

*Лабораторная работа 3: Работа с детектором TRT  
в режиме сбора данных эксперимента ATLAS*

# Цель работы

Основная цель лабораторной работы №3 это знакомство с современными способами проведения эксперимента, контроля параметров детектора и мониторинг его характеристик в процессе набора данных на примере TRT.

Студенты будут ознакомлены с принципами построения системы сбора данных (DAQ), современными методами медленного контроля систем эксперимента (DCS) и принципами мониторинга данных в режиме экспресс off-line и по сохраненным результатам работы on-line мониторинговых гистограмм.

Через Web учащиеся получают доступ к системе контроля состояния TRT в демонстрационном режиме.

С помощью установленной на компьютере в МИФИ программы мониторинга - TRTViewer учащиеся будут обрабатывать сохраненные «сырые» данные с TRT, набранные в эксперименте ATLAS в протон-протонных столкновениях, а также данные, сохраненные в виде ROOT гистограмм.

# Краткое содержание работы №3:

- Ознакомление с системами DAQ, состав считывающей электроники и реконструкция события перед его записью на диск.
- DCS: Предназначение, основные принципы работы, пропация ошибок и сбоев критических для качества данных.
- Основные параметры медленного контроля детектора и почему это важно. Работа в удалённом режиме
- Системы мониторинга и представления экспериментальных данных с детектора On-line.
- Работа с TRTViewer с сырыми экспериментальными данными и с реальными ROOT-файлами от столкновений протонов на LHC.
- Диагностика работы детектора. Физическое значение и важность мониторируемых параметров
- Ответы на вопросы

# Требования предъявляемые к считывающей электронике TRT

Электроника TRT разработана, чтобы удовлетворить жёстким требованиям:

- Чувствительность входного сигнала приблизительно от 2 - 100 фемто Кулонов
- Высокий и низкий пороги для обнаружения переходного излучения и реконструкции треков соответственно
- Входной поток сигналов до 20 МГц на канал
- Точность измерения времени (RMS) 1нс
- Больше чем 350,000 входных сигналов
- Буфер для триггера LVL1 > 4 мкс
- Поток событий на выходе из LVL1 до 100 кГц
- Уровни радиации > 10 мрад и  $10^{14}$  н/см<sup>2</sup>
- Жёсткие ограничения на пространственные размеры
- Строгие ограничения на количество вещества в радиационных длинах
- Строгие ограничения на тепловыделение в объёме установки АТЛАС
- Очень высокая надёжность (отсутствие доступа к датчику в течение длительных периодов)
- Длина кабеля от датчика до стоек с электроникой > 80 м
- Поток информации на выходе из LVL1 более чем 100 ГБ/с
- Полное соответствие стандартам системы DAQ АТЛАСА

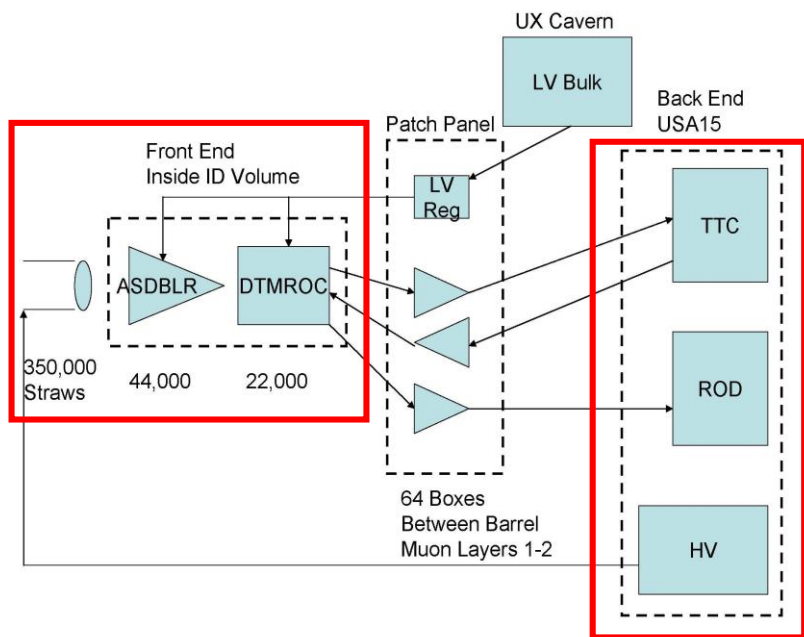
# Считывающая электроника TRT

Трекер переходного излучения TRT (Transition Radiation Tracker) состоит из более чем 250,000 стров, имеющих длину от 50 см (endcap) до 150 см (баррель).

Считывание аналогового сигнала со стро выполняется с помощью ASDBLR (Amplification, Shaping, Discrimination, and Base-Line Restoration) микросхем, которые осуществляют его усиление, формирование, дискриминацию и восстановление нулевой линии.

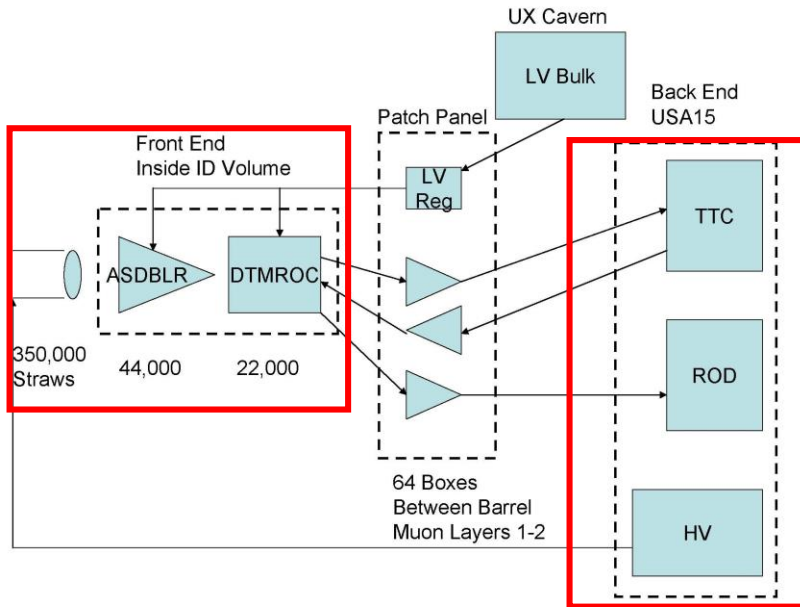
Далее аналоговый сигнал поступает на вход микросхем DTMROC (Drift Time Measuring Read Out Chip), выполняющих измерение времени дрейфа и оцифровку сигнала для 16-ти каналов для последующего его анализа с помощью электроники, расположенной удалённо.

