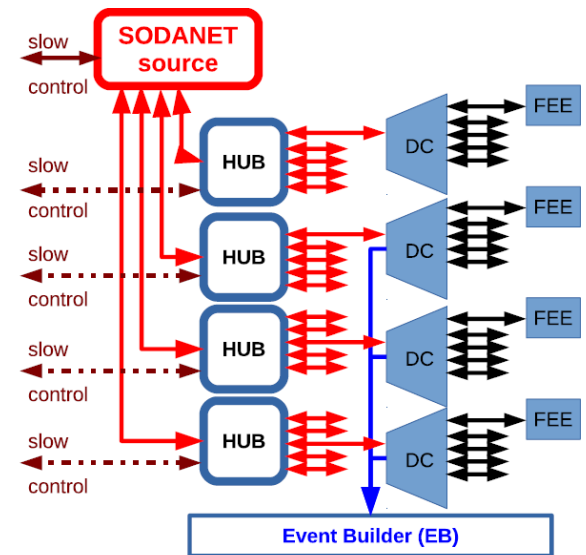


TRB – SODA INTEGRATION

Grzegorz Korcyl – STT Readout Workshop 2017
FAIS, Uniwersytet Jagielloński

SODANet

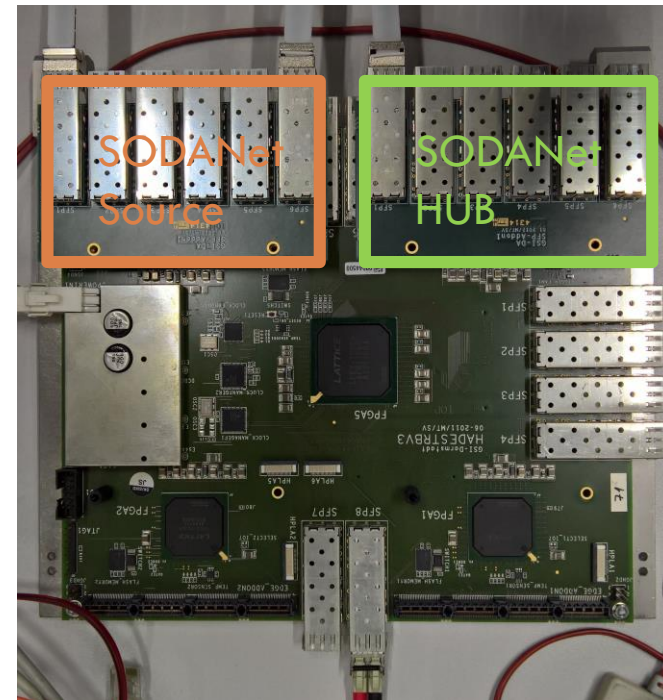
- Synchronization system for PANDA subsystems
 - Based on TrbNet
- One SODANet Source
 - Generates clock signal (200 MHz)
 - Clock phase synchronization
 - Generates superburst update signals (26 kHz)
 - Time synchronization
 - Generates superburst number
 - Event synchronization
 - Slow control messages Gateway (standard TrbNet)
- Multiple SODANet Hubs
 - Distribution to multiple outputs (hubs or endpoints)
 - Transparent
- Multiple SODANet Endpoints (subsystems, DC)



M. Kavatsyuk

SODANet on TRB

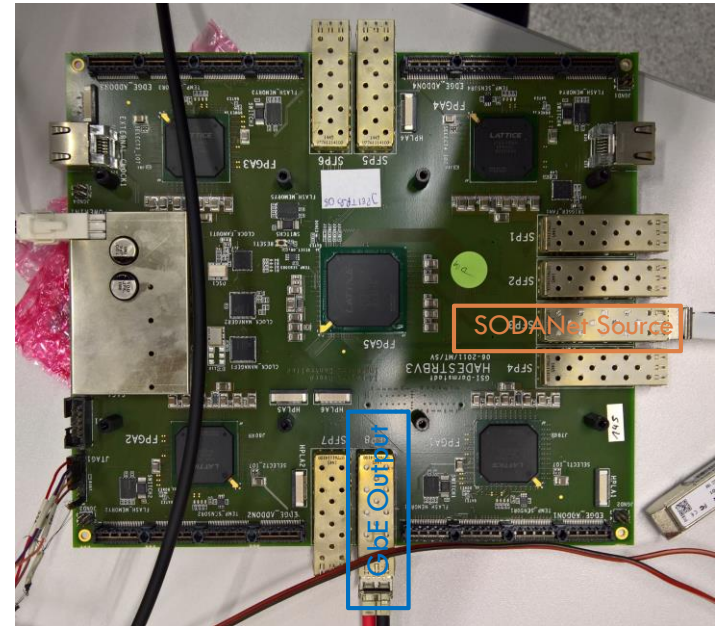
- One peripheral FPGA as SODANet Source design
 - ▣ Requires HUB Addon
 - ▣ 3 synchronous optical outputs
- Peripheral FPGAs as SODANet HUBs design
 - ▣ Requires HUB Addon
 - ▣ One SODANet Source optical input
 - ▣ 3 synchronous optical outputs
- Central FPGA as Slow Control Gateway
 - ▣ TrbNet over GbE



