



Система сбора данных эксперимента SPD на коллайдере NICA

Сессия ОЯФ РАН, посвящённая 70-летию В.А.Рубакова

Александр Бойков
от имени группы DAQ SPD

E-mail: Boikov@jinr.ru

18.02.25

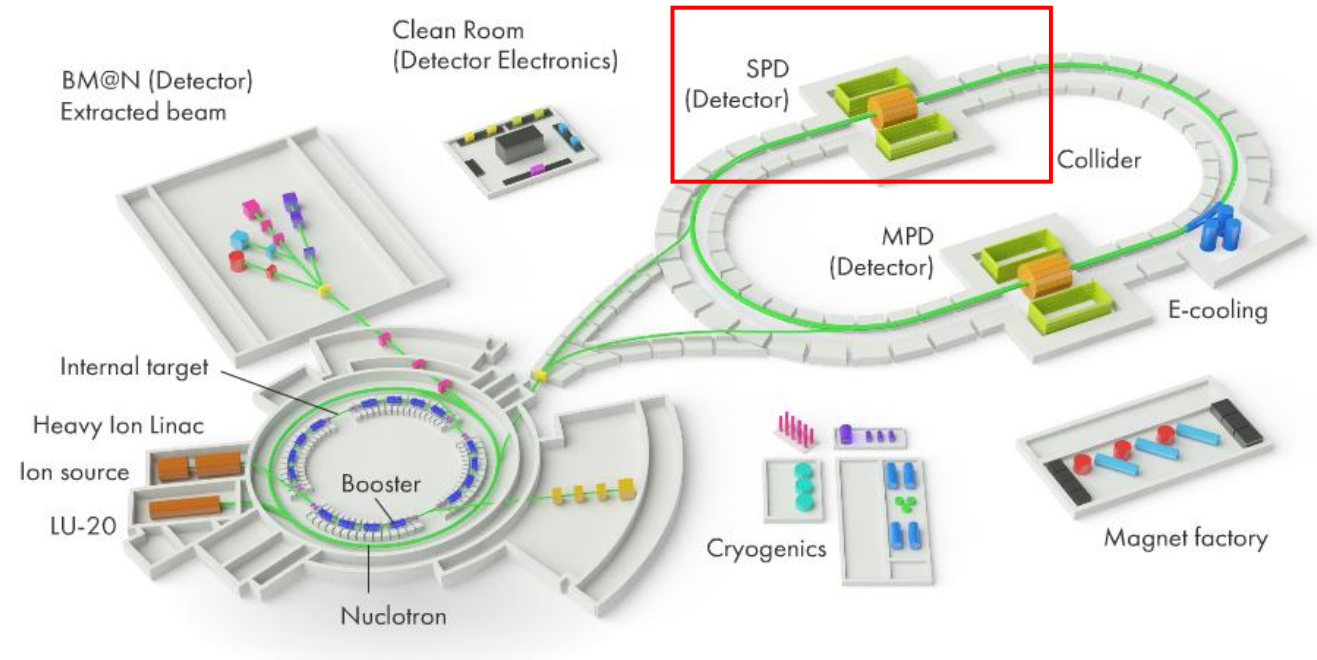
Эксперимент SPD

Цель эксперимента – изучение спиновой структуры нуклонов и глюонного вклада в их спин.

Поляризованные pp и dd столкновения при $\sqrt{s}$ до 27 ГэВ и светимостью до $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

SPD нацелен на **комплексное исследование спиновой структуры протона и процессов с глюонами**

Коллаборация:
Более 30 институтов (с каждым годом расширяется)
Более 400 участников



Детектор SPD

ФАЗА 1:

6 детекторных подсистем

Interaction rate 4×10^5

Поток данных 1 ГБ/с

ФАЗА 2:

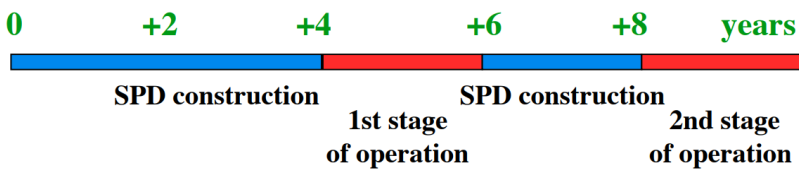
9 детекторных подсистем

Interaction rate 4×10^6

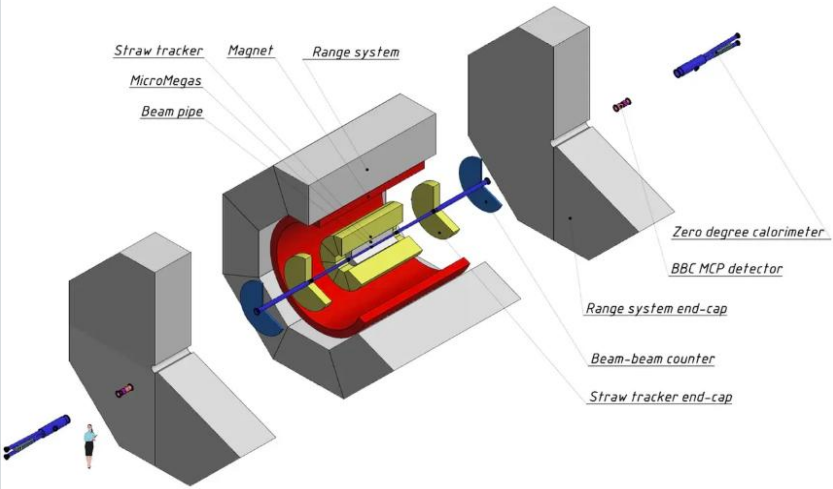
Поток данных 20 ГБ/с

Bunch crossing: 76 нс

Частота синхронизации 125 МГц

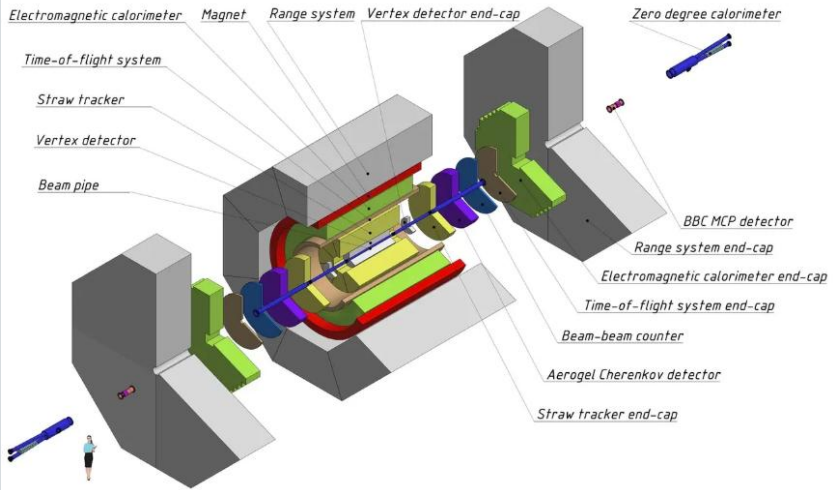


First phase



Sub-detector	Num Ch	Ch/FEB	Num FEBs
Micromegas	5384	128	43
Straw tracker	30512	128	239
BBC	1056	64	18
BBC MCP	64	32	2
Range system	137600	192	717
ZDC	210	64	34
Total (max)	176716		1053

Main setup



Sub-detector	Num № Ch	Ch/FEB	Num FEBs
Vertex DSSD/MAPS	327680/12000	640/?	512/?
Straw tracker	30512	128	239
Calorimeter	27168	64	425
TOF	12228	8	1529
FARICH	70144	64	1096
BBC	1056	64	18
BBC MCP	64	32	2
Range system	137600	192	717
ZDC	210	64	34
Total (max)	608552/283076		4572/?

Free-running (Triggerless) DAQ

Такая концепция предполагает минимальную задержку в передачи данных до считывающих компьютеров.

Части слайсов с каждой подсистемы объединяются в один блок данных. Онлайн фильтр занимается отбором событий для сохранения в постоянное хранилище

Slice: 10÷100 мксек.

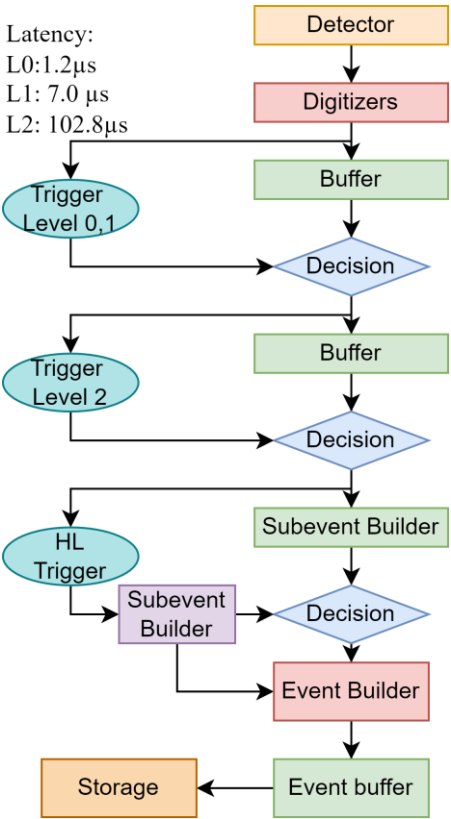
Frame: 0.1÷10 с

Требуется хорошая система синхронизация, способная управлять набором данных с помощью синхронных команд

