

XI. 北京谱仪在线数据获取系统

一、高能物理实验中在线数据获取系统的主要任务

二、北京谱仪在线数据获取系统的任务

三、北京谱仪在线数据获取系统的硬件配置

- 上位机部分的配置
- 前端机部分的配置

四、北京谱仪在线数据获取系统的软件构成

- 上位机部分逻辑和进程
- 前端机部分逻辑和任务

五、北京谱仪电子学刻度

六、北京谱仪(II)在线数据获取系统技术指标

- 北京谱仪(II)在线死时间的分布
- 北京谱仪(II)数据获取系统的特点

一、高能物理实验中在线数据获取系统的主要任务

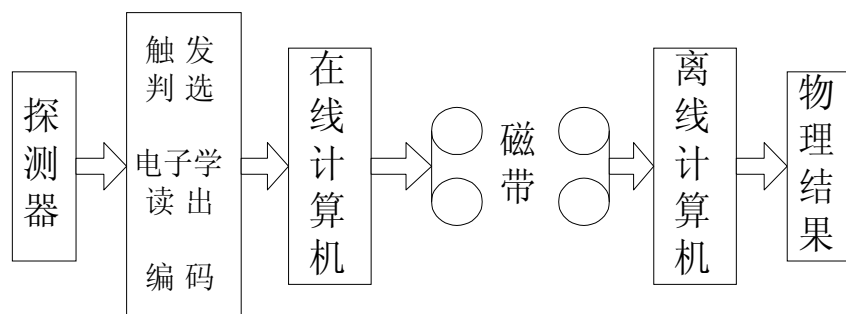
高能物理实验中在线数据获取系统的主要任务是收集分布于高能粒子作用点(对撞机的对撞点)周围空间的由甚多参数描述的微观世界信息。由于空间格点细度要求和需探测的单元数量大,需要大量的探测通道。

由大量单元构成的大型探测器,即微观世界信息的传感器,在有物理事例发生时给出的信息是物理事例在空间格点上表现出的特征的描述。因此,实验人员要花费大量的人力和物力,制造大量的电子学读出道,同时转换成数据。另外,在线系统数据获取量的大小还要取决于事例判选系统。以对撞机为例,每一次对撞都兼有感兴趣物理事例和非感兴趣本底事例,而且,在高能实验环境中感兴趣的事例的概率总是远远小于本底事例概率的。触发判选系统实际上是一个事例的过滤器,它不允许把感兴趣事例抛弃,也不希望把过多的非感兴趣事例保留下来。(关于触发判选系统有专人介绍)。因此,在线数据获取量的大小,也同时依赖于触发判选系统。

由此可见,目前高能物理数据获取系统通常有二项基本任务:

- 1) 数据记录.:把选中的物理事例数据读出记录到永久性介质上,留待离线处理和分析。
- 2) 数据获取过程监控:向实验人员提供实验进程的可视性服务,并对某些需控制的组分别提供控制。

图一给出了表示高能物理实验从数据获取到离线数据处理过程。



高能物理在线数据获取到离线数据处理原理框图

(A) 高能物理实验特点及对数据获取系统的要求

- 多路，海量（数据量大）。要求系统具有f分布，并行结构。

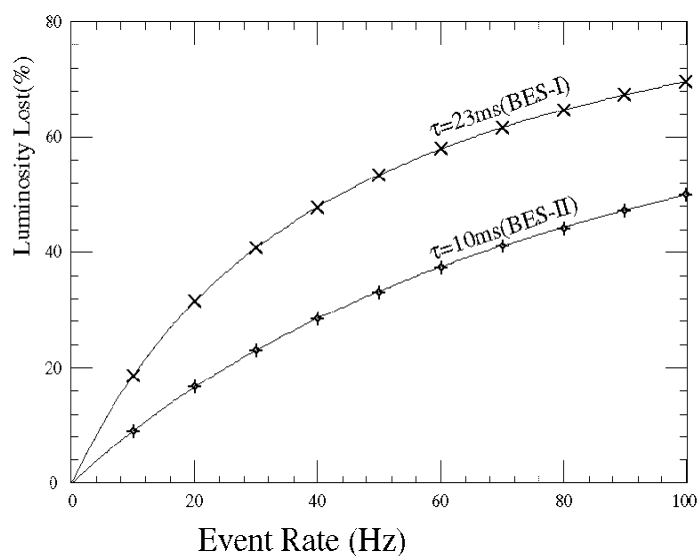
系 统	路 数	BADC/TDC 数
VC	640	7
MDC (T & Q)	3232+3232	6+6
TOF	336	3
BSC	6720	8
ESC	5520	6
MU	1520	2
BES-II	21200 (3 KB/evt)	31 BADC+7 TDC
BTCF	>70000 (15 KB/evt)	