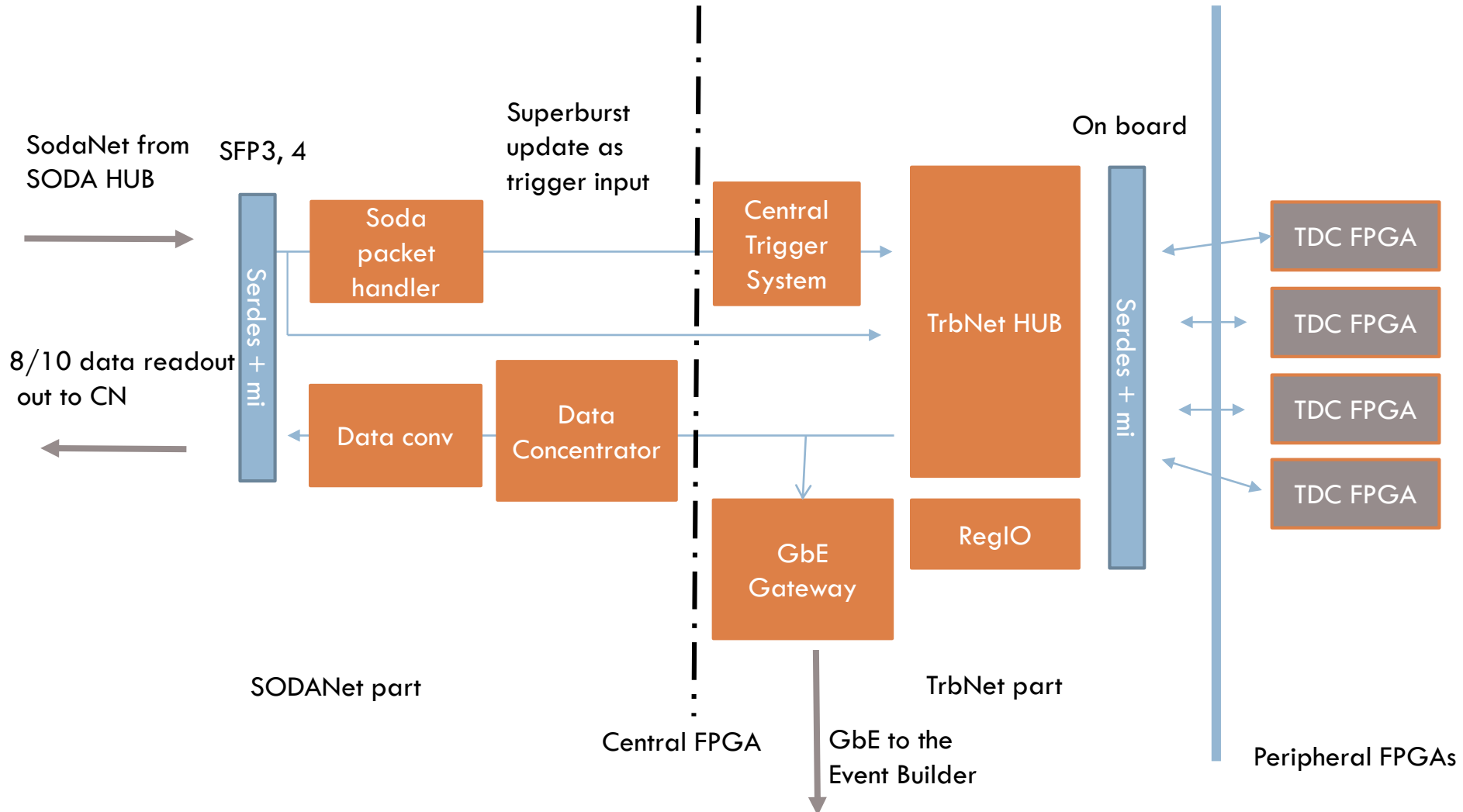
SODANet TRB Endpoint

- Central FPGA
 - ▣ SODANet stream input
 - ▣ Recovery:
 - Synchronous 200MHz clock
 - SP update signal
 - SP numer
 - ▣ Internal trigger generation for peripheral FPGAs
 - ▣ Readout data collection
 - SP numer tagging
 - Transmission to the Event Builder
 - GbE for direct connection
 - 8b/10b for Compute Node

- Only central FPGA with custom design!