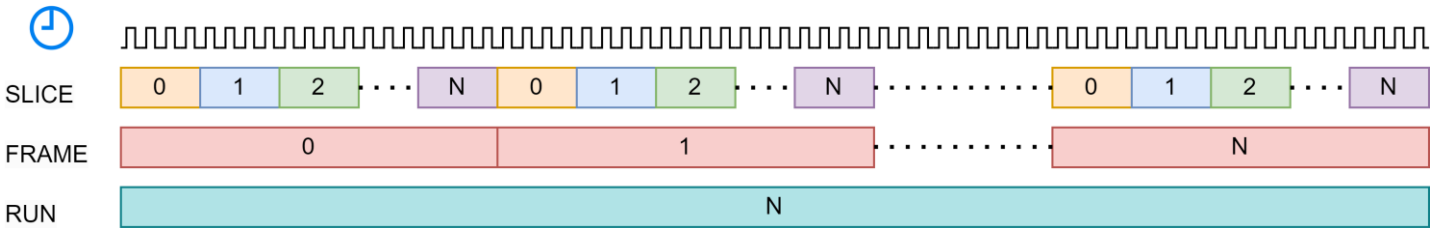
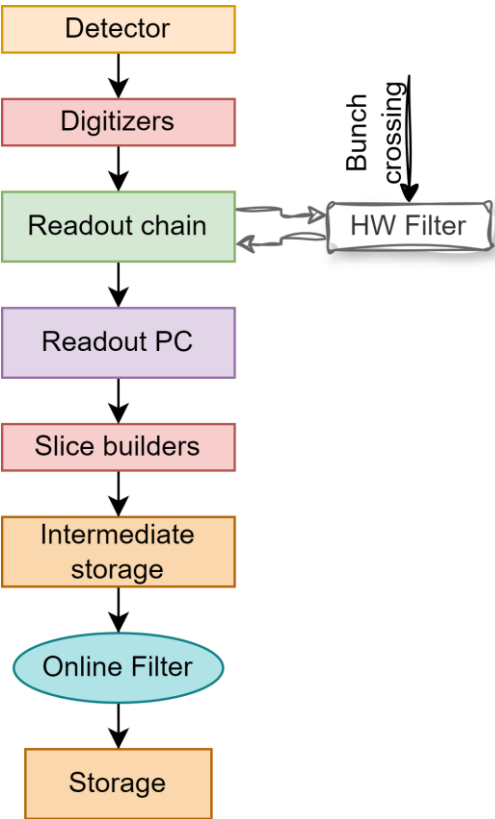
Синхронные команды:

- Set Next Frame (SNF),
- Start of Frame (SOF),
- Start of Slice (SOS).

Триггерная(классическая) DAQ



Triggerless DAQ



Система синхронизации

Технология White Rabbit:

- Открытая технология с лицензией CERN-OHL
- Синхронизация с точностью 1 нс или лучше
- Стабильно поддерживает сети с длиной связи до 10 Км
- Потенциально нет ограничений в размере сети

Задачи системы синхронизации:

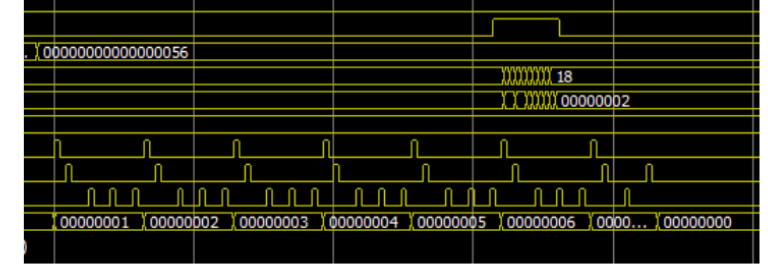
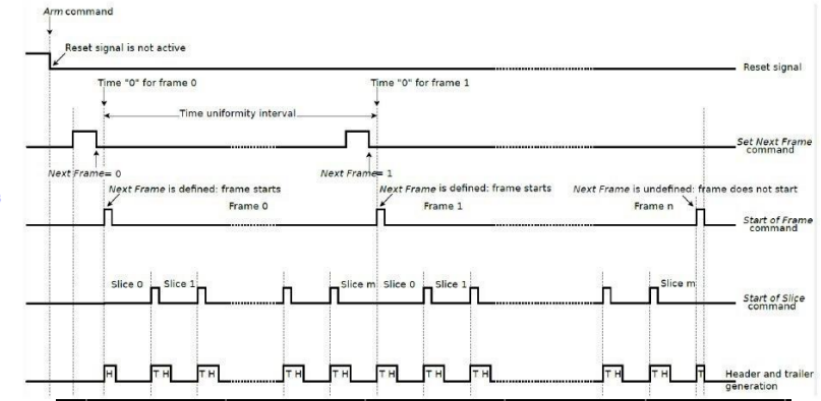
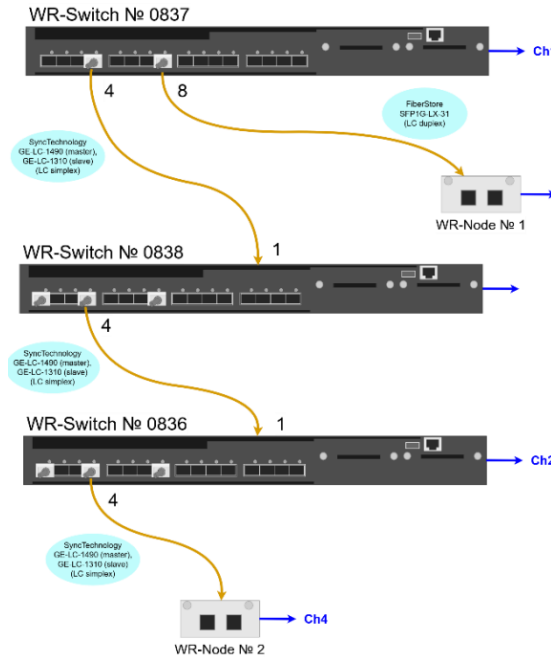
- Генерация и распределение тактовой частоты 125 МГц с точностью лучше 1 нс и джиттером лучше 50 пс для конечного FEB
- Генерация и распределение синхронных команд по детектору
- Распределение информации о текущем Slice и Frame