Контроль DTMROC чипов осуществляется модулями системы TTC (Timing, Trigger and Control) каждый из которых управляет до 480 DTMROC. Считывание информации из DTMROC чипов выполняется с помощью считывающих драйверов ROD (Read Out Drivers) TRT. TRT TTC и ROD выполнены в стандарте VME64x в виде модулей форм-фактора 9U.



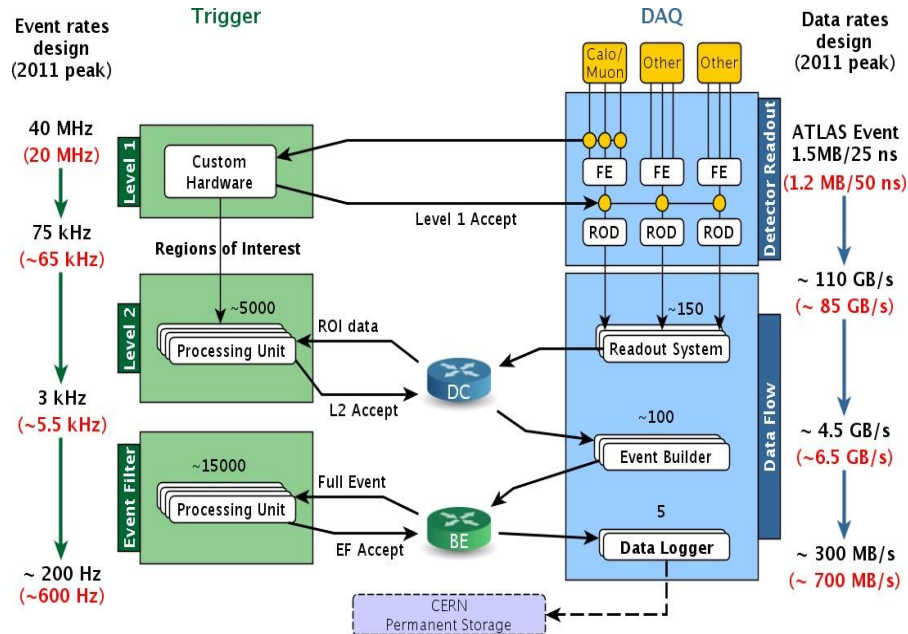
# Считывающая электроника TRT

Если ток сигнала превышает низкий порог ASDBLR посылает импульс в DTMROC — передний край импульса соответствует расстоянию наибольшего приближения трека к аноду, а задний край, ограничен временем дрейфа на расстояние 2 мм. Это фиксированное максимальное время дрейфа полезно как флаг, означающий, что данный хит, фактически, связан с пересечением банчей, представляющим интерес.



DTMROC делит каждые 25 нс, разделяющие пересечение банчей LHC на 8 равных частей и записывает хиты TRT с точностью 3.12 нс (25/8). DTMROC хранит эти данные в течение максимум 6 мкс, пока не получает подтверждения от триггера LVL1. После получения подтверждения LVL1 триггера, данные DTMROC (24 бита трековой и 3 бита информации о высоком порого) для трёх банч кроссингов LHC (75 нс) считываются RODами и собираются в события для триггера LVL2 и дальнейшей обработки. То, что информация считывается за время, соответствующее трём банч кроссингам обусловлено тем, что максимальное время дрейфа в магнитном поле приблизительно 60 нс.

# Взаимодействие триггерной системы и DAQ



Триггер детектора ATLAS вместе с системой сбора данных (DAQ), временной и управляющей логикой составляют вместе систему TDAQ.

Триггер состоит из трёх отдельных систем: триггера первого уровня L1, триггера второго уровня L2 и фильтра событий EF. Два последних уровня образуют вместе триггер высокого уровня HLT.

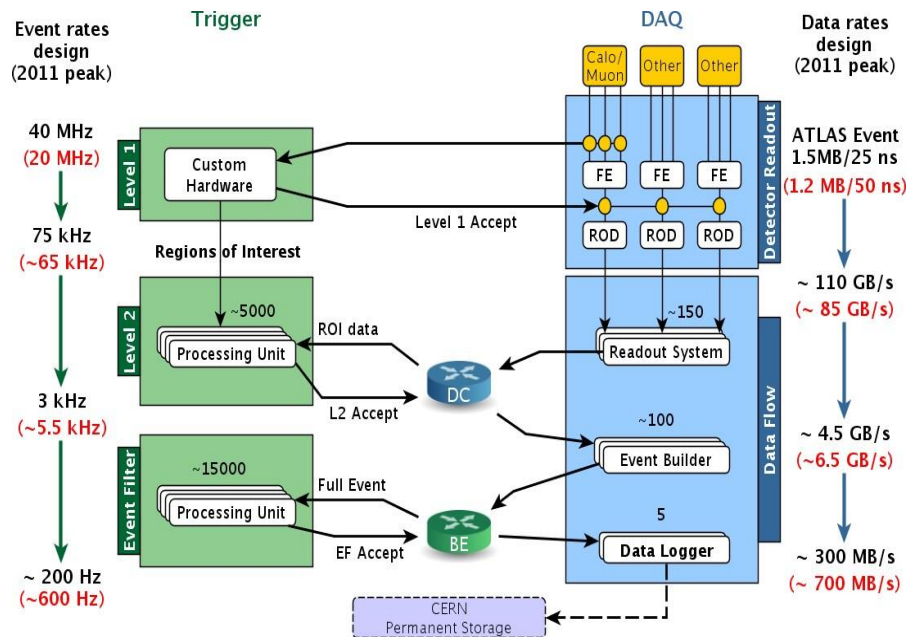
Каждый более высокий уровень триггера пересматривает решение предыдущего и использует дополнительные критерии отбора, если это необходимо.

Система сбора данных получает и сохраняет данные для события от отдельных систем детекторов с частотой, соответствующей выходной частоте событий триггера первого уровня.

Триггер первого уровня использует часть информации детектора, чтобы принять решение за время  $\leq 2$  мкс и удержать скорость потока событий на уровне порядка 75 кГц.

Два последующих уровня триггера используют больше информации детекторов и снижают частоту потока до ~200 Гц при среднем объеме данных на событие 1,3 Мбайта.

# Взаимодействие триггерной системы и DAQ



Триггер первого уровня L1 осуществляет первичный отбор событий на основе данных с калориметров и мюонной системы.