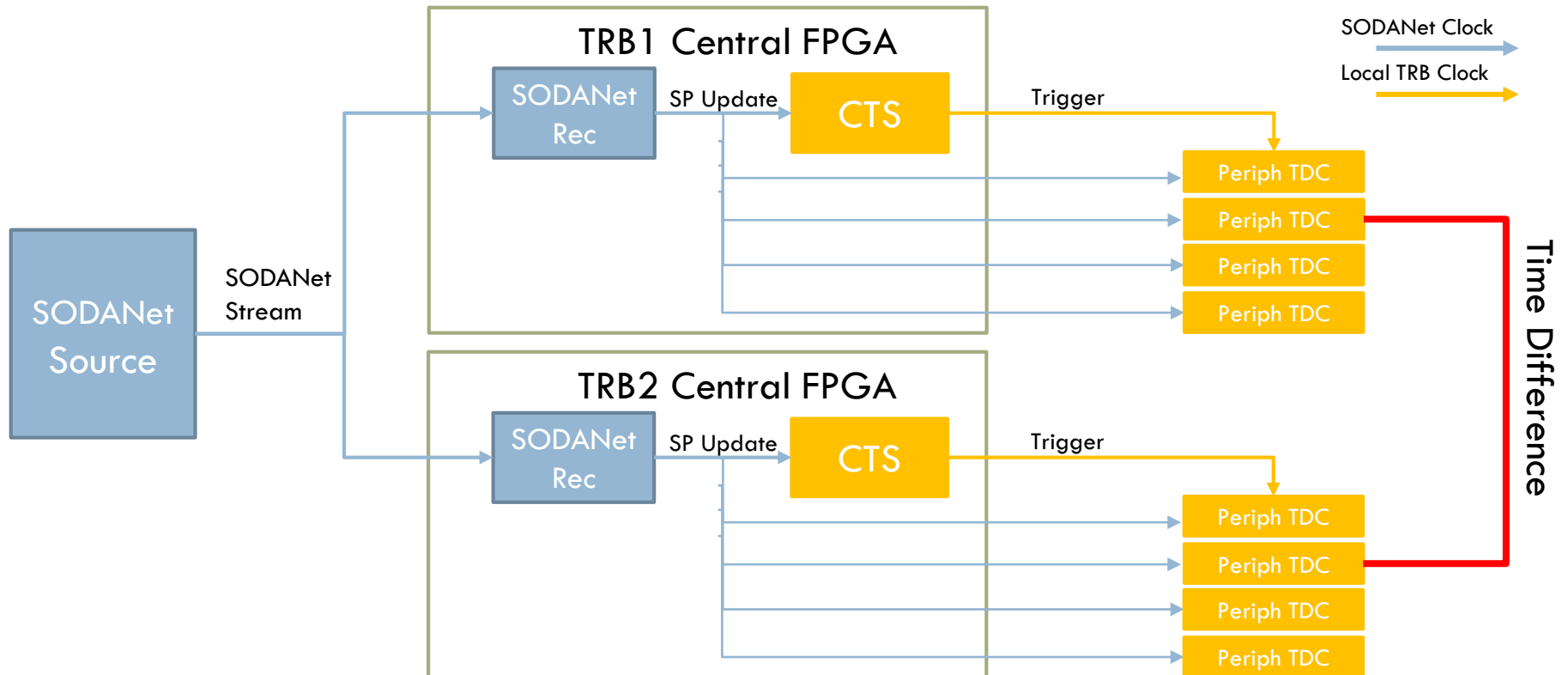


SODANet TRB Endpoint



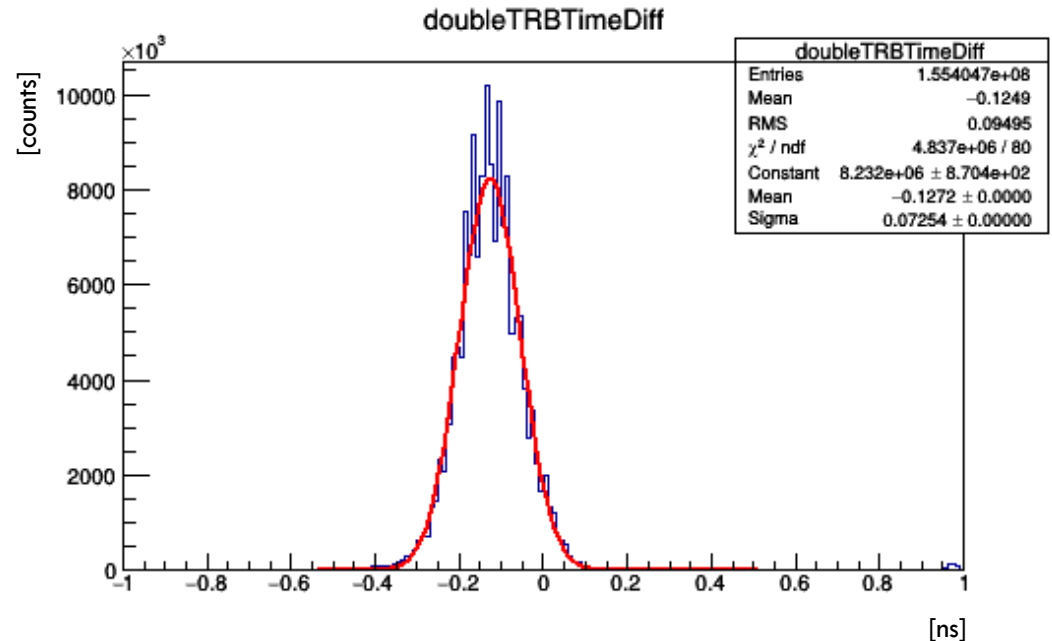
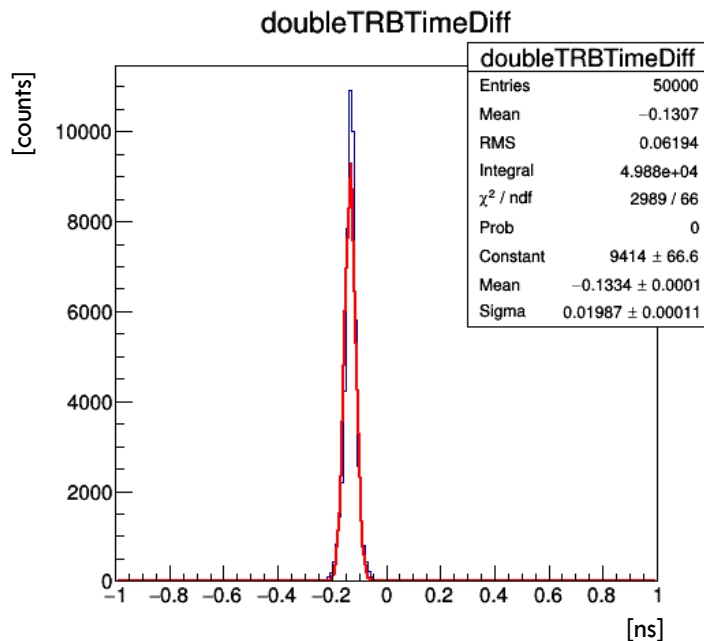
Measurement Setup

- One SODANet Source and two SODANet TRB Endp
 - ▣ Deliver recovered SP update signal to the TDCs and measure time difference



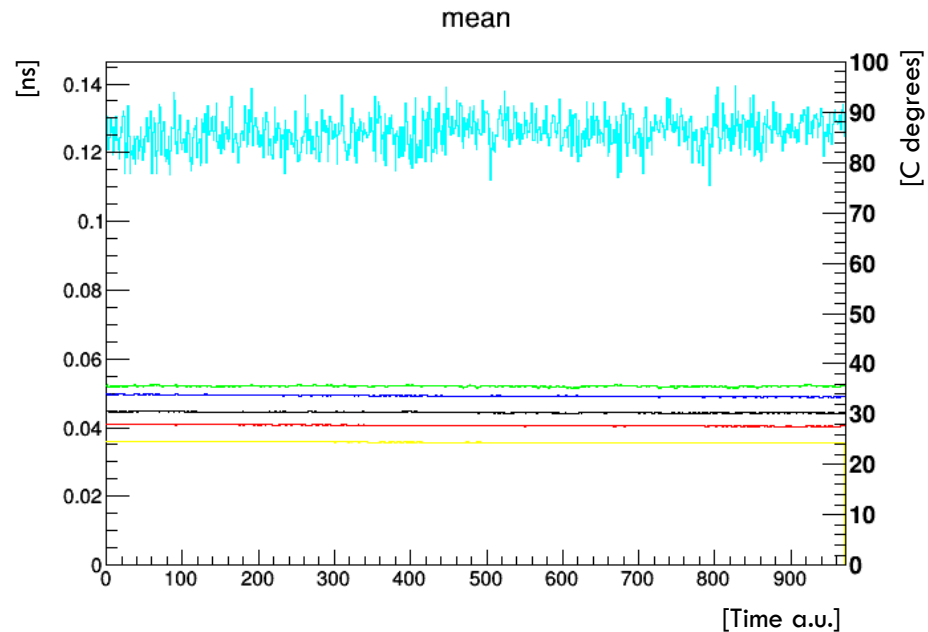
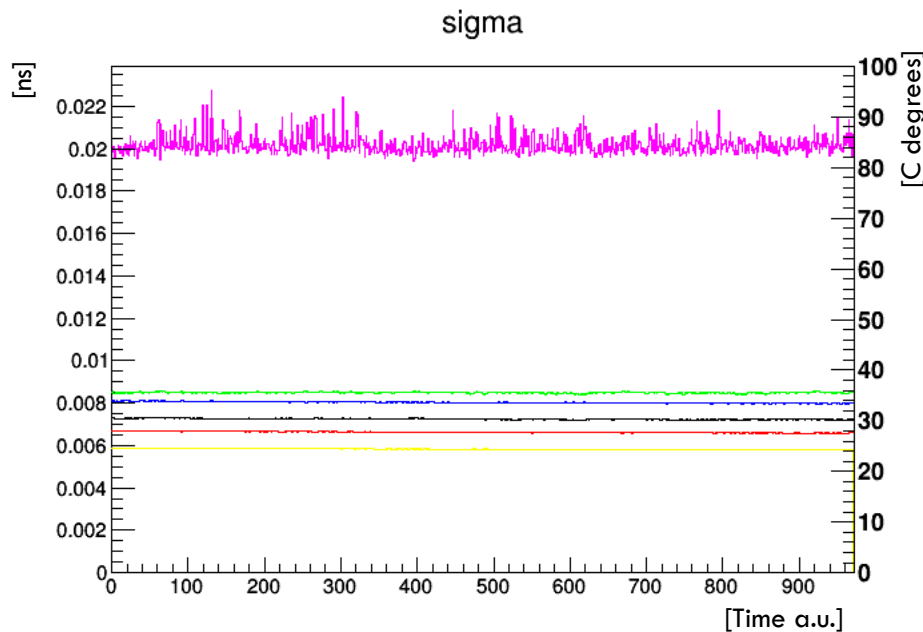
Measurement Results pt 1