Достигнуто для сети **WR** из нескольких коммутаторов:

- <300 ps PPS skew
- <20 ps PPS jitter

Температурный эффект:

- 30 ps/°C skew error
- Незначительный jitter error



Accuracy as average clock skew:

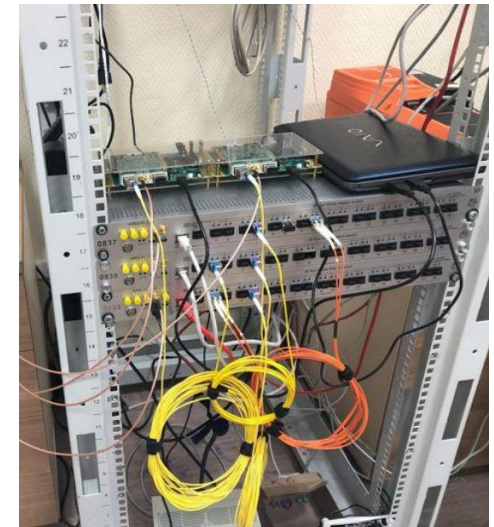
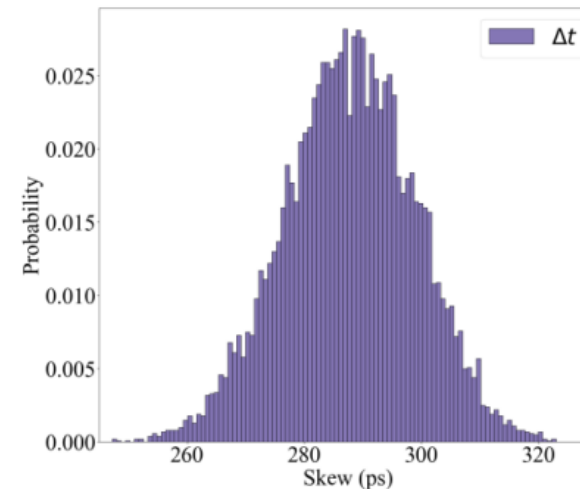
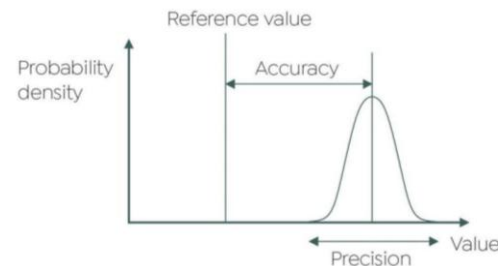
$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (t_{ref} - t_i)$$

Precision as relative rms jitter:

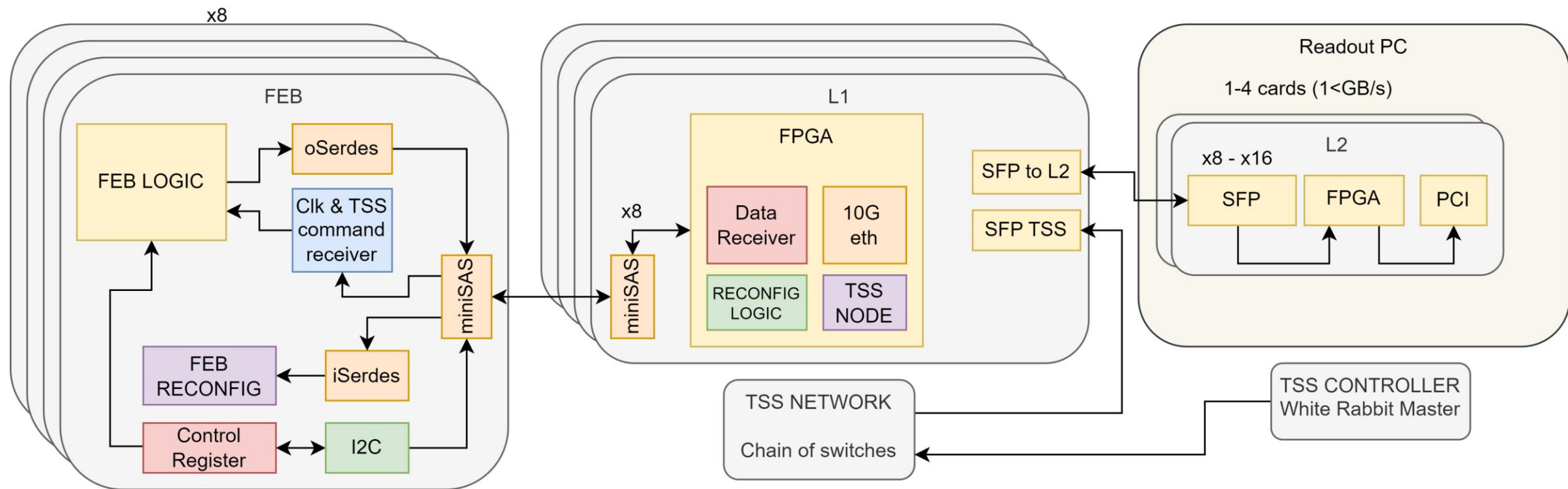
$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2}$$

SPD
requires:
< 1 ns

< 50 ps



Цепочка чтения



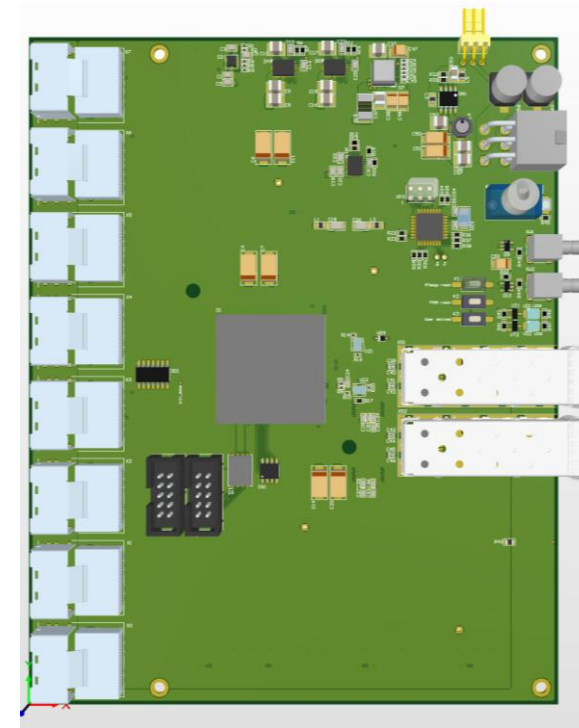
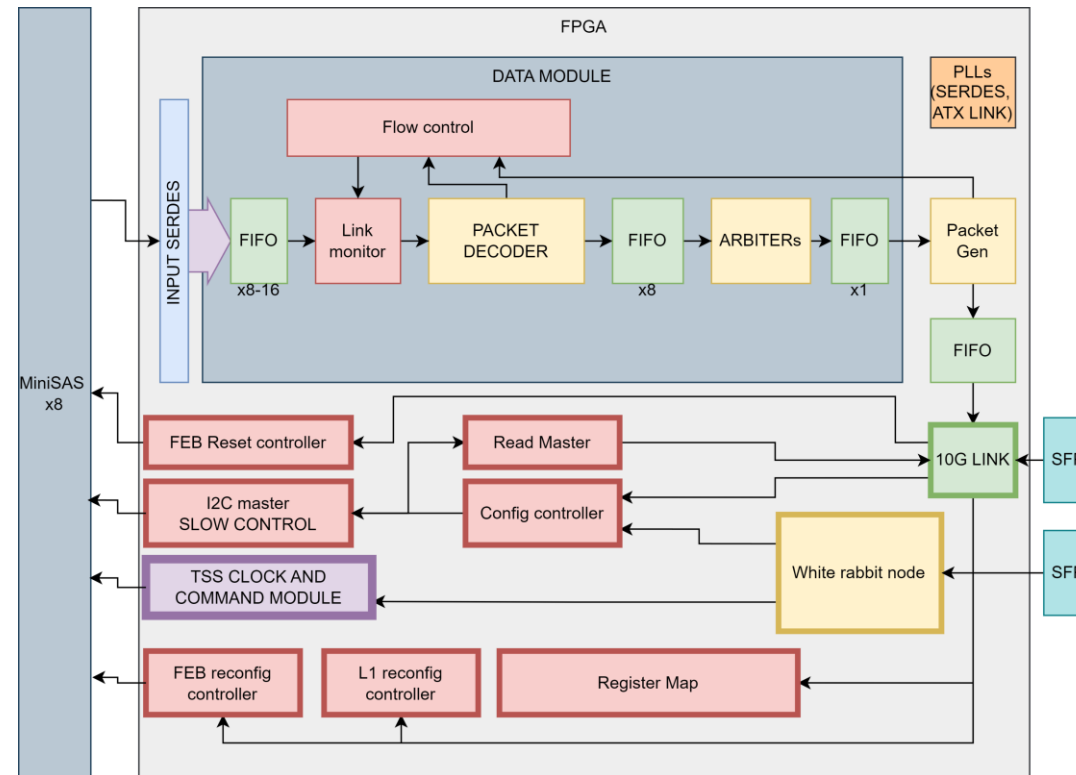
L1 концентратор

