离线系统的探测器的几何描述、事例数据模型、数据对象的管理。同时，根据 Gaudi 提供的数据管理和流程控制机制，可以实现以下用例（Use Case）：在程序的初始化阶段，探测器几何服务从在线系统的数据库或文件中读入探测器的几何数据；同时快速重建算法读入配置数据，然后完成可调参数的设定。在程序运行时，快速重建算法通过特定的接口获取事例数据模型定义的事例数据和探测器的几何数据，并进行事例重建。而快速重建算法间的数据交换可以通过数据管理服务进行。快速重建算法通过数据管理服务把生成数据对象存入内存数据仓库，下游的算法同样通过数据管理服务将原先存入内存数据仓库的数据对象取出。这样，间接实现了算法间的数据传递。在程序结束时，程序将释放占用的内存。

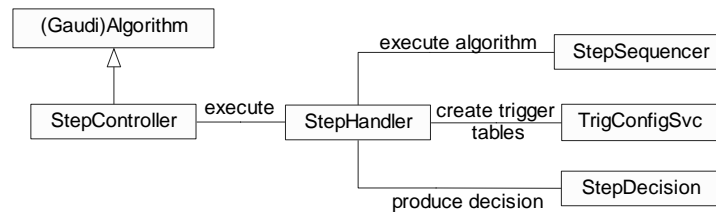


图 2 事例选择流程控制类图

事例选择的流程控制部分的主要功能是在在线环境下，通过分步骤地和动态地调用快速重建算法，获得具有一定物理特征的抽象对象；然后把得到的物理特征对象和事例选择标准进行比较后，给出判断结果，告诉任务管理器是否保留该事例。

事例选择流程控制的概念设计来自 ATLAS 实验[5]的软件触发系统[6]。由于 ATLAS 实验软件触发系统分为多级，并采用“种子”机制，同时事例选择的逻辑和标准又极为复杂，所以在软件模块设计和实现时，我们无法照搬，只能利用了一些基本的概念和思想。在线事例选择又称软件触发，所以在下面的图和文字描述中，我们也用触发（Trigger 的缩写 Trig）来表示事例选择。

事例选择流程控制软件主要包括流程控制器 SteeringController、分步处理器 StepHandler、分步算法序列器 StepSequencer，分步决策器 StepDecision 和配置服务 TrigConfigSvc 五个软件实体。它们之间的关系如图 2 所示。流程控制器是事例选择流程控制软件的顶层模块，它是 Gaudi 算法基类（Algorithm）的一个派生类。在初始化阶段，它负责创建分步处理器；在每个事例的处理过程中，由它来调用分步处理器作具体的运算。在处理一个新的事例之前，它还会清除上一个事例的一些缓存数据。分步处理器是一个主要的功能模块，它在初始化阶段创建分步算法序列器和分步决策器，并通过配置服务对这两个实

例进行初始化。在每个事例的处理过程中，分步处理器将依次从配置服务中取出一个算法序列（由一个或几个算法组成），并调用它们。每次调用得到的运算结果都会被传递给分步决策器。把算法的运算结果和事例的预期物理特征进行比较后，分步决策器会决定分步处理器是否要运行配置服务中的下一个算法序列。如果分步决策器得出事例选择条件不满足的结论，该事例选择过程就结束了。否则所有算法序列都会被执行。

配置服务主要为分步处理器提供重建算法和事例选择条件，配置服务以及相关数据类如图 3 所示。对应于事例选择的每一步，配置服务都为分步处理器提供一个算法序列和一个事例选择条件表。而算法序列和事例选择条件表分别由算法序列以及物理特征组成。算法序列生成触发对象（TriggerObject），该对象包含的信息将被用来和触发条件进行比较。对于触发对象，主漂移室和量能器分别有相应的主漂移室触发对象和量能器触发对象。同样对于触发条件，主漂移室和量能器也分别有各自的触发条件。如果需要主漂移室和量能器的匹配信息，可以使用包含两个子探测器信息的联合触发对象和联合触发条件。