- Short run (couple min)
- Sigma 20 ps
- Close to TDC resolution
- Long run (couple hrs)
- Sigma 76 ps



Measurement Results pt2

- Long lasting run with periodical recording of
 - ▣ Sigma and mean value of time difference
 - ▣ Temperature on involved FPGAs

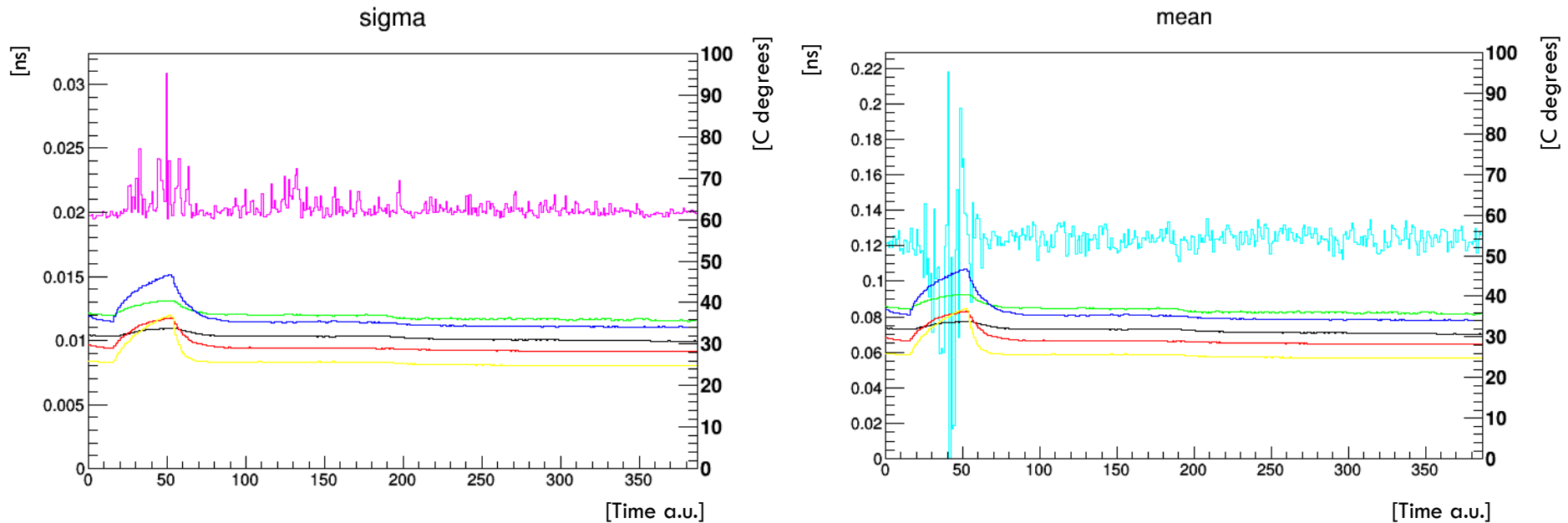


□ Up to 10% jitter

□ Intense 20% jitter range

Measurement Results pt3

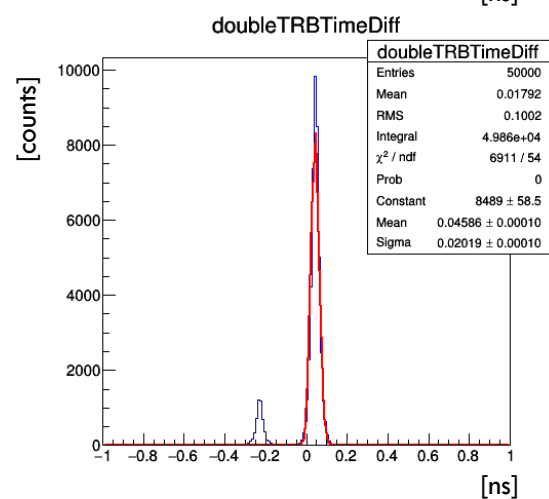
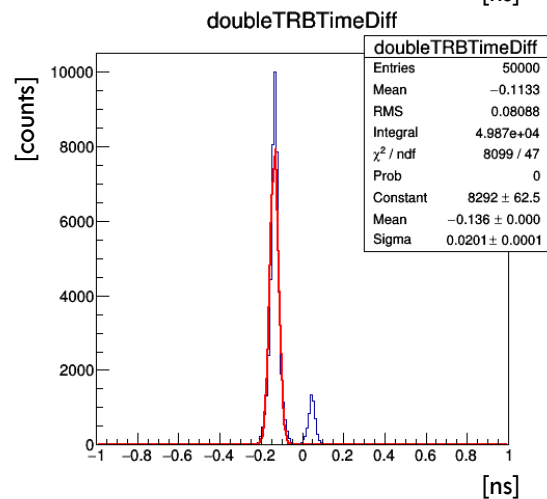
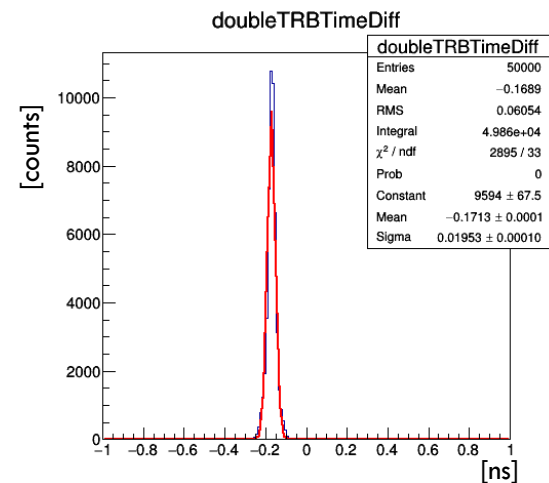
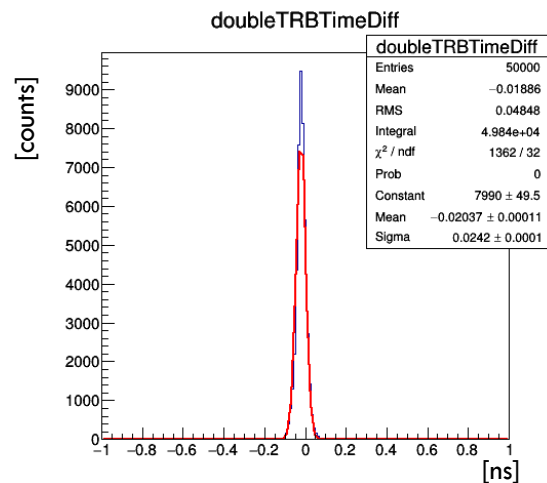
- Long lasting run with periodical recording of
 - ▣ Sigma and mean value of time difference
 - ▣ Temperature on involved FPGAs
- Forced temperature change



- Temperature influences both:
 - ▣ Clock receiver and synchronizer
 - ▣ TDC delay chain

Measurement Results Pt4

Selected partial measurement points

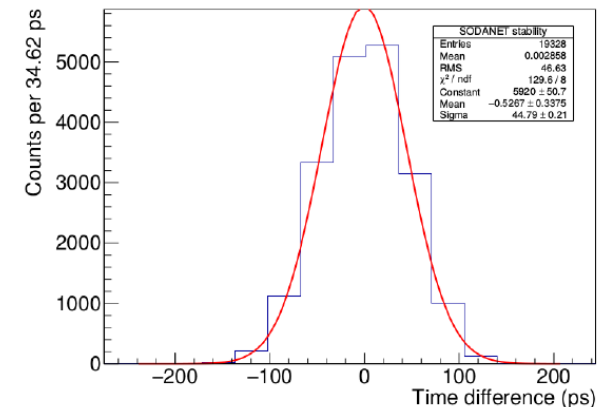


Conclusions

- SODANet TRB Endpoint implemented
 - SB update recovery
 - SB numer tagging
 - Plug and play
 - Custom central and standard peripheral designs