В каждом событии триггер L1 пытается найти области интереса RoI (Region of Interest), которых может быть несколько, определяя для них пары координат  $\eta$  и  $\phi$ . Данные RoI содержат информацию о типе триггера и величине порогов. Эта информация используется в триггерах высокого уровня.

Триггер L2 для RoI использует всю имеющуюся информацию с детекторов для этих областей. Меню триггера L2 составлено таким образом, чтобы уменьшить скорость поступления событий до примерно 3.5 кГц со средним временем обработки события 40 мс.

В случае принятия события триггером L2 информация о RoI передается в EB (Event Builder), а также посылается подтверждение системе DAQ. После этого информация о событии из системы считывания ROS (Readout System) так же поступает в EB. Реконструированное событие из EB в свою очередь передаётся на вход фильтра событий EF.

Окончательный отбор проводит фильтр событий EF, на выходе которого поток составляет около 200 Гц. Отбор на уровне EF использует алгоритмы, разработанные для последующего физического анализа в пределах отведенного времени порядка четырех секунд. После прохождения событием EF оно сохраняется для последующего физического анализа.

Для обмена информацией триггерная система и DAQ используют две гигабитных сети сбора и передачи данных DC (data collection) и BE (back end). Сеть DC позволяет L2 и системам EB получать данные от ROS, в то время как BE сеть используется для передачи реконструированных событий от EB до EF и принятых события от EF до системы хранения данных.



# DCS: Предназначение, основные принципы работы, пропагация ошибок и сбоев критических для качества данных.

Система медленного контроля DCS ( detector control system) позволяет управлять подсистемами детектора и реагировать на возникающие ошибки, позволяя избежать критических состояний устройств.

Основана DCS система детектора TRT на программных продуктах ETM PVSS II.

Система использует принцип конечных состояний FSM (Finite State Machine) для синхронного управления детектором TRT. В основе принципа конечных состояний лежит концепция, состоящая в том, что любую систему можно разбить на некоторое количество состояний (States), переход между которыми строго фиксирован и осуществляется с помощью строго определенного набора действий (Actions).

# Система конечных состояний Finite State Machine

Вся цепочка управления детекторами в эксперименте ATLAS построена на простом, но эффективном принципе конечных состояний (Finite State Machine).

Принцип конечных состояний – это абстракция, позволяющая представить сколь угодно сложную систему в виде набора менее сложных подсистем. Для таких подсистем характерен дискретный набор состояний, переход между которыми осуществляется с помощью определенных действий или процессов. Количество состояний системы ограничено, переход между ними может осуществляться только в определенном заданном направлении.

Для принципа конечных состояний характерна строгая иерархическая древовидная структура, в которой вводится понятие «родитель-ребенок». «Родитель» – это определенный уровень, который позволяет контролировать своих «детей». При этом «дети» не могут непосредственно влиять на состояние друг друга – они лишь передают «родителю» сведения о своем состоянии и получают команды от него. Состояние «родителя» всегда зависит от состояния его «детей». Каждый «ребенок» может иметь только одного «родителя», но сами «родители» могут иметь множество «детей».

# Система конечных состояний Finite State Machine

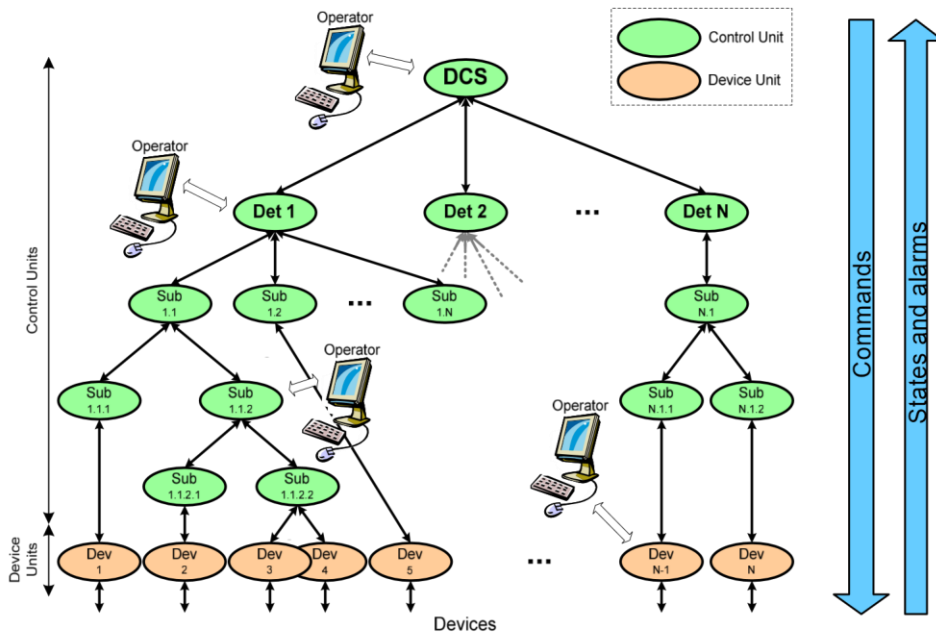


Рисунок 29 – Представление системы по принципу «родитель-ребенок»

Представляя каждую подсистему по принципу “родитель-ребёнок” вводят понятие логического уровня (Logical Unit), управляющего уровня (Control Unit) и конечного устройства (Device Unit). Конечное устройство – это реально существующее устройство. Таких устройств может быть множество, но единственно возможное соединение для них – соединение с управляющим уровнем, причем исключительно в качестве «ребенка».

Принцип конечных состояний предполагает, что в самом низу иерархической структуры находится реальное устройство, и оно уже не может выступать в качестве «родителя». Управляющий уровень – понятие абстрактное. Чаще всего это и есть тот самый «родитель», который контролирует конечные устройства. Управляющие уровни могут выступать одновременно в роли «родителя» (когда они связаны с конечными устройствами) и «ребенка» (являясь «ребенком» для другого управляющего уровня).