- 随机性。 要求系统具有多级缓冲。

(B) 数据获取系统死时间

要增强数据获取的能力，需确保数据获取系统的死时间最小，以达到最大的物理亮度，或者说使由于系统死时间造成的亮度损失最小。

可以估计出由于系统死时间造成的亮度损失。



不同死时间条件下亮度损失

τ : 系统死时间, 即系统完成数据转换, 获取和记录所需要的时间。实际系统中即为触发系统给出好事例信号到在线系统给出还原信号之间的时间。

R_0 : 事例产生率。

R : 实际触发率。

由 $R_0(1-R\tau) = R$, 得亮度损失, 即死时间占总时间的比例为:

$$R\tau = R_0\tau / (1 + R_0\tau)$$

当触发率为 15 Hz 时, 亮度损失由 $23\text{ms} \times 15\text{Hz} = 34.5\%$ 下降到 $10\text{ms} \times 15\text{Hz} = 15\%$ 。

二. 北京谱仪在线数据获取系统的任务

北京谱仪(BES-II)是工作在北京正负电子对撞机(BEPC)第一对撞点上的一个大型高能物理实验探测器。它由顶点室(VC)、主漂移室(MDC)、飞行时间计数器(TOF)、 μ 子鉴别器(MUON)、簇射计数器(SC)、亮度探测器(LUM)、电子学读出(ELCOUT), 触发判选(TRIGGER)和在线数据获取及分析(ONLINE)系统组成, 用来观察电子对撞时的物理现象, 研究其反应产生的高能粒子及衰变特性, 从而进一步了解微观世界的结构。

BES在线数据获取系统的任务就是利用计算机完成经过触发判选后, 有效事例数据的获取、分析与记录, 同时完成监测探测器和电子学系统的运行状态以及记录 BEPC 状态参数的任务。

BES和BES-II系统比较如下

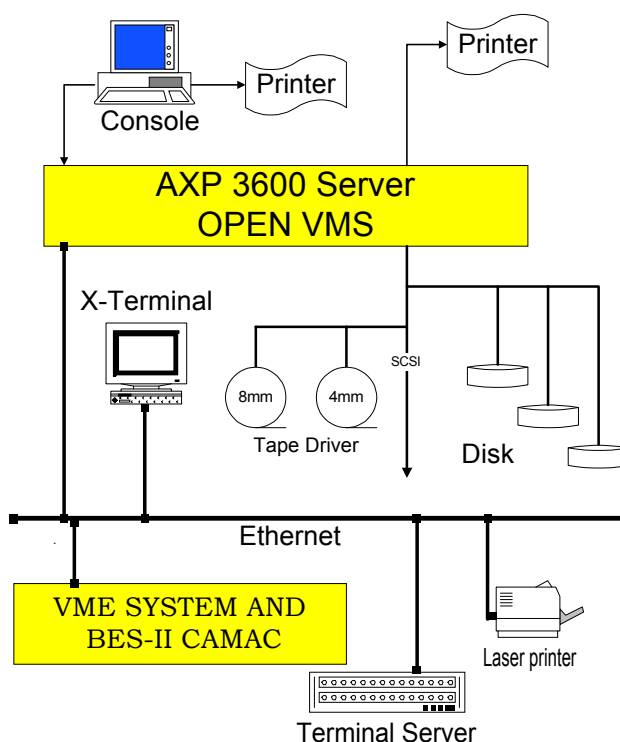
比较内容	BES	BES-II
结构	单CPU, 串行结构, 多进程	多CPU, 并行结构, 多进程
中断响应	VAX响应中断, 加载取数命令到VCC。8-13ms	VCBD直接处理。 80 μ s
数据传输	串行读出。 6.5 μ s $\times$ 1.5KLW=10ms	并行读出。 3.9 μ s $\times$ 0.5KLW=2ms/evt
事例缓冲	无	VCBD 4 个 BUFFER.

三，北京谱仪在线数据获取系统的硬件配制

1、上位机部分的配置

BES在线系统由一台CPU能力为100MIPs的ALPHA_3600s计算机作为上位机，其操作系统为OpenVMS，它的主要任务是完成在线数据获取系统各进程的调度，控制整个在线数据获取系统的运行，其前端机是由上位机通过网络发送命令进行控制的。

ALPHA_3600s计算机配有96Mb内存，硬盘容量为3×1+4Gb，一台4mm磁带机用于系统备份，另外还可以通过SCSI口再接一台8mm磁带机备用。一台X_终端(DEC2000+)用于人机对话、状态显示及各种错误信息显示的窗口，以及刻度图形显示。两台TEK4000系列彩色屏幕终端供在线事例、直方图和亮度图形显示使用。控制台上的终端作为刻度及高压操作终端。