- Test setup constructed and under evaluation
- First measurements
 - SODANet signal jitter sigma: 20 ps short, 76 ps long run
 - Compared to Myroslav calculated result 65 ps
 - TDC calibration might influence the result

Jitter on SODANET

Typical T1 measurement
(time difference between recovered "SB start" signals)



Jitter of recovered "SB start" $\sim \sqrt{((47^2 - 17^2)/2)} = 29$ ps

M. Kavatsyuk

TRB DATA PROCESSING PLATFORM

Grzegorz Korcyl – STT Readout Workshop 2017
FAIS, Uniwersytet Jagielloński

Online Data Processing Platform

- Hardware, firmware and software infrastructure for:
 - ▣ Receiving GbE data streams from TRBs
 - ▣ Event building and synchronization
 - ▣ Detector geometry mapping
 - ▣ TDC data recovery
- Streamlined data decomposition – no dead time
- Pipelined analysis
- Parallel analysis

Processing Hardware

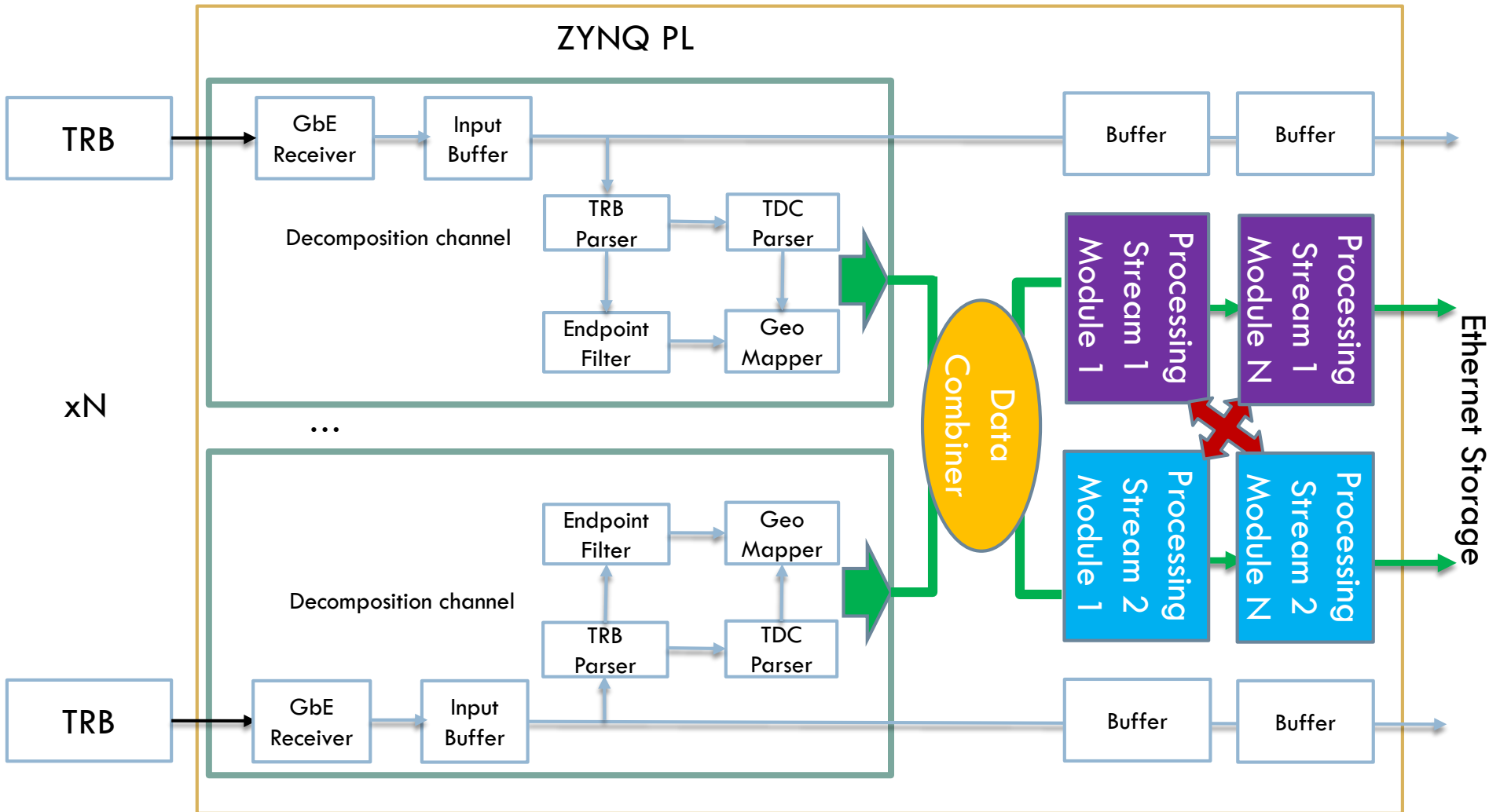
- JPET Controller (by NE M. Kajetanowicz)
 - Xilinx Zynq 7045
 - 16x SFP
 - 4Gb DDR3
 - SODIMM
 - 6x RJ45, USB, USB-UART, SD