# Система конечных состояний Finite State Machine

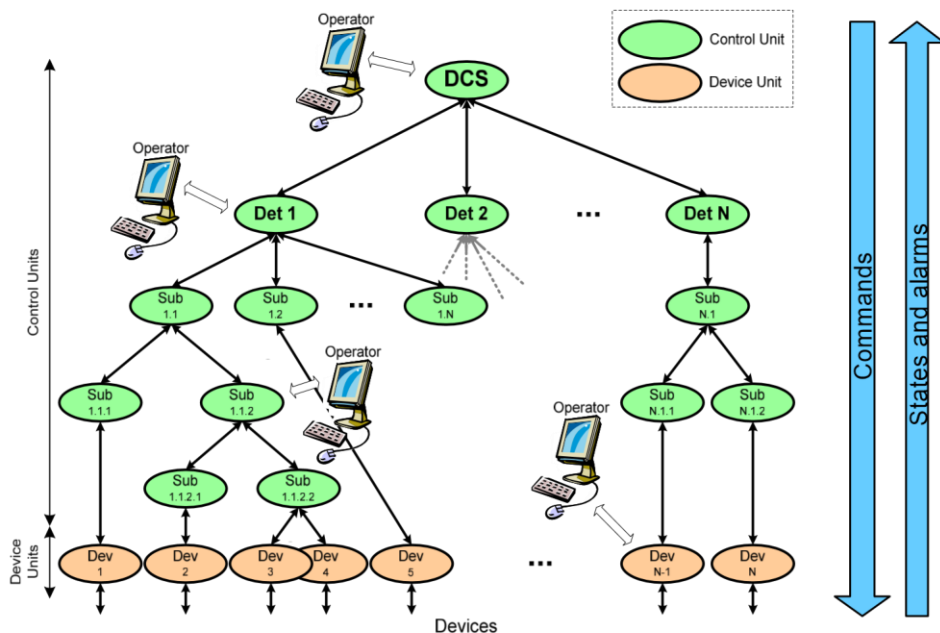
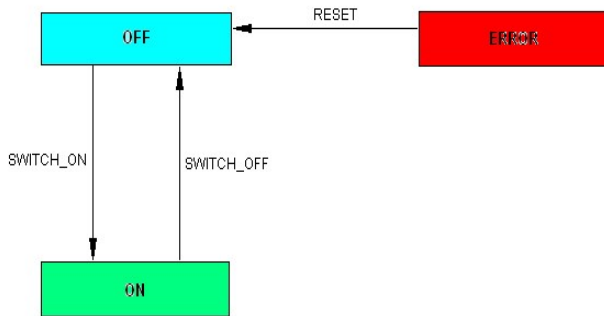


Рисунок 29 – Представление системы по принципу «родитель-ребенок»

Логический уровень – также понятие абстрактное. Он вводится для того, чтобы не дублировать конечное устройство или управляющий уровень. Например, в системе конечное устройство низковольтный источник питания связан с одним из управляющих уровней. Подключить этот же источник питания в качестве конечного устройства к другому управляющему уровню не представляется возможным по причине того, что каждому «ребенку» может соответствовать только один «родитель».

Решением такой дилеммы может быть создание логического уровня вместо конечного устройства. Это позволит каждому управляющему уровню контролировать конечное устройство. И для «родителя», и для его «детей» характерен строго определенный набор состояний и разрешенных переходов между ними.

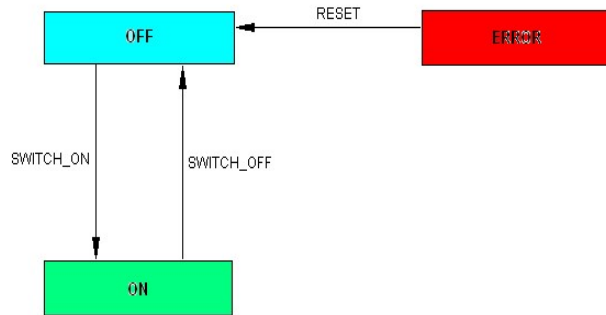
# Система конечных состояний Finite State Machine



К примеру, состояния и переходы между ними все того же источника питания можно представить в виде простейшей системы конечных состояний. Здесь состояние OFF (выключено) соответствует выключенному источнику питания, когда напряжение на выходе нулевое.

ON (включено) – режим работы источника, когда он генерирует напряжение на нагрузке, ERROR (ошибка) – режим, когда какие-либо проблемы приводят к некорректному режиму работы, например выставленное напряжение выше максимально допустимого для данного источника или напряжение на нагрузке ниже определенного, установленного пользователем, порога. Как видно из рисунка 4, переход из каждого состояния возможно только в одном направлении. Так, из состояния ERROR невозможно напрямую попасть в состояние ON, минуя состояние OFF.

# Система конечных состояний Finite State Machine

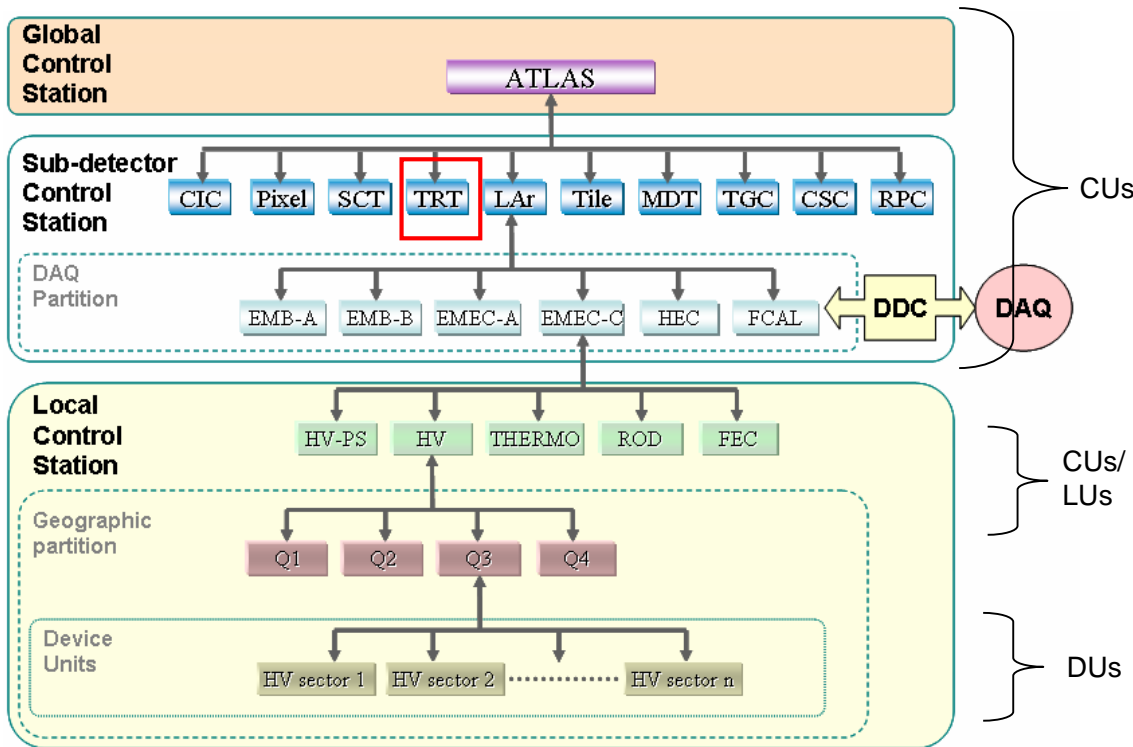


С точки зрения конечного пользователя такие переходы осуществляются исключительно по нажатию кнопки, с которой связано одно или несколько действий. Так, нажав кнопку RESET (сброс) в состоянии ERROR система придет в состояние OFF, откуда, нажимая SWITCH\_ON (включить), мы перейдем к работающей системе.