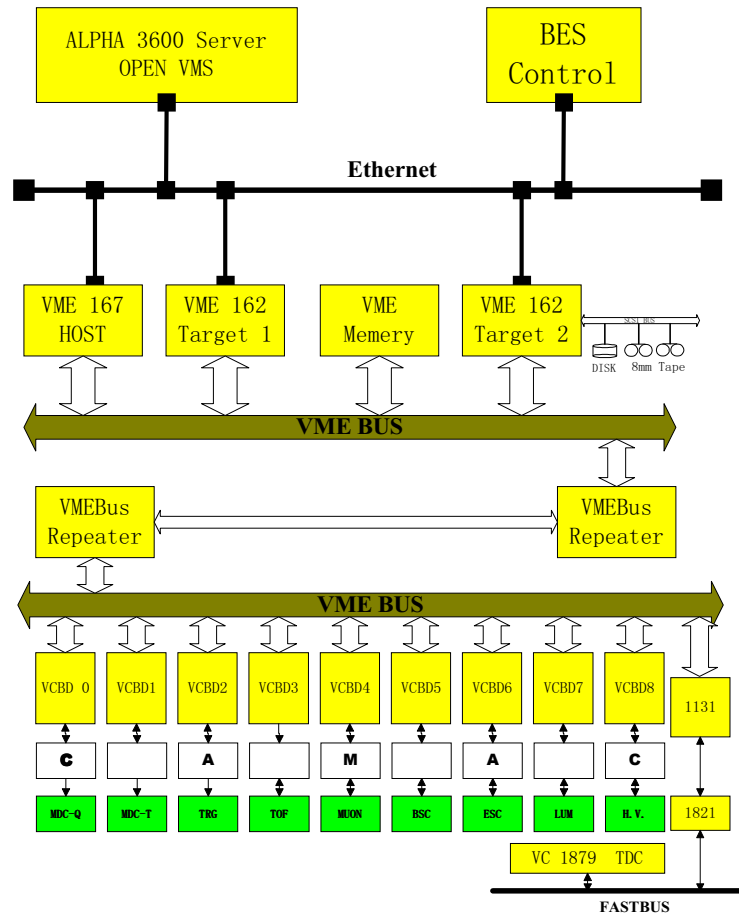


北京谱仪在线系统硬件配置图

2、前端机部分的配置

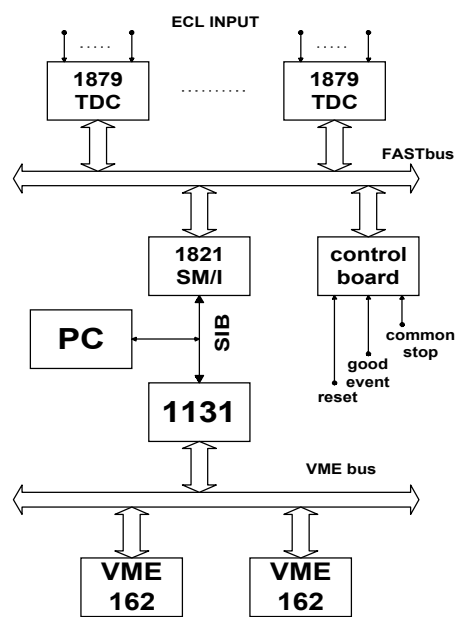
前端部分是一套 VME-CAMAC-FASTbus 混合系统，除顶点探测器子系统是利用 FASTbus 标准，其它子系统都采用 VME—CAMAC Branch Driver 结构，利用 VME 的分布智能和并行处理能力，实现对各 CAMAC 分支及 FB 分支的驱动和高速数据通讯。在 VME 机箱中建立多个智能化 CAMAC 分支驱动器（VCBD）。VCBD 中设有数据缓冲存储器，能暂存四个事例的数据，这样各分支读完 BADC 及 TDC 的数据后

不必等待传送到 VME 即可发出还原信号还原 CAMAC 系统，减少了事例读出的死时间。VME 通过 VME_SIB 接口板 1131 控制 FB 分支的数据获取。1131 也具有数据缓冲存储器，1821 FB 控制器控制和读取 1879 TDC 数据，经 SIB 口将数据暂存在 1131 缓冲区。VCBD 以中断响应的方式读取该分支内各 BADC 的数据，这样数据获取系统就能实现快速响应和多分支并行读出，事例读出的死时间由原来的 23ms 减少到 10ms 以内。以 VME 162 作为 VME 机箱的系统插件，控制进程调度、装配事例数据、协调其它 VME 插件的工作，并利用网络端口与上位机 ALPHA 进行数据交换。另外一个 VME 162 负责利用网络端口将事例数据记录到磁盘、抽样送上位机分



