

УПРАВЛЕНИЕ ТРИГГЕРНОЙ СИСТЕМОЙ И КОНТРОЛЬ ЗА ЕЕ РАБОТОЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ DIRAC

*Л. Г. Афанасьев^а, В. В. Карпунин^а, А. В. Куликов^{а,1},
В. Г. Ольшевский^а, С. В. Трусов^б*

^а Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

^б Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва

При проведении экспериментов с достаточно большим объемом электронной аппаратуры важно обеспечить контроль ее функционирования, гибкость к изменениям конфигурации системы, а также удобство ее эксплуатации участниками эксперимента, не являющимися специалистами в области электроники. В работе описывается организация полностью компьютеризированного управления триггерной системой в эксперименте DIRAC в ЦЕРН.

In experiments using a large amount of electronics it is important to ensure a monitoring of its performance, flexibility to changes of the system configuration and convenience of its use for experimentalists who are not experts in electronics. In this paper organization of the completely computer-controlled trigger system of the DIRAC experiment at CERN is presented.

PACS: 07.05.Dz

ВВЕДЕНИЕ

В эксперименте DIRAC [1] в ЦЕРН применяется многоуровневая триггерная система [2]. Она обеспечивает отбор $\pi^+\pi^-$ -пар с малым относительным импульсом, являющимся характерным признаком исследуемого процесса — развала кулоновски-связанного состояния π^+ и π^- (пионного атома) на два свободных заряженных π -мезона. Кроме того, параллельно могут регистрироваться e^+e^- -пары, распады $\Lambda \rightarrow \pi^-p$, $K^\pm \rightarrow \pi^\pm\pi^+\pi^-$ и другие процессы, необходимые для калибровок.

Многоуровневая система включает в себя быстрый триггер первого уровня [3] и аппаратные процессоры, выполняющие отбор событий на последующих уровнях. В схеме триггера первого уровня используются, главным образом, электронные модули, производимые коммерческими фирмами (LeCroy и CAEN). Процессоры были разработаны специально для данного эксперимента. В реальном времени они накладывают ограничения на величину относительного импульса в паре частиц. Один из них [4] основан на

¹E-mail: kulikov@nusun.jinr.ru

алгоритмах нейронной сети и использует информацию со сцинтилляционных детекторов, другой, обеспечивающий более жесткий, окончательный отбор событий, производит поиск треков в дрейфовых камерах и их анализ по величине относительного импульса.

Электронная аппаратура эксперимента включает два крейта VME, 12 крейтов КАМАК, сгруппированных в две ветви, несколько крейтов NIM и два специализированных крейта (на базе конструктива FASTBUS) для электроники нейронного процессора. Для обеспечения надежной работы аппаратуры такого объема и оперативного контроля за функционированием триггерной системы и системы сбора данных [5] все управление должно выполняться с помощью компьютера с исключением ручных операций. Это особенно важно при длительных сеансах измерений, подразумевающих круглосуточную работу и различные условия набора данных. В настоящей работе показана реализация такого управления в эксперименте DIRAC.

1. СТРУКТУРА ТРИГГЕРНЫХ ФАЙЛОВ

Триггерная система полностью управляется от компьютера. Состояние всей электронной аппаратуры задается триггерным файлом, который описывает конфигурацию триггерной логики и параметры *front-end* электроники. При старте цикла измерений управляющий компьютер из триггерного файла и файла конфигурации электронной аппаратуры (содержащего физические адреса модулей) формирует загрузочный файл. VME-процессор обращается к созданному загрузочному файлу и, используя библиотеку программ для выполнения команд КАМАК, обеспечивает дальнейший процесс записи параметров во все управляемые электронные модули (см. рис. 1).

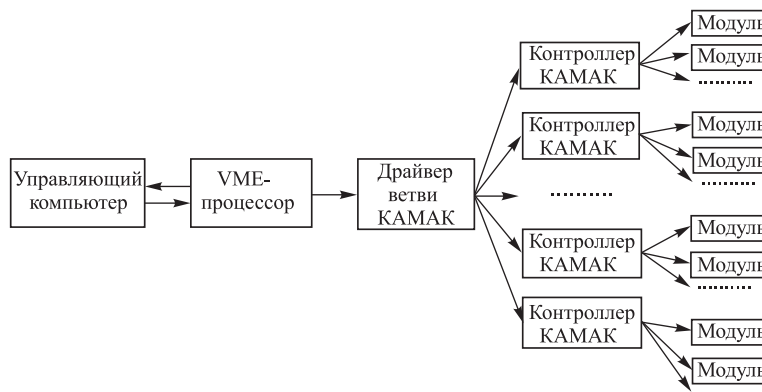


Рис. 1. Схема загрузки параметров в электронные модули

Различным конфигурациям триггерной системы и *front-end* электроники соответствуют разные триггерные файлы; необходимый в данном наборе файл выбирается из списка, открывающегося на экране монитора при запуске цикла измерений. Многие триггерные файлы имеют общие компоненты, поэтому для облегчения работы по редактированию или созданию новых файлов они структурированы (см. рис. 2) следующим