Понятно, что перейти в состояние ERROR по собственному желанию пользователь не может, потому из состояния ERROR можно выйти, нажав кнопку, но задать такое состояние возможно лишь неправильной работой устройства или несоответствием выходных (или задаваемых) параметров реальным возможностям системы.

Таким образом, принцип конечных состояний предполагает строго определенную иерархическую систему уровней, в основе которой лежат реальные устройства и ограниченный набор возможных состояний и переходов для каждого уровня.

# Архитектура FSM эксперимента АТЛАС



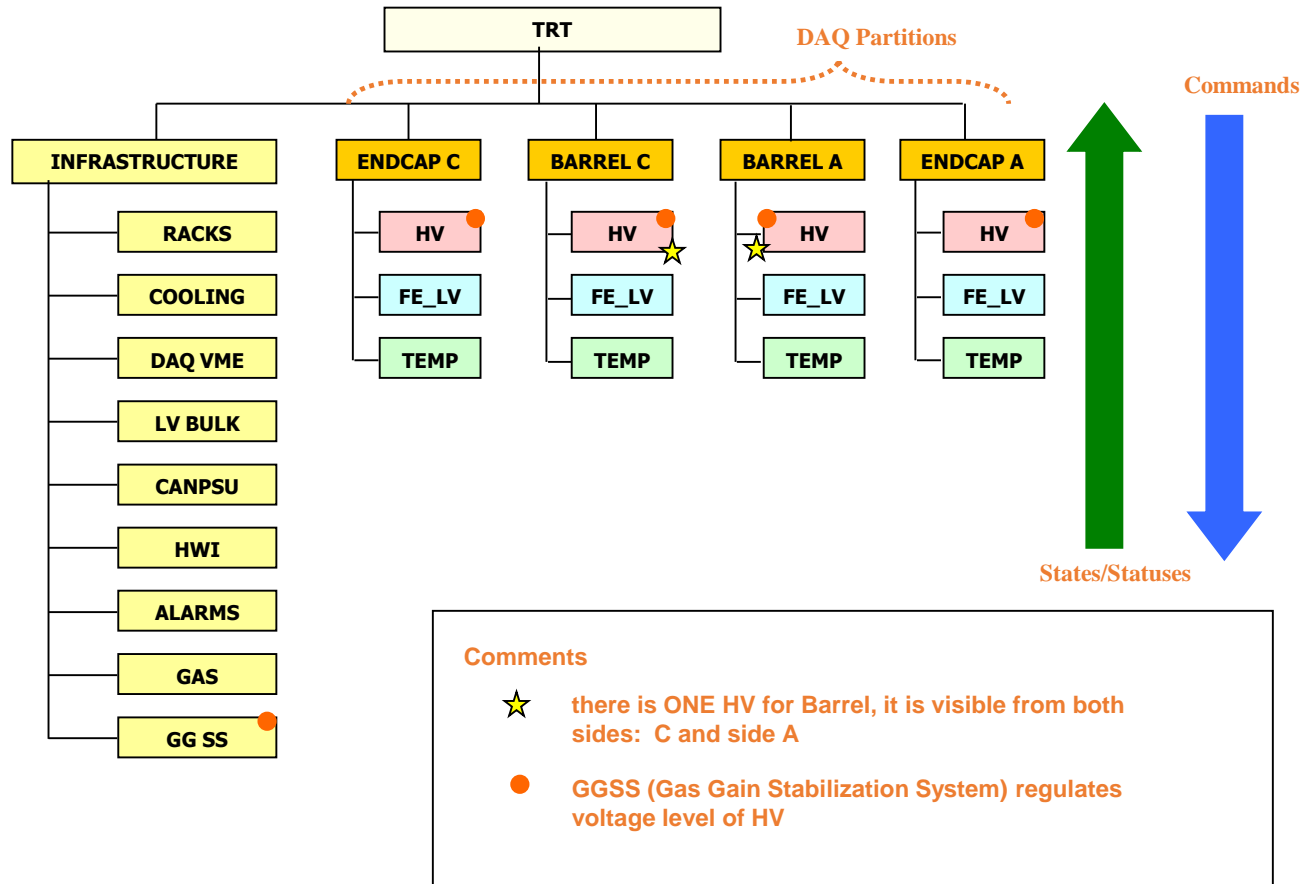
**Control Unit C:** часть дерева, может быть исключена, включена, выбрана; содержит детей любого типа – независимый процесс.

**Logical Unit LU:** нижний уровень дерева, может быть включён, отключён, может содержать другие LU или DU – объект внутри процесса

**Device Unit DU:** реальное устройство в PVSS, может быть включено, выключено, не может иметь детей

Детектор разделён на отдельные элементы системы конечных состояний FSM, которые контролируются другими FSM. Каждый элемент системы реагирует на внутренний статус индивидуального устройства или группы устройств, которые он представляет и позволяет осуществлять упрощённый контроль, обработку ошибок, а так же взаимодействия с другими элементами в соответствии с иерархией.

# Иерархическая структура TRT



Каждый элемент характеризуется своим СОСТОЯНИЕМ и СТАТУСОМ. Информация о СОСТОЯНИИ и СТАТУСЕ передаётся вверх по иерархии, а управляющие команды - вниз.