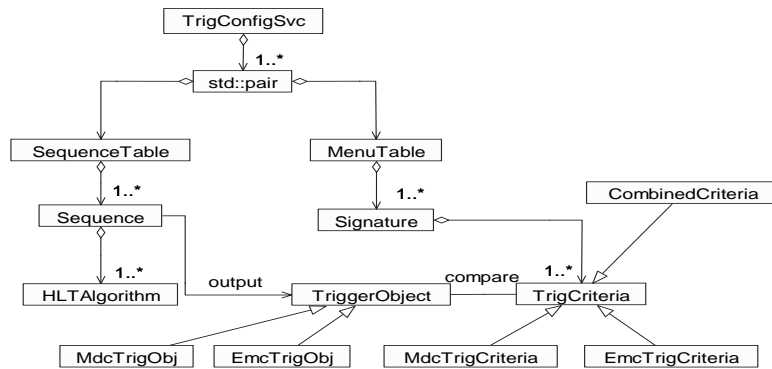


图 3 配置服务以及相关的数据类

配置服务初始化时，将打开两个指定的两个 XML 文件，并用 XERCES-C++ 的 XML 解析器对 XML 文件内容进行解析，读取的数据用来生成算法序列和事例选择条件表。在 BESIII 运行取数时，在线数据获取系统会统一管理 XML 配置文件。用户可以通过图形界面，实现事例选择算法和选择条件的灵活配置。

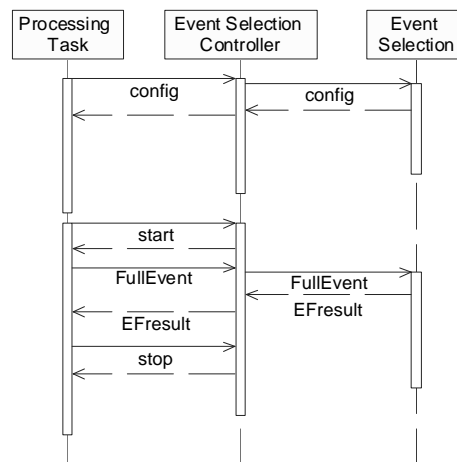


图 4 事例选择控制器、任务处理器和事例选择之间的消息传递

事例选择控制器（Event Selection Controller）是一个接口模块，它将事例选择和事

例筛选的任务处理器结合在一起。事例选择控制器、任务处理器和事例选择间的相互作用如图 4 所示。任务处理器根据系统状态来配置，启动，停止事例选择控制器。事例选择通过在线数据库获得探测器常数和可调参数数据来进行初始化。开始状态是任务处理器的工作状态，它将接收的每个事例交给事例选择控制器。事例选择控制器把任务处理器传入的完整事例转交事例选择处理，随后将处理的结果和状态信息返回给任务处理器。任务处理器再根据处理结果决定是否记录该事例。在停止状态，任务处理器会终止事例选择的进行，同时产生运行结束信息。

从图 4 我们可以看出，事例选择控制器连接在线数据流软件和基于 Gaudi 的事例选择软件，在线事例筛选的任务处理器通过事例选择控制器来控制事例选择的整个过程。同时，事例选择控制器也为事例选择提供了和离线数据处理类似的运行环境。由于事例选择控制器的存在，基于 Gaudi 的离线数据处理系统中开发的事例选择流程控制和算法，不需要经过任何改动就能放入在线系统中测试和运行。

5. 初步测试结果

事例选择流程控制的测试首先从离线环境开始。我们在离线环境中编译了事例选择流程控制软件（主要包括流程控制器、分步处理器、分步算法序列器、分步决策器和配置服务），并生成相应的动态装载库。在离线环境中运行时，使用 Gaudi 的作业选项（JobOptions）文件指定算法列表和事例选择条件表需要的两个 XML 配置文件名。同时，我们放入了假算法和假事例选择条件。我们通过检查 Gaudi 消息服务（Message Service）的输出信息，验证了程序执行顺序和调用关系是正确的，而且得到了预期的程序运行结果。

完成了离线环境中的测试后，我们把事例选择流程控制软件移入在线数据获取系统，在在线环境中进行进一步的集成测试。虽然在线数据获取系统和离线数据处理系统都使用相同版本的 gcc 编译器，但是由于和编译相关的一些 CMT[7]宏定义的冲突，难以实现对原代码的联合编译。为了解决这个难题，我们把事例选择流程控制软件进行单独编译生成动态装载库。然后以外部软件库的形式提供给在线软件的编译和连接使用。这一方法能够成功地编译两个不同环境下开发的源代码。进一步的测试表明，事例选择流程控制能够被在线数据获取系统调用，并能成功运行。