образом. Триггерный файл состоит из вложенных файлов (далее для краткости — субфайлов), каждый из которых представляет собой список команд для управления модулями. В субфайл включаются команды, объединенные каким-либо логическим признаком, например, команды для задания параметров электронных модулей, относящихся к некоторому детектору, либо определяющие набор одновременно работающих типов триггеров, либо задающие режим использования процессоров и т. д. Поскольку при изменении условий набора данных нужно, как правило, поменять параметры лишь для части электронных блоков, достаточно внести изменения только в соответствующий субфайл.

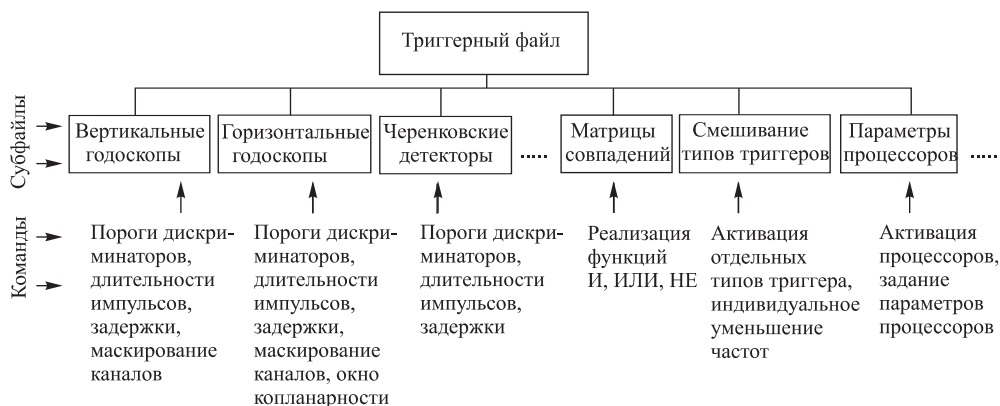


Рис. 2. Структура триггерных файлов

Чтобы упростить управление модулями КАМАК, создана библиотека программ, содержащая набор утилит для выполнения команд. Для каждого типа модуля из используемой номенклатуры и для каждой операции (задание порога, маски, длительности импульса и т. п.) имеется своя утилита, например:

l3420t — задание порога в дискриминаторе LeCroy 3420;

s469w — задание ширины импульса в задержке CAENC469;

l4415m — задание маски в дискриминаторе LeCroy 4415 и т. п.

Вызываемая библиотечная утилита выполняет одну или несколько функций КАМАК для записи и чтения, которые в явном виде не прописываются в субфайлах. Пользователь, составляющий список необходимых команд в субфайле, таким образом, не обязан помнить, какие именно функции КАМАК выполняются, а должен понимать лишь смысл выполняемого действия и логическое имя модуля.

Каждая строка субфайла соответствует выполнению определенной операции с каким-либо определенным модулем КАМАК и содержит логическое имя модуля, вызов библиотечной утилиты и значения загружаемых параметров, например, V1_delay l4418 0-3,7-10 12, где V1_delay — логическое имя модуля, задающего задержки в каналах годоскопа V1; l4418 — вызов утилиты для задания задержек в модуле LeCroy 4418; 0-3,7-10 — список каналов, в которые загружается параметр; 12 — значение параметра (в данном случае — задержка в наносекундах).

В конфигурационном файле электронной аппаратуры каждому уникальному логическому имени модуля сопоставлен его физический адрес (номера ветви, крейта и станции).

Благодаря этому при перестановке какого-либо электронного блока в другую позицию достаточно изменить лишь его физический адрес в конфигурационном файле, не меняя содержимого субфайлов. При генерации управляющим компьютером загрузочного файла для каждого логического имени, присутствующего в командных строках субфайлов, из конфигурационного файла берется соответствующий ему физический адрес модуля и по этому адресу процессором VME выполняются функции КАМАК, заданные в вызываемой утилите.

Триггерный файл вместе с входящими в его состав субфайлами, а также конфигурационный файл являются текстовыми, что упрощает работу пользователя.