# TRT FSM панель

Навигационная часть

Иерархия FSM

Быстрая навигация

Сообщения о статусе FSM

клик левой кнопкой :  
открытие главной  
панели  
клик правой кнопкой:  
открытие вторичной  
панели

клик левой  
кнопкой для ввода  
команды FSM

Есть ли связь со  
всеми системами  
PVSS в TRT.  
Если что-то не  
подключено:  
красный фон

Component	State	OK
S1	READY	OK
S2	READY	OK
S3	READY	OK
S4	READY	OK
S5	READY	OK
S6	READY	OK
S7	READY	OK
S8	READY	OK
S9	READY	OK
S10	READY	OK
S11	READY	OK
S12	READY	OK
S13	READY	OK
S14	READY	OK
S15	READY	OK
S16	READY	OK
S17	READY	OK
S18	READY	OK
S19	READY	OK
S20	READY	OK
S21	READY	OK
S22	READY	OK
S23	READY	OK
S24	READY	OK
S25	READY	OK

Вторичная панель

Главная панель

Контрольный Виджет

Виджет параметра

# FSM Иерархия: STATE, STATUS и Tree CONTROL

	STATE	STATUS	Tree Control
TRT	READY	OK	
INFRASTRUCTURE	READY	OK	
BARREL A	READY	OK	
BARREL C	READY	OK	
ENDCAP A	READY	OK	
ENDCAP C	READY	OK	

## Основные состояния TRT

READY
NOT_READY
SHUTDOWN
TRANSITION
UNKNOWN

Все возможные состояния для: узлов TRT и узлов разделов DAQ

## Возможные статусы:

OK	Все системы работают нормально
WARNING	Не серьезная проблема, которую можно исправить в процессе работы, система может продолжить работать
ERROR	Серьезная проблема, которую нужно устранить немедленно и связаться с DCS OCE и RC
FATAL	Очень серьезная проблема, система не может продолжить работу. Немедленно проинформировать SL, RC, DCS OCE

## Возможные значения Tree Control

Control Units – замки:

	No Owner
	Owner
	Owner, Shared
	NOT Owner
	NOT Owner, Shared
	No Owner, Locked Out
	NOT Owner, Locked Out
	NOT Owner, Locked Out, Shared

Logical Units &

Device Units:

	включено
	отключено

**Фоновые цвета для контроля замков/устройств:**

**серый:** всё дерево FSM полностью функционирует

**оранжевый:** FSM дерево функционирует не полностью, часть дерева исключена и заблокирована

**жёлтый:** FSM дерево функционирует не полностью, отдельные устройства отключены

**Желтые фоны связаны с отключенным оборудованием ( HV линии или LV FE платы) – должны соответствовать информации в White Board.**

**Любой оранжевый фон означает проблему**

# Перемещение по иерархическим уровням

## Общее правило:

Клик левой кнопкой на Контрольный элемент вызывает переход к узлу, описываемому контрольным элементом и открывает его главное меню.

Клик правой кнопкой на Контрольный элемент открывает его вторичную панель без изменения положения.

## 1. Иерархическое дерево FSM

Навигационная часть      Командная часть

TRT	READY	OK	
INFRASTRUCTURE	READY	OK	
BARREL A	READY	OK	
BARREL C	RE	GOTO_LVFE_OFF	
ENDCAP A	READY	OK	
ENDCAP C	READY	OK	

GOTO\_LVFE\_OFF

Send GOTO\_LVFE\_OFF?  
 YES  
 NO

Запуск команд:

1. Клик левой кнопкой на поле, показывающее состояние элемента
2. Когда появиться имя команды выберите её
3. Во всплывшем окне подтверждения команды выберите ДА или НЕТ

## 2. Быстрая навигация по подсистемам

EndCap C		Barrel C		Barrel A		EndCap A	
HV	OK	HV	OK	HV	OK	HV	OK
LV	OK	LV	OK	LV	OK	LV	OK
TEMP	OK	TEMP	OK	TEMP	OK	TEMP	OK
Infrastructure							
COOL	OK	VME	OK	HMI	OK	GAS	OK
BULK	OK	CAN	OK	AL's	OK	GGSS	OK

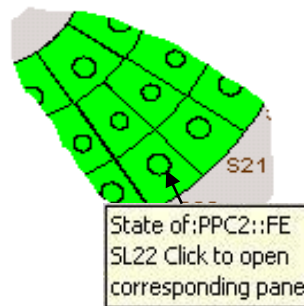
Эта панель всегда присутствует на экране FSM и зафиксирована.

Она состоит из 4-х столбцов, содержащих разделы, каждый состоит из 3-х подсистем: HV – Высокое напряжение, LV – Низкое напряжение и Температура

и **8-ми элементов** инфраструктуры.

Цвет фона и буквы, обозначающие статус подсистем вместе описывают их состояние

## 3. Контрольный виджет



Это графическое представление элемента FSM детектора:

Цвет фона элемента сектора показывает состояние элемента.

Цвет фона внутри круга показывает статус элемента.

При наведении курсора на элемент всплывает окно с названием идентификатором элемента.

Далее нажмите любую кнопку мыши для выбора элемента.

# Отображение данных

Цвет фона виджета параметров содержит следующую информацию:

DAC One 69 counts

Данный цвет указывает на отсутствие проблем с параметром

FE Temp [C]

28.09

Если с параметром связано какое-нибудь предупреждение фона:

- зелёный: величина параметра находится в допустимом интервале
- жёлтый: WARNING предел был превышен, обычно связано с WARNING STATUS
- оранжевый: ERROR предел был превышен, связано с ERROR STATUS
- красный: FATAL ERROR предел был превышен, связано с FATAL STATUS
- серый: тревожное сообщение должно быть отмечено как обработанное, если причина сообщения устранена
- тёмно-серый: неправильное значение параметра

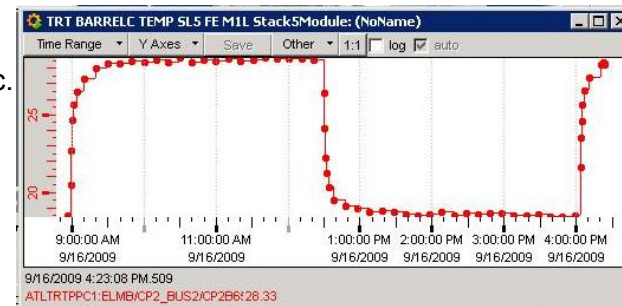
Клик правой кнопкой на параметр показывает его зависимость от времени:

если параметр хранится в DB, то распределение будет иметь вид как на рис. справа

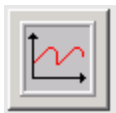
если параметр не хранится в DB, будет показано число как рис.