BESIII 原始数据的管理已在[8]中进行了详细的描述，快速重建算法是通过数据管理获得原始数据对象。我们对这部分软件进行了改造，使之能为离线数据处理系统和在线数据获取系统所共用。在两个环境中运行的唯一差别在于：离线模式下原始数据来源于数据文件，而在线模式下，原始数据由在线任务处理器传入。加入了 BESIII 原始数据管理后，事例选择框架已经比较完善，测试表明原始数据管理以及相关的数据传递都能正常工作。

下一步的测试应该包括事例选择框架的长时间不间断运行测试，以及加入快速重建算法后进行的完整系统测试，从而进一步验证系统的可靠性。

6. 结论

基于 Gaudi 的离线环境中开发的 BESIII 在线事例选择流程控制和事例选择框架能够成功地运行于在线数据获取系统，从而实现了在线事例选择和离线数据处理最大程度地共享软件的目标。

有友好的离线环境作为依托，开发人员可以方便地开发和调试快速重建算法；完成离线环境下的调试以后，无需任何改动就可以将快速重建算法移入在线实时环境中进行进一步的测试，从而大大地提高软件研发的速度。

另一方面，在线快速重建算法也可以在离线数据处理的框架中运行，这样我们能够研究 BESIII 的事例选择是否存在偏差，以及确定事例选择的效率。所以在线快速重建算法能够在

离线和在线两个环境中运行有效地提高了软件系统的可维护性。

参 考 文 献

- [1] J. Z. Bai et al., The BES Detector, Nucl.Instrum.Meth.A344:319-334,1994
- [2] 北京正负电子对撞机重大改造工程初步设计- BESIII 探测器, 2003 年 11 月
- [3] 张晓梅等, 北京谱仪 III 主漂移室快速径迹重建系统, 核电子学与探测技术, Vol.25 No.6, 2005 年 11 月
- [4] G. Barrand et al., Gaudi-The Software Architecture and Framework for Building HEP Data Processing Applications, Comput.Phys.Commun.140:45-55,2001
- [5] ATLAS Collaboration, ATLAS: Technical proposal for a general-purpose pp experiment at the Large Hadron Collider at CERN
- [6] W. Wiedenmann et al, Studies for a common selection software environment in ATLAS : from the Level-2 Trigger to the offline reconstruction, IEEE Trans. Nucl. Sci. 51(2004) 915-20
- [7] C.Arnault, CMT: A Software Configuration Management Tool, CHEP 2000-Computing in High Energy and Nuclear Physics,692-695
- [8] 张晓梅等, 基于 GAUDI 的原始数据管理系统, 高能物理与核物理, 第 29 卷 12 期, 2005 年

The Flow Control for BESIII Event Selection

Tang Rui¹⁾ Liu Ying-Jie Ma Xiang MA Qiu-Mei Wang Da-Yong DENG Zi-Yan
YOU Zheng-Yun MAO Ze-Pu WEN Shuo-Pin WANG Zhe LIU Huai-Min TANG Rui
LI Wei-Dong ZHANG Chang-Chun QIU Jin-Fa HE Miao ZHANG Xue-Yao ZHANG
Xiao-Mei ZHANG Yao ZHENG Zhi Mao Ya-Jun XIA Yu YUAN Ye HUANG Xing-Tao
JIANG Lin-Li ZANG Shi-Lei

(Hunan University, Changsha 410082, P. R.China)

Abstract The BESIII is a general purpose experiment at BEPC II currently under construction in Beijing. The Event Filter of the BESIII DAQ performs real-time event selection using software method and reduces event rate to ~ 3 kHz. In order to share major software components with offline data processing, the flow control software for BESIII event selection has been implemented, based on requirements from control flow of event selection. The event selection flow control software has also been integrated with the data acquisition system and the preliminary test results show that it satisfies the basic requirements of the BESIII experiment.

Key words: BESIII, Online Event Filter, Event Selection, Gaudi, Software Framework

¹⁾ E-mail: tangr@mail.ihep.ac.cn