Для настройки аппаратуры может использоваться тестовый режим работы программы, когда команды, содержащиеся в какой-либо утилите, посылаются непосредственно по заданному физическому адресу электронного модуля без перезагрузки триггерного файла.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЕЙ NIM В УПРАВЛЯЕМОМ РЕЖИМЕ

Основная часть электронной аппаратуры эксперимента DIRAC изготовлена в стандартах КАМАК и VME. Наряду с этим применяются также и модули в стандарте NIM, который не предусматривает связи с компьютером и обычно может использоваться только с ручным управлением. Если параметры модуля NIM не требуется менять при изменении условий набора данных, то это не вызывает каких-либо неудобств. Однако при необходимости изменить параметры путем ручных переключений на панелях модулей возникает вероятность ошибок, особенно при длительных круглосуточных измерениях.

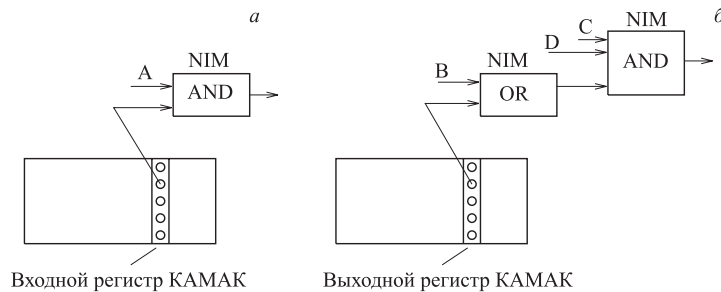


Рис. 3. Управление функцией модуля NIM от компьютера с помощью выходного регистра КАМАК: а) пропускание либо блокирование прохождения сигналов по каналу А; б) переключение из режима тройных совпадений $B \cdot C \cdot D$ на двойные совпадения $C \cdot D$

Для того чтобы управление было полностью компьютеризированным, те блоки NIM, состояние которых должно изменяться при разных триггерных условиях, включены в электронную логику специальным образом, с использованием выходных регистров в стандарте КАМАК. При поступлении в регистр соответствующей команды назначенный разряд (или группа разрядов) переводится в состояние логической единицы. При этом на выходах регистра, сопоставленных данным разрядам, возникает потенциал, который можно подать на модули NIM для изменения выполняемых ими логических функций. На рис. 3 показаны некоторые примеры реализации такого управления. В схеме рис. 3, а

появление потенциала на выходе регистра КАМАК приводит к пропуску сигналов по каналу А через схему совпадений, прежде блокировавшую этот канал (т. е. выполняется операция маскирования). На рис. 3, б потенциал с регистра переводит схему совпадений из режима тройных совпадений $V \cdot C \cdot D$ в режим двойных совпадений $C \cdot D$.

Необходимые команды управления регистром включены в триггерный файл, и, таким образом, при его загрузке происходит перевод моделей NIM в нужный режим.

3. КОНТРОЛЬ ЗА РАБОТОЙ ТРИГГЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Первичный контроль за состоянием электронной аппаратуры происходит при загрузке триггерного файла. Во-первых, по отклику модулей на посланные команды проверяется совпадение реально обнаруженных модулей с данными конфигурационного файла. Кроме того, если спецификацией электронного блока предусмотрена возможность чтения загруженного параметра, это чтение обязательно выполняется и производится сравнение заданного и прочитанного значений.

Результат загрузки триггерного файла протоколируется в электронном журнале. В случае ошибки набор данных не начинается, а в электронном отчете сообщается о типе ошибки и о наименовании и физическом адресе модуля, в котором она произошла.

В начале каждого цикла измерений в электронном журнале и в блоке данных записываются заголовки, содержащие значения всех загруженных параметров. В результате при *off-line* обработке можно, в случае необходимости, проверить, какие именно значения параметров были использованы для тех или иных электронных блоков.

В процессе набора информации контроль за работой системы осуществляется, во-первых, путем измерения в каждом цикле ускорителя счета различных типов триггера на каждом триггерном уровне. Эти счета отображаются на экране монитора¹, а также записываются в потоке данных. Сортировка событий по типам триггеров возможна благодаря индивидуальным меткам типа триггера, записываемым в каждом событии в предназначенный для этого регистр. Поэтому информация о типах триггера доступна не только в интегральном виде за сброс пучка, но и для отдельных событий. Кроме того, в программе мониторинга в реальном времени происходит накопление гистограмм со всех детекторов и с узловых точек триггерной логики. Помимо возможности визуального контроля гистограмм, программа мониторинга сравнивает реальные спектры с занесенными в память компьютера «образцовыми» гистограммами (*reference spectra*) и при заметных различиях информирует об этом экспериментатора.