析，同时利用SCSI接口记录到8mm磁带机上。VME系统软件选用Motorola公司推出的VMEexec实时软件开发运行环境研制。

顶点探测器数据获取系统硬件结构见右图。用于时间测量的电子学系统采用快总线标准。其电子学共用7个快总线标准的1879 TDC。1879 TDC有96路ECL信号输入。TDC由移位寄存器采用流水方式记录时间信息，可测量多次击中各信号的前沿和后沿时间。量程设置为1 μ s。相应最小时间单位为2ns，另外还有1-bit为停止信号到来时时钟相位的信息，该信息对应最小时间单位1ns。1821快总线控制器控制和读写快总线系统。它可以执行快总线协议的所有操作



顶点探测器硬件结构

指令。对快总线的操作由64-bit微码构成。1821还提供几种与控制机的接口方式。在顶点数据获取系统中，1821 SIB (Standard Interface Bus) 由VME-SIB接口板1131与VME系统相联。1131为VME 6U, A24/D16, D08标准插件，具有数据缓存功能，1131还提供DMA读取1821的功能。1131是一种被动VME插件 (SLAVE)，不具有中断功能，所有对1131 SIB口的控制指令都对应VME系统的地址位。

1821对1879寻址采用快总线标准中的一种地址选择方式，广播方式。读出采用数据压缩扫描方式，即只有时间数据的TDC才被读出。

四，北京谱仪在线系统的软件结构

1、上位机部分逻辑和进程

北京谱仪数据获取系统在上位机分成10个独立运行的作业进程，在OPEN/VMS操作系统的环境下运行。这10个进程分别是命令进程（AVTEX）、前台进程（FOREGRND）、后台进程（BACKGRND）、报错进程（LOGERR）、状态显示进程（RUNMSG）、绘图进程（VEPPUT）、亮度显示进程（LUMDISP）、BEP参数记录进程（BEPCLINK）、高压监控进程（QUEENBEE）和电子学刻度进程（CAL）。以下简要介绍10个进程的作用和它们的相互关系。见图三：

（QUEENBEE）和电子学刻度进程（CAL）。以下简要介绍10个进程的作用和它们的相互关系。见图三：

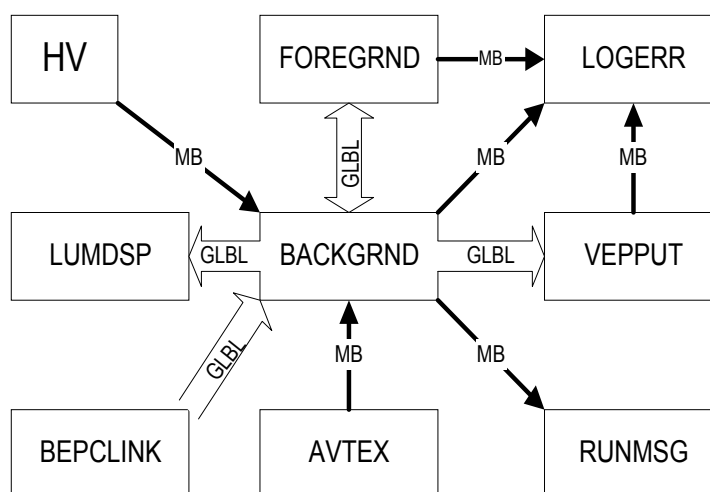
1) 命令进程（AVTEX）

值班人员通过交互式的命令进程同在线系统进行对话。触摸屏幕在X—

终端上，通过鼠标操作发送命令，对前端机的操作，通过后台进程将命令发送下去，控制各进程运行，也可以用于接受新选择的运行参数。该进程程序是用C语言和FORTRAN两种语言写成的，用90年代的最新技术X11和Motif在X—终端上产生一系列按键，值班人员用鼠标控制程序运行。

2) 前台进程（FOREGRND）

这一进程实现从前端机VME上获取抽样事例数据，并把事例放入全局节中，然后送一事件标志给后台，后台接到事件标志后，就可进行



北京谱仪上位机软件结构示意图

分析。前台还负责接收前端机VME报到上位机的错误信息，并把该信息送到报错进程记录显示。

3) 后台进程 (BACKGRND)

后台进程是所有进程的核心，在后台进程中设置了事例分析，邮件处理，图形显示，直方图管理，定时分析和运行控制等多个GROUP程序，一个GROUP程序的执行将完成一项特定的任务。后台进程实现这些GROUP程序的调度，并且借助事例标志和优先级的设置协调它们之间的关系。后台进程在启动时，将向命令进程发送 (SIGN—ON) 信息，以解决命令进程和后台进程协调运行的同步问题。