Аппаратная платформа:

- Целевая FPGA Cyclone 10GX (105YF780E6G)
- Опциональная FPGA Pangomicro Titan 2
- 8х разъемов MiniSAS (8 дифференциальных пар и 8 однополярных линий на 1 разъем)
- SFP+ 10Gb приемопередатчик для подключения к L2 концентратору
- SFP+ Приемопередатчик для организации работы TSS
- Пропускная способность 1 Gb/s между FEB и L1

Задачи концентратора:

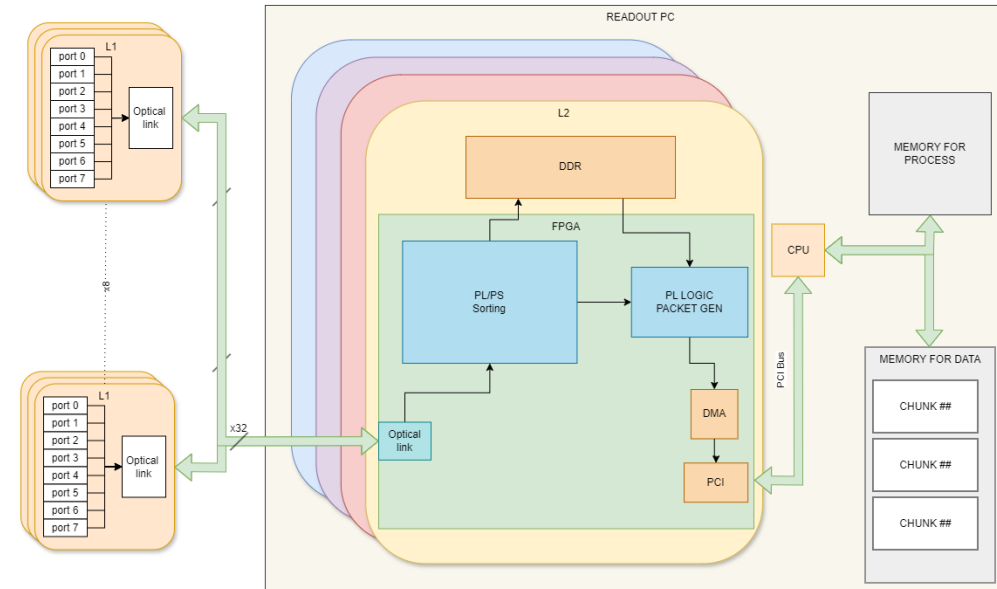
- Сбор данных с FEB, контроль целостности данных, контроль потока данных
- Прием и распределение глобального тактового сигнала и команд от TSS контроллера
- Переконфигурирование FEB и реконфигурация FEB Firmware



L2 концентратор

Аппаратная платформа:

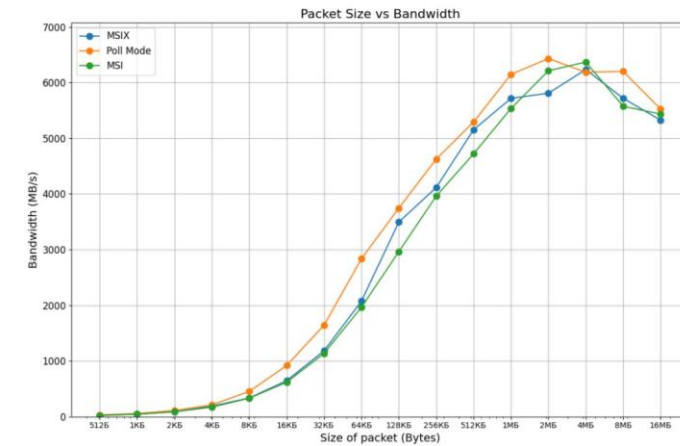
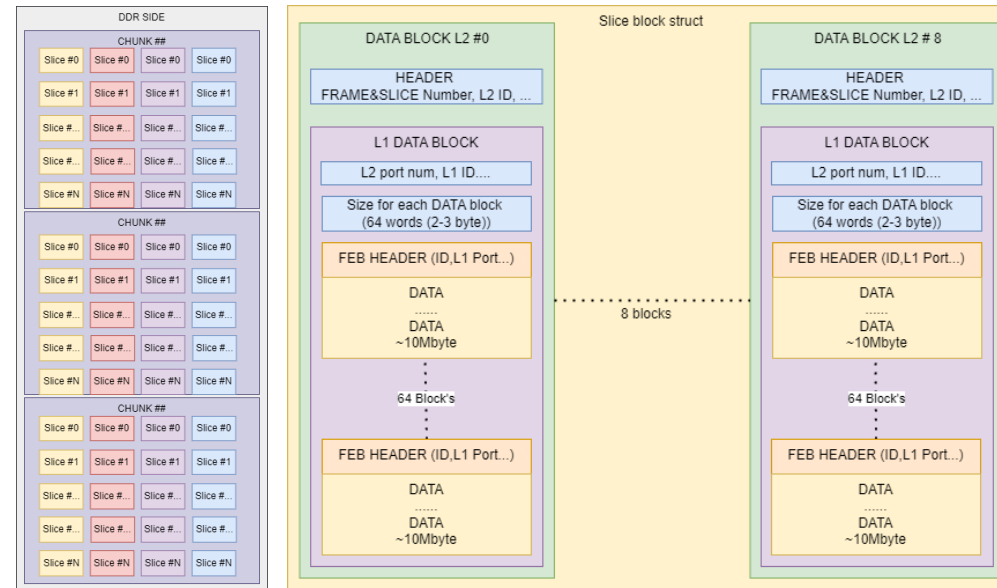
- Отладочная плата ALINX Z19-P
- FPGA: AMD Zynq UltraScale+ MPSoC XCZU19EG
- ARM Cortex-A53 x4, Cortex-R5 x2
- До 16 SFP приемопередатчиков для подключения к L1
- PCIe 3.0 x8 с пропускной способностью до 15 GB/s (6.5 GB/s достигнуто на данный момент)
- Внешняя DDR4 память 4+4 GB



Возможно, создание своей платформы.

Задачи концентратора:

- Прием данных с концентраторов уровня L1
- Сортировка данных по слайсам и буферизация во внешней DDR памяти.
- Передача отсортированных данных в Readout computer
- Организация управления внутренними регистрами L1 и регистрами FEB через L1
- Переконфигурирование FEB через L1