Особое внимание уделяется проверке работы процессоров, поскольку ошибки при введении ими критериев отбора могут приводить к регистрации смещенной выборки событий или к невосполнимой потере данных. Процессор дрейфовых камер, как наиболее сложный элемент триггерной системы, автоматически тестируется при каждом новом цикле измерений. При этом в процессор загружается информация обо всех возможных комбинациях сработавших проволок, дающих треки с малым относительным импульсом, и проверяется, не отбрасывает ли процессор такие события.

¹Программа отображения счетов написана М. В. Жабицким.

Периодически выполняется набор информации, при котором запись событий осуществляется по сигналу триггера первого уровня. В этом случае процессоры не управляют записью, а лишь производят анализ события и ставят метки положительного или отрицательного решения. При *off-line* экспресс-анализе данных для каждого события вычисляется относительный импульс пары частиц и производится сравнение с записанными метками. Это позволяет контролировать эффективность процессоров к полезным событиям, а также измерять обеспечиваемый ими коэффициент подавления фона.

Для проверки работы триггерной системы и системы сбора данных в отсутствие пучка используется тестовый режим с запуском от генератора (рис. 4). Такая проверка всегда выполняется перед началом работы с пучком, а также при возникновении каких-либо неполадок. Сигналы генератора разветвляются и подаются на входы *front-end* электроники. Относительные задержки между импульсами генератора, поступающими в каналы разных детекторов, подобраны близкими к задержкам при работе от реальных частиц, поэтому каждый сигнал приводит к выработке триггера первого уровня (отбор процессором дрейфовых камер при этом отключен, так как нет реальных треков). Кроме того, поскольку сигналы приходят в самом начале электронного канала каждого детектора, они, подобно сигналам от частиц, поступают на измерение в ADC и TDC. Это позволяет, помимо проверки самого факта выработки триггера, убедиться в правильности записи информации по каналам детекторов.

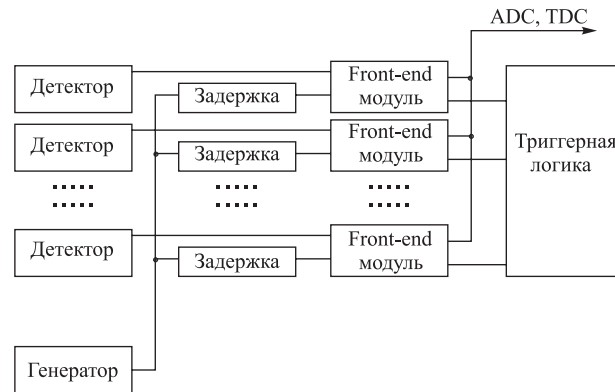


Рис. 4. Схема проверки электроники от генератора

Таким образом, контроль за работой триггерной системы включает:

- проверку конфигурации электроники и работоспособности электронных модулей при загрузке триггерного файла;
- тестирование процессора дрейфовых камер при начале набора данных;
- контроль скорости счета всех типов триггеров на всех триггерных уровнях;
- контроль гистограмм в реальном времени;
- проверку качества работы процессоров при *off-line* экспресс-анализе;
- проверку без пучка с использованием генератора;
- возможность получения сведений (из записанных заголовков циклов) о параметрах электронной аппаратуры в любом прошедшем цикле измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация полностью управляемой от компьютера триггерной системы существенно упростила ее эксплуатацию и значительно уменьшила возможность ошибок при ручных операциях. Используемые процедуры контроля за работой триггерной системы показали свою эффективность, и в случаях отклонений в качестве работы электронной аппаратуры неисправности быстро диагностировались и исправлялись.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Adeva B. et al.* DIRAC: a High Resolution Spectrometer for Pionium Detection // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 515, No. 3. P. 467–496.
2. *Afanasyev L. et al.* The Multilevel Trigger System of the DIRAC Experiment // Nucl. Instr. Meth. A. 2002. V. 491, No. 3. P. 376–389.
3. *Afanasyev L. et al.* First Level Trigger of the DIRAC Experiment // Ibid. V. 479, No. 2–3. P. 407–411.
4. *Kokkas P. et al.* The Neural Network First Level Trigger for the DIRAC Experiment // Nucl. Instr. Meth. A. 2001. V. 471, No. 3. P. 358–367.
5. *Karpukhin V. et al.* Readout Logic and Its Hardware Implementation in the DIRAC Experiment // Nucl. Instr. Meth. A. 2003. V. 512, No. 3. P. 578–584.

Получено 28 декабря 2005 г.