- I. 运行控制程序实现运行开始与结束的控制，运行种类（如：数据获取、系统测试等）的选择。
- II. 邮件处理程序专门分析与处理来自命令进程的邮件，然后调用其它任务程序完成指定的命令操作。
- III. 事例分析任务完成对部分所获取事例的在线分析，以得到一些基本物理量的初步统计结果，提供给实验工作者以判断当前的运行情况和探测器状态，掌握实验的进度。
- IV. 直方图管理任务和图形显示任务则主要用于运行取数时管理直方图和将图形显示在图形显示设备上，以此帮助物理实验人员直观地了解事例分析的结果。
- V. 定时分析的目的是定时调用Monitor程序，读取触发和亮度计数器，计算加速器的对撞亮度，监测触发事例率和触发条件，同时调用监测程序，对一些物理量如温度，高压等参数进行定时地监测，确保实验在可靠稳定的条件下进行。

4) 报错进程 (LOGERR)

诸进程用子程序ERRMSG和ERRCHK发送有关的出错信息，报错进程借助邮箱实施读取这些信息(包括成功，警告和通知等信息)，并进行分类和处理，然后记入ERRLOG.DAT文件供查阅，并同时显示在X终端窗口上。报错进程同其它进程的通信是借助邮箱设施实现的。

5) 状态显示进程 (RUNMSG)

该进程负责接收后台进程发送的运行状态信息，并将之显示在X终端窗口上，供值班人员随时了解实验的运行情况和状态。

6) 绘图进程 (VEPPUT)

这一进程用于在图形输出设备上绘制与输出各种图形。后台进程完成这些图形的定义，存储与屏幕显示，并且在接到图形输出的操作命令后，把图形数据送入全局节中，交由本进程生成PS文件用于在打印机上打印与输出。

7) BEPC亮度显示进程 (LUMDSP)

BEPC亮度显示进程用于在图形显示终端上输出各种与亮度有关的图形。后台进程把与亮度有关的数据送入全局节中，该进程定时读取这些数据，并绘图显示到指定的彩色屏幕上。它是BEPC和BES联合运行最重要的状态参数之一。

8) BEPC参数记录进程 (BEPLINK)

该进程利用计算机网络技术，唤醒BEPC控制机上的子进程DATASEND，定时将BEPC的状态参数（5分钟）传送BES控制机上，写到全局节中。由后台进程异步显示和送到前端机记录到BES数据磁带上，BES实验人员可根据这些参数最佳地利用BEPC提供的束流，提高实验效率。参数记录到磁带用于物理分析，以及对BEPC的运行情况进行监测。

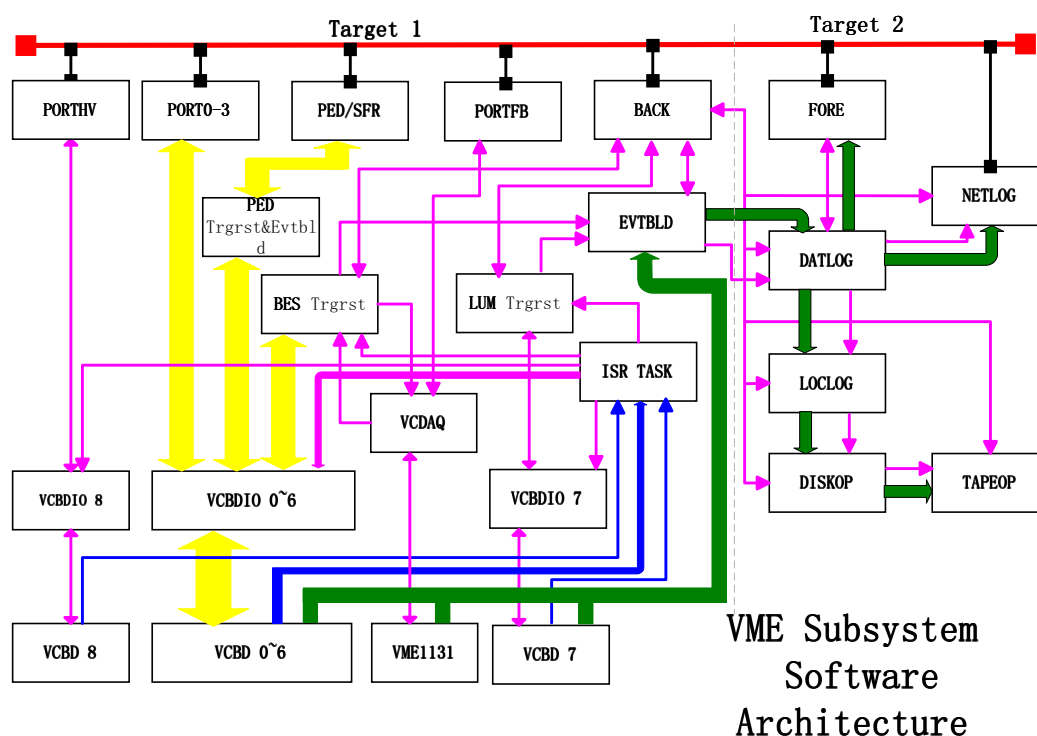
9) 高压控制进程 (QUEENBEE)