- Zynq Programmable Logic
 - Equivalent of XC7K325T
 - Online processing

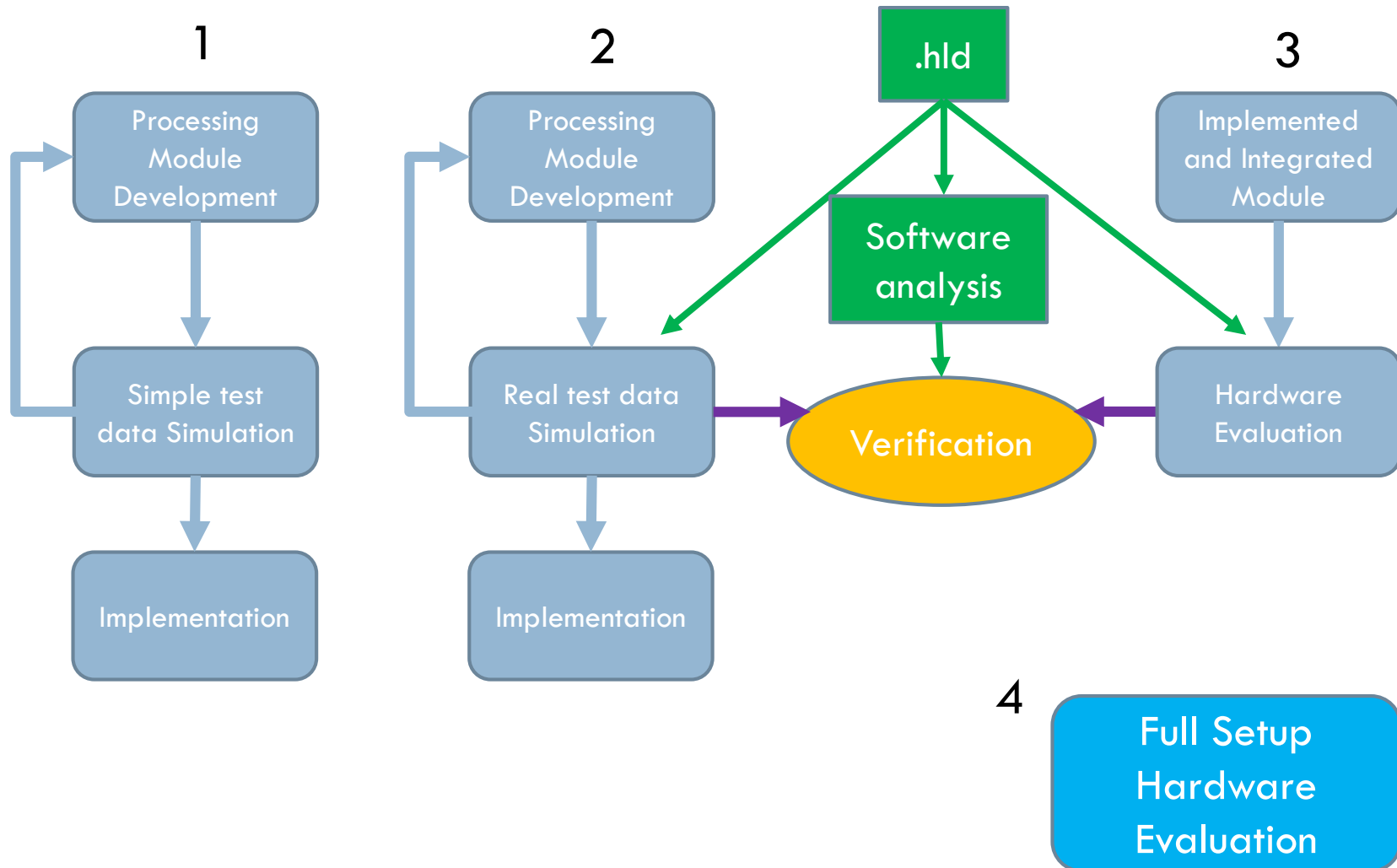
- Zynq Processing System
 - Dual-core ARM Cortex-A9
 - Slow control and monitoring
 - High-level algorithms possible but out of online path