ниже

FE Boards M1FL 28.33 C



На некоторых панелях клик на кнопки, аналогичные показанным ниже, даёт временной тренд параметра



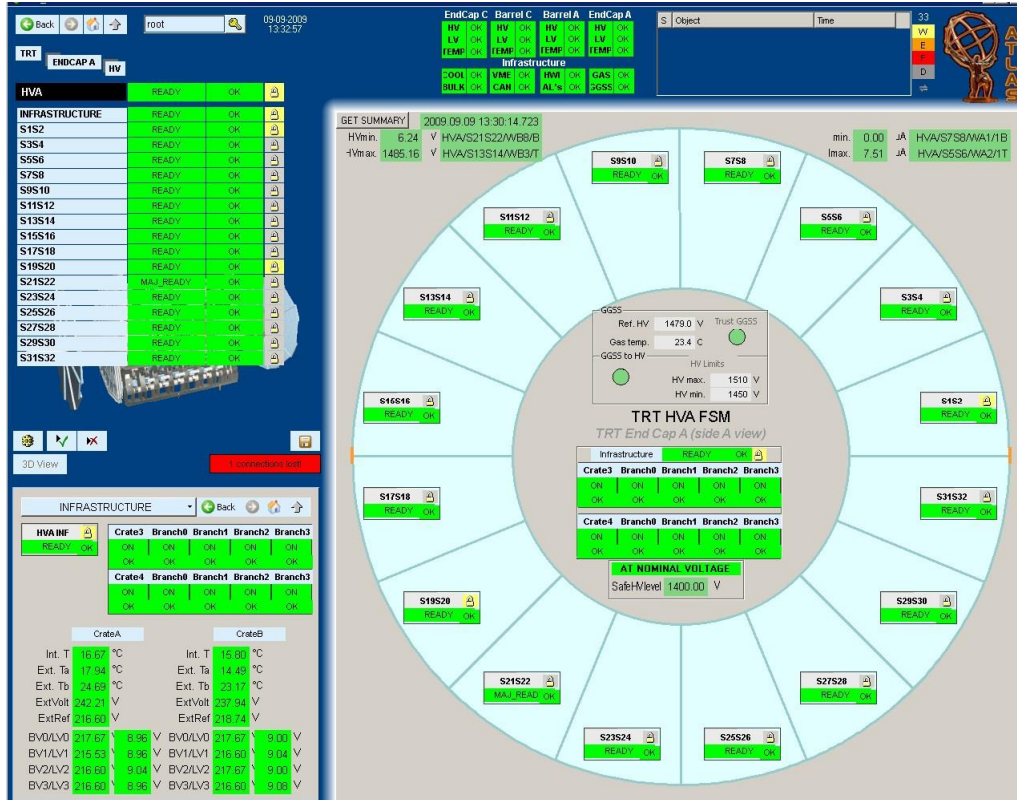
Тренды для системы охлаждения



Спектры в GGSS

# Высокое напряжение

Жёлтый фон замков показывает наличие исключённых проблемных каналов на нижних уровнях иерархии



Перемещаясь вниз по иерархическому дереву можно найти исключённый объект

ATLAS TRT ENDCAP A HV HVA

Object	Status	Health	Lock
S21S22	READY	OK	🔒
WA1	READY	OK	✓
WA2	READY	OK	✓
WA3	READY	OK	✓
WA4	READY	OK	✓
WA5	READY	OK	✓
WA6	READY	OK	✓
WB1	READY	OK	✓
WB2	READY	OK	✓
WB3	READY	OK	✓
WB4	READY	OK	✓
WB5	READY	OK	✓
WB6	READY	OK	✓
WB7	READY	OK	✓
WB8	OFF	OK	✗
WHEELS_MAJORITY	MAJORITY_OK	???	✓

ATLAS TRT ENDCAP A HV HVA S3S4

Object	Status	Health	Lock
WB5	READY	OK	✓
B	OFF	OK	✗
T	ON	OK	✓

Каналы, исключенные из FSM дерева не учитываются при определении состояния уровней, расположенных в иерархии выше. На расположенные выше уровни не передается команда об исключении каналов расположенных по иерархии выше исключённого.

# Панель тревоги

The screenshot shows the ATLAS Alarm Screen interface. At the top, there are controls for Acknowledgement (Unacknowledged, Individual/Group acknowledged) and Mode. Below is a table of alarms with columns: Sh, Dir, Description, Alarm text, Online Value, Ack, and Time. A context menu is open over the 'Online Value' column, showing options like Mask, Insert E-Log, Insert Comment, Details, Trend, Alarm Help, and Ranges. An 'E-LOG' dialog box is open in the foreground, prompting for user information (User: ebanas, Author: Elzbieta BANAS, System Affected: No Specified, Subject: DCS alarm: ATLTRTHVC:WA1Phi90.Temperature.meanValue). A trend graph is also visible, showing a fluctuating line representing a temperature value over time.