高压控制进程以交互方式，提供键盘和触摸屏幕两种用户接口。它单独占一个CAMAC分支，对各探测器使用的高压可进行开、关、参数读写、参数修改以及参数显示等操作。定时监测高压参数，利用邮箱传送到后台进程，由后台进程异步通知前台进程记录到BES数据磁带上，并将高压状态信息显示于运行状态信息窗口上。

BES在线系统诸进程中只有高压进程为交互作业，余者均为作业递交方式。各进程间的数据交换通全局节实现数据的共享，通讯信息通过邮箱来交换。刻度的结果是通过文件传递给后台。

2、前端机部分逻辑和任务

前端机软件利用Motorola的VMEexec开发系统,用C语言编写。整个系统约有20多个独立进程分配在两个CPU板上,全系统采用一致的Client—Server结构,每个进程是其它一些进程的Server,对于其它进程的请求,执行一系列操作后加以应答。该进程也可以向其它进程发出请求。VMEexec的核心pSOS的消息队列机制提供了进程间的消息联络手段。



VME 前端机软件系统结构

1) 核心进程

进程ISR, VCDIO0—8为核心进程。VCDIO0—8传递CAMAC I/O操作命令,参数下装,取数过程控制,其中VCDIO0—6为与主触发相关的VCD通信进程, VCDIO7为亮度分支通信进程, VCDIO8为高压分支通信进程。ISR为中断服务进程,其它进程都建立在该核心进程之上。

2) 单CAMAC操作任务

该任务包括端口通信进程 (PORTHV, PORT0—3), 实现与上位机 (AXP) 通信,解释和传递CAMAC单操作, PORTHV是高压操作的专用端口, PORT0—3四个端口供电子学刻度和检测使用。

3) 台阶 (单前台) 取数任务

台阶取数时满道读出,因而缓存区定义方式与正常取数不同,并且流程也不一样,所以作为独立任务完成。台阶(单前台)取数流程控制进程(PED_RSTBLD)控制台阶(单前台)取数流程、事例组装。进程PED/SFR与上位机(AXP)通信,用于台阶(单前台)取数,解释、传递和控制台阶(单前台)取数流程。

4) 正常取数任务

该任务包括后台进程 (BACK)，抽样事例和错误信息上报进程 (FORE)，主触发取数流程控制进程 (BES_TRGRST)，亮度取数流程控制进程 (LUM_TRGRST)。BACK 进程用于解释 (传递) 上位机 (AXP) 命令、控制 BES&LUM 取数流程; FORE 进程将抽样事例送往上位机的 FOREGRND 进程, 用于在线分析, 传递 VME 系统出错信息到上位机; BES_TRGRST 进程控制 BES 取数流程, 取数流程异常处理; LUM_TRGRST 进程控制 LUM 取数流程, 取数流程异常处理。

5) 事例组装记录任务

该任务包括事例组装进程 (EVTBLD)，数据记录分配进程 (DATLOG)，事例数据网络传输进程 (NETLOG)，事例数据本地记录缓冲进程 (LOCLOG)，事例数据本地记盘进程 (DISKOP)，事例数据本地记带进程 (TAPEOP)。EVTBLD 进程完成组装事例, 异常处理; DATLOG 进程完成事例数据格式转换, 记录分配, 根据上位机取数过程控制 (NETLOG, LOCLOG, FORE) 将事例数据分配到相应的进程; NETLOG 进程将 DATLOG 进程分配来的事例数据通过 TCP/IP Socket 通道送往计算中心; LOCLOG 进程在缓冲区缓冲事例数据, 拼装成 1MB 为单元的数据块; DISKOP 进程将 LOCLOG 准备好的数据记盘; TAPEOP 将 DISKOP 记录在本地磁盘上的临时数据文件转记到 8mm 磁带上, 为减少带机启动次数, 每 20MB 计带一次。