Processing Firmware



Development Workflow



Example Application pt1

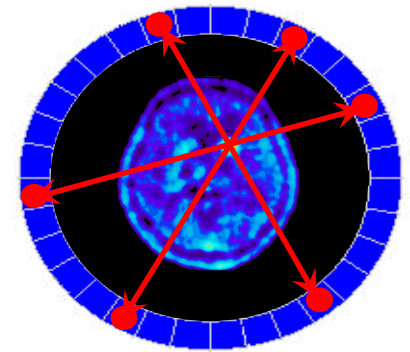
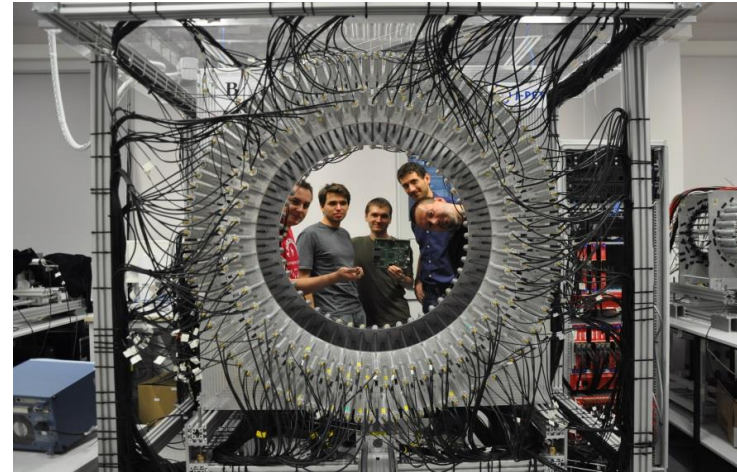
□ JPET Tomograph prototype

□ Readout

- TRBs record hits on scintillators
- Continuous readout
 - Trigger 50kHz, 20 us timeslots

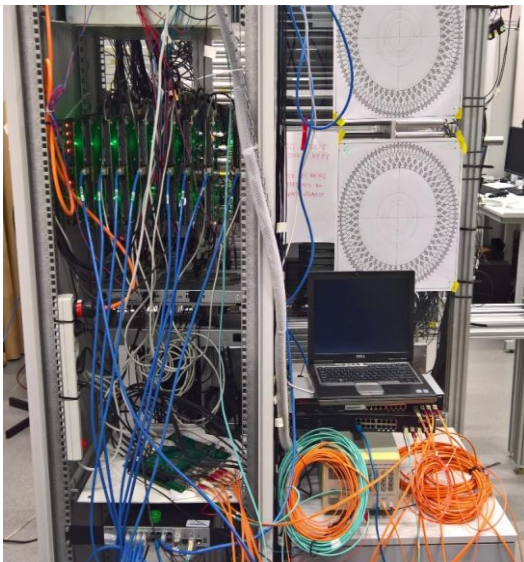
□ JPET Controller processing

- Event building, parsing, mapping and hits times recovery
- 300ns time window scan for coincidences
- Event filtering/marking
- Slow Control and monitoring (xSC by P. Strzempek)

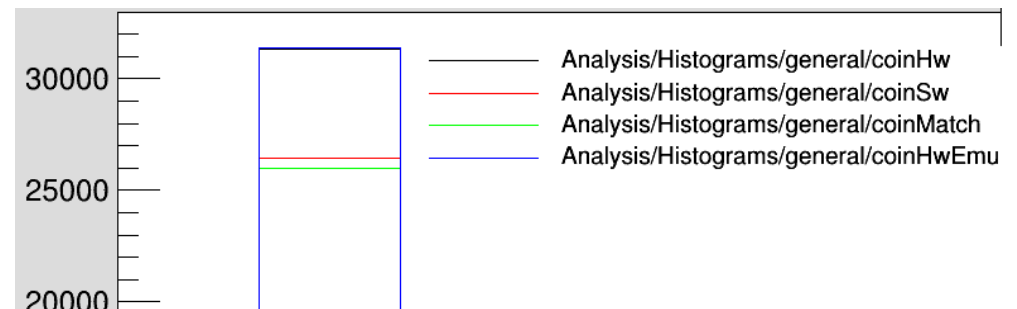


Example Application pt2

- System constructed, algorithms implemented
 - ▣ 8x input TRBs, 8x GbE outputs
 - ▣ Stable and long-lasting runs
 - ▣ Data volume reduction from 30% up to 99% depending on particular run conditions
 - ▣ Online image reconstruction is the aim!



Resource	Utilization	Available	Utilization %
LUT	140776	218600	64.40
LUTRAM	490	70400	0.70
FF	157776	437200	36.09
BRAM	184	545	33.76
IO	22	362	6.08
GT	16	16	100.00
BUFG	19	32	59.38
MCMC	5	8	62.50



Conclusions

- Platform for online processing of TRB data has been developed, together with design and evaluation environment
- Applicable for synchronized data sources with continuous readout
- Positively evaluated for JPET system
- Portable between Series 7 Xilinx devices
- Opens wide possibility for implementing online processing algorithms, like tracking on straws



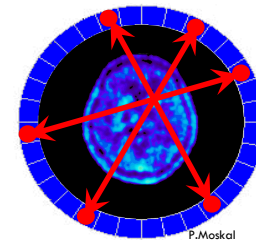
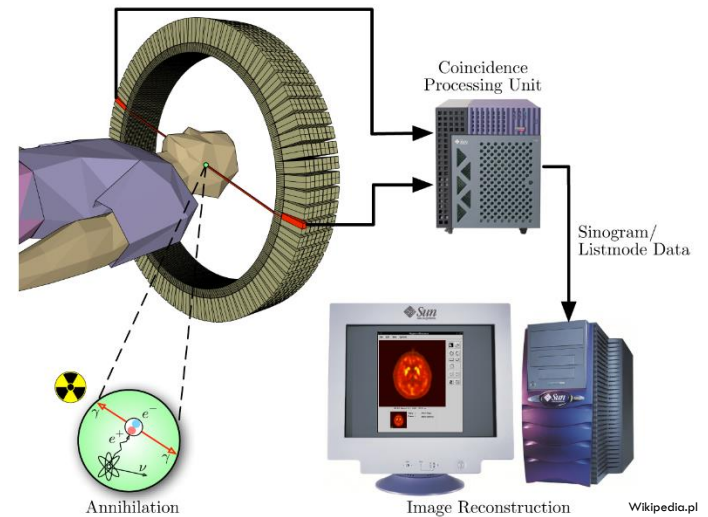




Tomografia PET

□ Technika obrazowania medycznego

1. Promieniotwórcza glukoza
2. Emisja kwantów gamma
3. Rejestracja kwantów
4. Rekonstrukcja toru przelotu
5. Rekonstrukcja obrazu



Tomografia PET

□ W Polsce 26 urządzeń (wikipedia.pl Listopad 2016)