Компьютерная часть DAQ

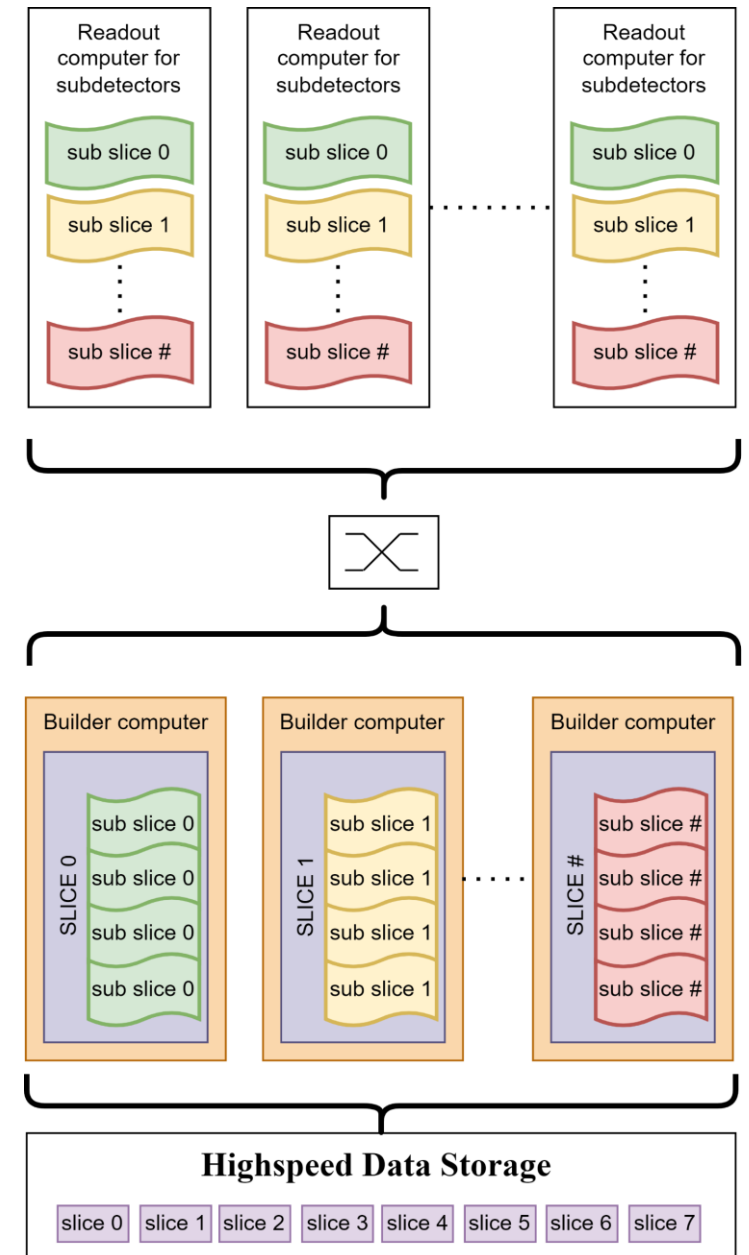
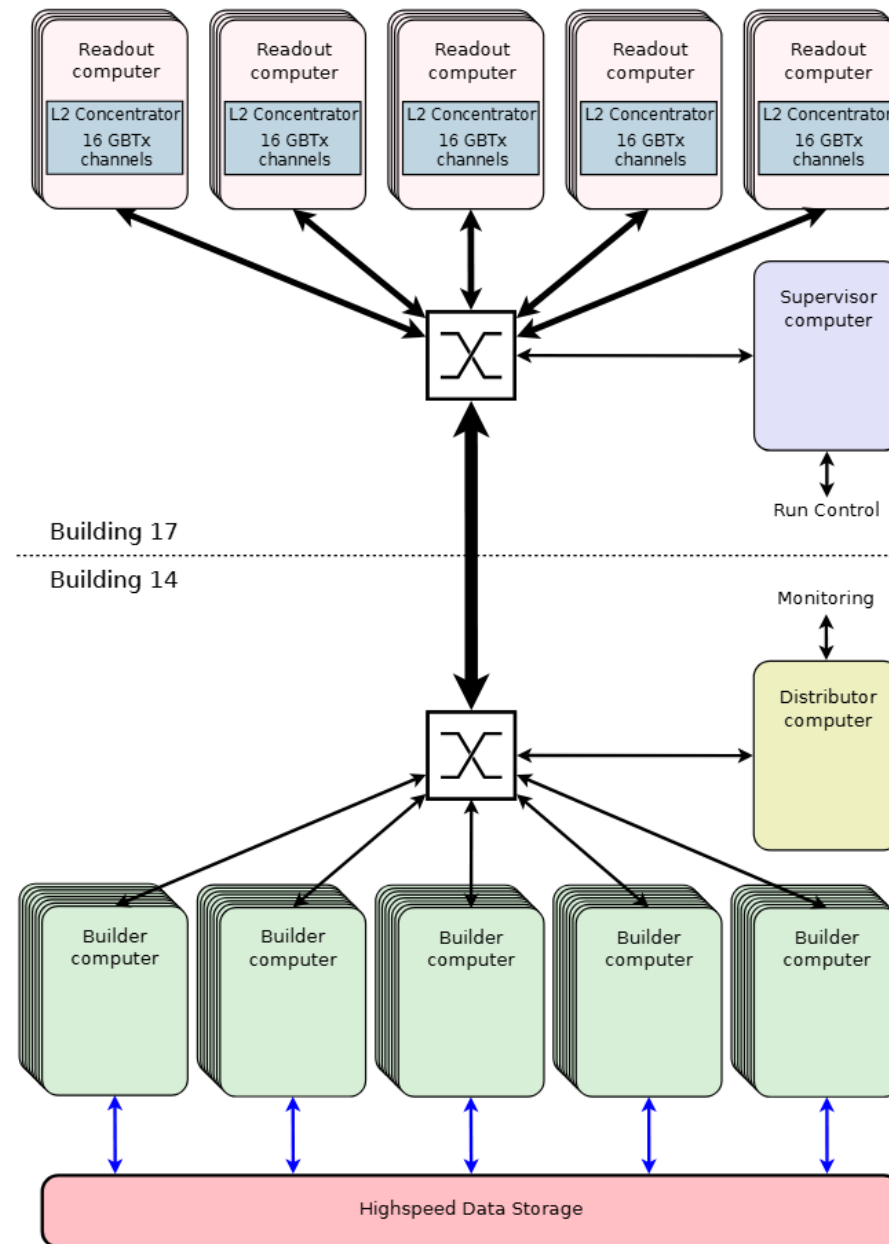
Readout computer – Формирование и буферизация части slice, относящихся к конкретной группе детекторов,

Builder computer – Формирование цельного slice из данных каждого readout computer и сохранение в промежуточное хранилище

Distributor computer – организация мониторинга работы системы

Supervisor computer – Управление набором данных и цепочками чтения

Highspeed Data Storage – промежуточное хранилище объемом 2-4 PByte для хранения данных подготовленных для онлайн фильтра.



Заключение

Разрабатываемая система сбора данных строится на базе современных и коммерчески доступных технологиях. Что упрощает её масштабируемость и исключает необходимость *“зависеть от тяжело доступных технологий”*.

Ожидается, что такой тип DAQ способен обеспечить необходимую пропускную способность до 20 ГБ/с и при этом сохранить все интересующие физические данные.

Система синхронизации, в частности технология White Rabbit способна обеспечить необходимую точность выставление временной метки для последующего группирования данных.



МЕЖДУНАРОДНАЯ
МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**



Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**



ПОЛИТЕХ

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого



Спасибо за внимание