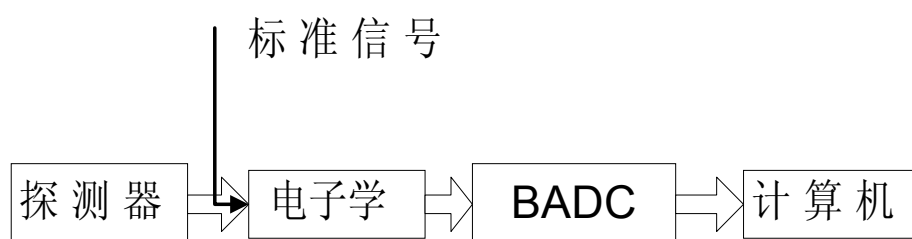
6) 快总线分支数据获取任务

VME 上层软件是用 C 语言编写。其任务是下装及启动 1821 微码, 控制顶点探测器的取数过程, 将 1821 读入的 TDC 数据读到 1131 数据区。该任务由在 VME162 目标板中运行的进程 VCDAQ 完成。该进程是一个独立进程, 通过消息交换的方式由 BES-II 数据获取系统的主控进程 TRGRST 控制。该进程一直处于等待信息指令状态, 每接收到一条指令, 执行相应的一系列操作后, 通过信息队列回答发出信息指令的进程, 以确保各子系统同步工作, 然后再返回到等待信息指令。

五，北京谱仪电子学刻度

1、电子学刻度的任务

刻度进程是与BES取数进程分时进行的，用于电子学读出系统中输入信号与输出数值之间存在着的非线性关系的校正、提高测量的精度、简化离线数据分析的处理过程。刻度进程完成标准信号的产生与控制，BADC的起动与数据读出、校正数据拟合，拟合计算出的各道校正参数作为文件存入磁盘，并在运行启动时被读入送入BADC内存参数区。BADC在校正方式下工作时，它在完成模数转换的同时，利用这些



在线刻度原理框图

参数对数据进行逐道校正和零压缩，从而在输入信号和输出数据之间保持各道一致并且稳定的线性关系。

在刻度方式下，BADC对一组线性递增的标准信号重复进行多次数字化，并作统一处理，BADC的数据由ALPHA机按以下公式

$$y_i = \alpha(x_i - \delta) + \beta(x_i - \delta)^2, \quad i=1,2,\dots,n$$

作最小二乘法拟合。其中 y_i 是写入DAC插件的数值，用于产生一组线性递增的标准信号， x_i 是从BADC读出的一组数值。拟合计算出的 α 、 β 、 δ 作为各道的校正参数被送入BADC内存参数区。BADC在校正方式下工作时，它在完成模数转换的同时，利用这些数对数据进行逐道校正和零压缩，从而在输入信号和输出数据之间保持各道一致并且稳定的线性关系。

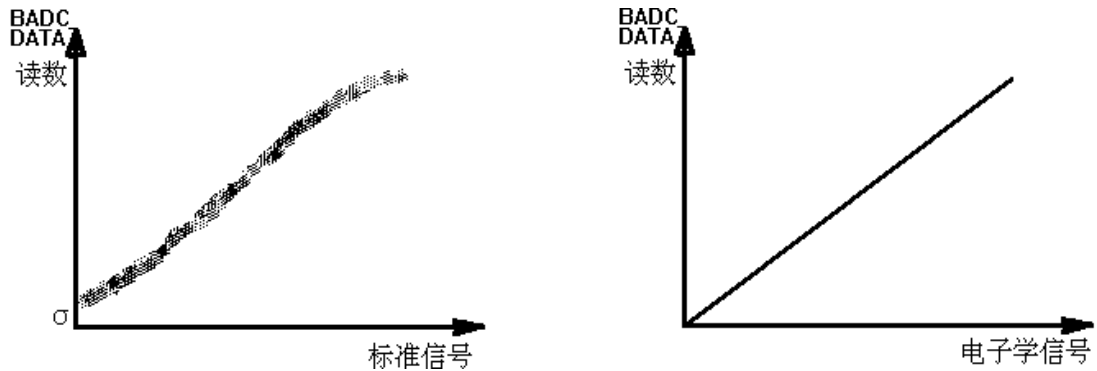
2、在线电子学刻度——北京谱仪数据获取过程中的定标手段

- I BADC——30个
- II 电子学读出
- III 每路读出数据 $0 < \text{DATA} < 4096$

数据和它所表征的物理量之间，必须有准确的标定关系。

定标要求：

- I 关系线性（有一个放大倍数 α ）
- II 各路一致（指同一类型数据输出）
- III 台阶扣除（有一个台阶 δ ）
- IV. 门槛把关（有一个阈值 Threshold）



刻度校正（以达到定标要求）：

BADC在A/D转换时，数据可有校正、压缩功能。

* $\text{DATA} > \text{Threshold}$ 则 $\text{DATA}' = \alpha (\text{DATA} - \delta) + \beta (\text{DATA} - \delta)^2$