Клик правой кнопкой на элемент колонки Online Value приводит к появлению подменю

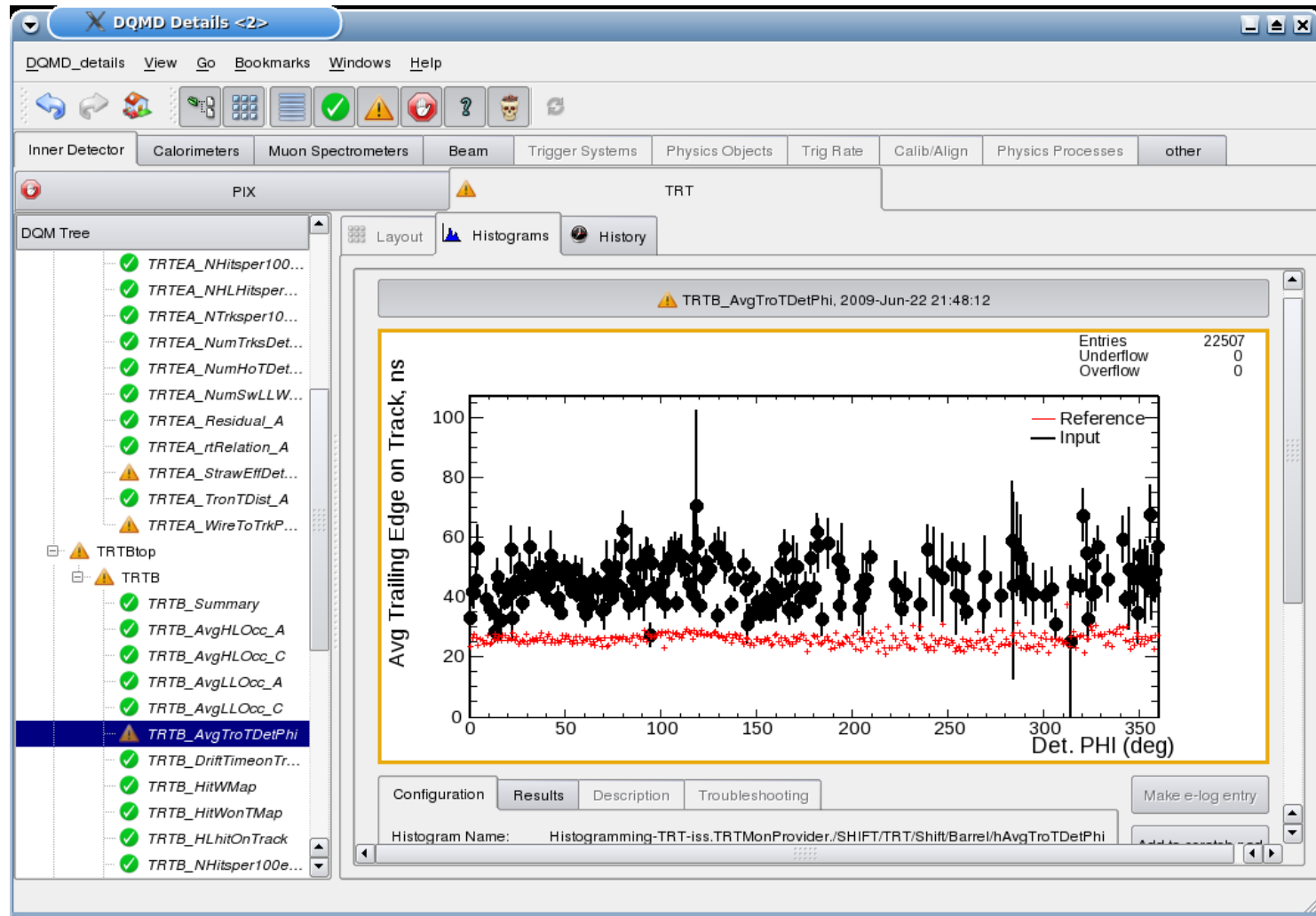
В данной панели всегда можно найти текущие ошибки и предупреждения о некорректной работе системы.

Уровни тревоги:

- F - FATAL**
- E - ERROR**
- W - WARNING**

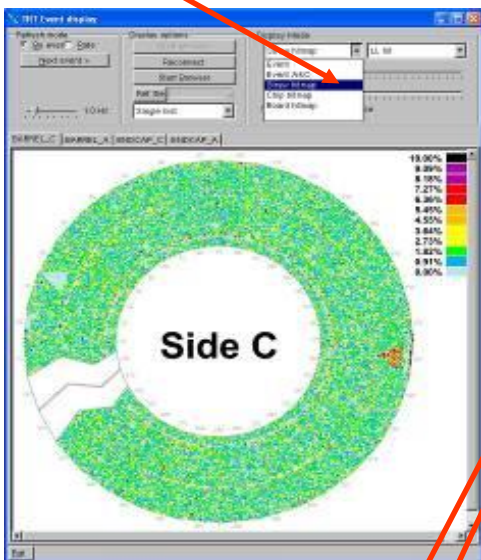
The screenshot shows the ATLAS Alarm Screen interface with a table of alarms. The table has columns: Dir, Description, Alarm text, Online Value, Ack, and Time. A context menu is open over the 'Ack' column, showing options like All Visible Alarms and All Alarms in Table. The table contains several rows of alarms with different severity levels (W for Warning, E for Error, F for Fatal) and acknowledgment status (Unacknowledged or acknowledged).

# Системы мониторинга и представления экспериментальных данных с детектора On-line. ОНР и DQMD



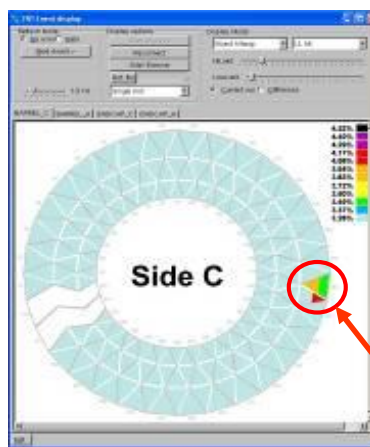
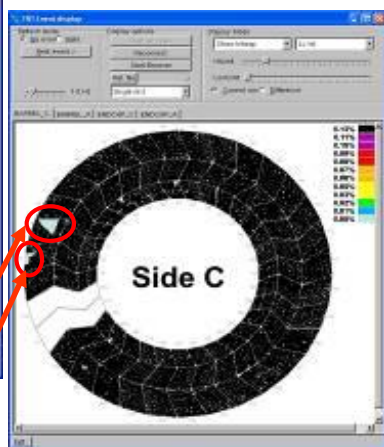
# Работа с TRTViewer с реальными ROOT-файлами от столкновений протонов на LHC.

Выберите модуль представления данных (straw/chip/board)

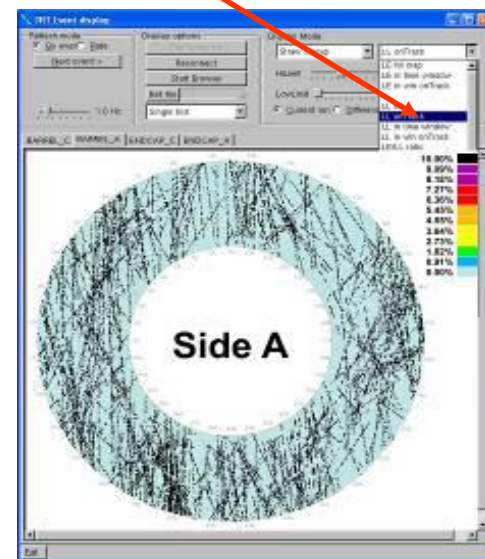


Мертвая плата

Выбранная переменная будет отображена в виде цветной карты, где цвет пропорционален значению переменной.



Выберите интересующую Вас переменную.



Слишком шумные стро

Удобно использовать данную форму представления данных например для анализа:

- Хитов, превысивших нижний порог "LL hit" (LL – Low Level). Карта таких хитов показывает средний уровень шума и может быть использована для идентификации мёртвых или слишком шумных каналов/чипов.
- Карты для переменных "LL on Track" and "<TrailEdge> for long ToT" (ToT – Время над порогом), которые показывают реконструированные треки.