* $\text{DATA} < \text{Threshold}$ 则 $\text{DATA}' = 0$ ，即压缩掉，不予输出。

校正参数：Threshold、 α 、 β 、 δ 。

电子学特性：刻度校正：

因道而异 逐道进行，每道四个参数

因时而异 定时重复，更新刻度参数

FASTBUS TDC也具有零压缩功能。

六、北京谱仪(II)在线数据获取系统技术指标

北京谱仪(II)在线数据获取系统是一个高度并行的多总线混合系统,其中包括VME、CAMAC、NIM、FAST_BUS。系统设计分上位机和前端机,上位机主要完成系统调度、人机用户接口、直方图统计、单事例显示以及探测器状态监测、读出电子学状态监测和境监测等。前端机主要完成数据获取、装配和转储。

● 北京谱仪(II)在线死时间

在线死时间是从触发第三级通过起到在线还原电子学为止,这其中完成A/D转换、数据读出。上一事例的数据转储是和这些任务并行地完成的。

1、A/D转换时间

探测器	A/D	转换时间
MDC	12 BADC	2.8ms
TOF	3 BADC	1.5ms
BSC	8 BADC	5.0ms
ESC	6 BADC	5.0ms
MUON	2 BADC	6.2ms
VC	7 TDC	1.0ms

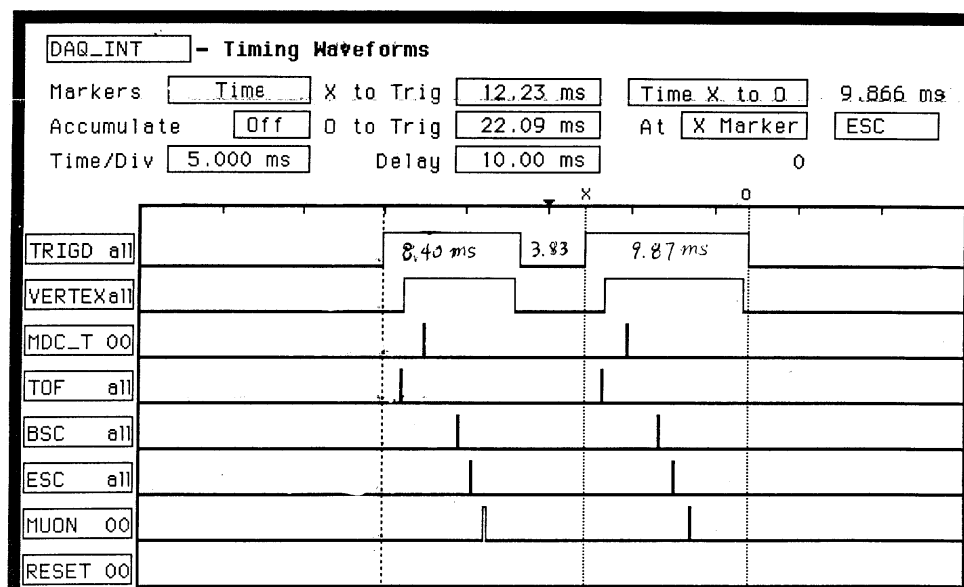
A/D转换时间的最大时间约为6.2ms

2、数据读出时间

CAMAC系统的读出时间约为3.0ms

FAST_BUS系统的读出时间目前约为2.0ms

3、实际测量在线系统死时间。图显示了用逻辑分析仪测量单个事例的死时间,绝大多数小于10.0ms。用控制台定标器测量多个事例的平均死时间为9.2ms。



图中为连续两个事例时间。第一行波形显示系统死时间分别为8.4ms和9.8ms。两个事例相差3.83ms,这在BES数据获取系统中不可能记录到第二个事例。图中的尖峰信号为BADC向VCBD发出的中断信号,显示BADC转换完毕,TRIGD信号前沿到尖峰信号时间差显示各系统BADC转换时间。

● 改进后的数据获取系统的几个特点

1. 多种总线的混合系统,使用了目前国际高能物理界广泛使用的所有总线: CAMAC、VME和FASTBUS。
2. 中断响应快。对于CAMAC系统的中断服务无须主机干预,由分支驱动器直接处理,响应时间由原来的8-13ms减少到80μs。
3. 各CAMAC分支的数据可以并行读出,改变了过去的串行结构。
4. 智能分支驱动器及主机箱内开辟了多级多事例缓冲区,以便VME系统及时结束读出死时间,并减少发往后续处理单元的数据在时间上的随机性。

5. 数据通信采用以太网点对点连接，利用TCP/IP协议的socket界面开发的通信软件，数据传输速率可达2Mbit/s，能够满足北京谱仪的需要，也较为通用。
6. 软件开发实现了较为完善的层次化结构，且与原来的软件兼容，能够实现多进程调度。

北京谱仪(II)在线数据获取系统于1995年5月与BES-II系统一起获取到宇宙线事例和对撞事例。经过几个月的运行，到目前为止该系统运行可靠。北京谱仪(II)在线系统在触发率约25Hz的情况下，可以满足北京谱仪(II)取数的要求。