□ Ostatnie w 2015 we Wrocławiu GE Discovery IQ

- ▣ Kryształy scyntylacyjne
- ▣ Krzemowe fotopowielacze
- ▣ 8 mln PLN



Gehealthcare.com



Figure 2.3. Positron emission tomography scanners, per million population, 2010 (or latest year available)

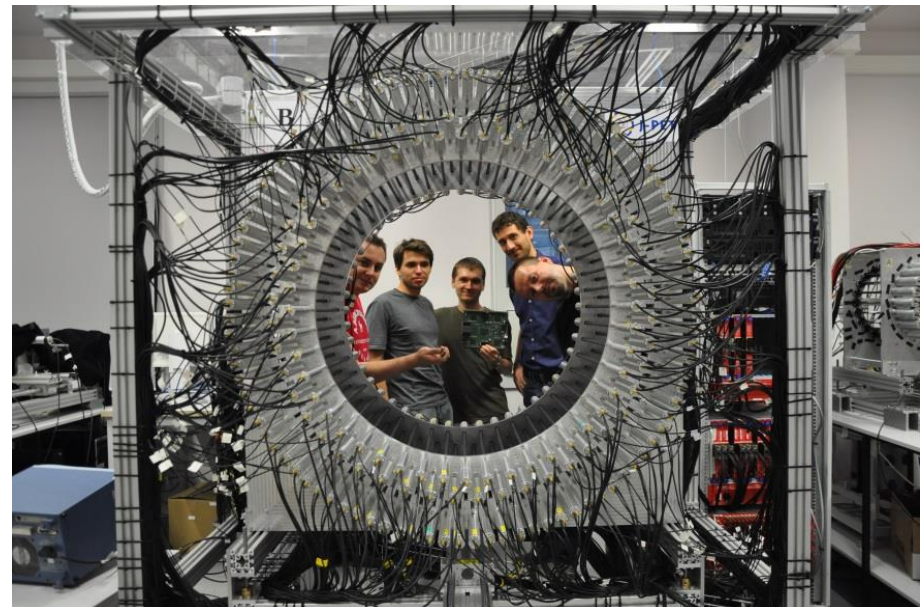
	PET scanners, per million population	
	2010	
Iceland	0	
Greece	0.35	
Hungary (2009)	0.4	2009
Poland (2009)	0.42	2009
Slovak Republic (2009)	0.55	2009
Czech Republic (2009)	0.57	2009
Estonia (2009)	0.75	2009
France	0.91	
Israel	0.92	
Slovenia	0.99	
Turkey	1.01	
New Zealand	1.15	
Spain	1.15	
Germany (2009)	1.18	2009
Canada	1.19	
Australia	1.39	
Finland	1.49	
Ireland	1.57	
Luxembourg	1.99	
Austria (2009)	2.03	2009
Italy (2009)	2.04	2009
Belgium (2009)	2.50	2009
United States (2008)	3.06	2008
Korea	3.07	
Switzerland	3.07	
Japan (2008)	3.68	2008
Netherlands	4.81	2009
Denmark (2009)	5.62	2009

JagiellonianPET

- Zaprojektowany i zbudowany w ciągu 6 lat
 - ▣ Pierwsze zgłoszenie patentowe w roku 2009
 - ▣ Doświadczenie i technologie odziedziczone z dużych eksperymentów fizycznych
 - ▣ Grupa około 50 osób
 - ▣ Ponad 50 artykułów naukowych
 - ▣ 16 zgłoszeń patentowych

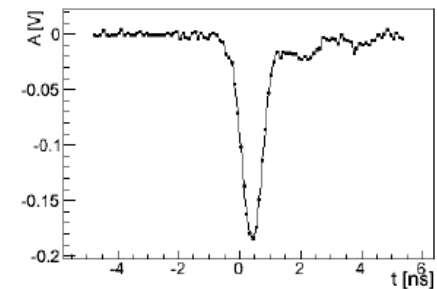
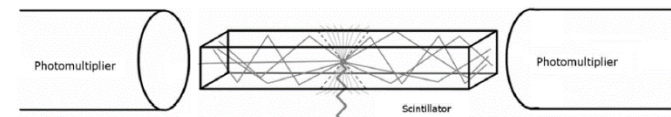
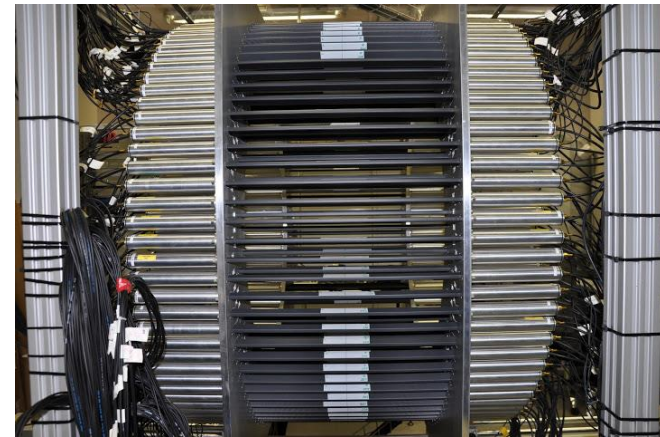
Moskal P.: Strip device and the method for the determination of the place and response time of the gamma quanta and the application of the device for the Positron Emission Tomography.
Patent Application No. P 388 555 [WIPO ST 10/C PL388555], 2009

- Działające urządzenie!



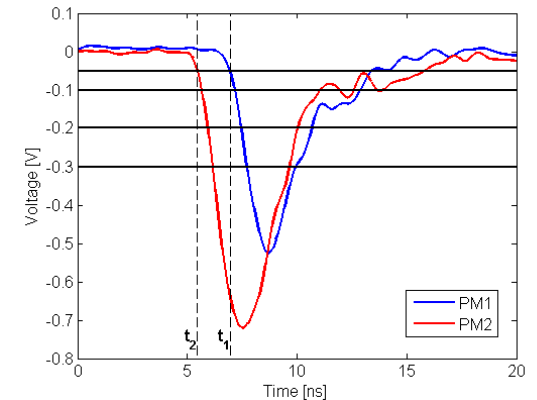
JagiellonianPET

- Moduł detekcyjny
 - Plastikowy scyntylator
 - Lampowe fotopowielacze
- JPET
 - 3 warstwy
 - 192 moduły
 - 384 fotopowielacze



Sygnały analogowe

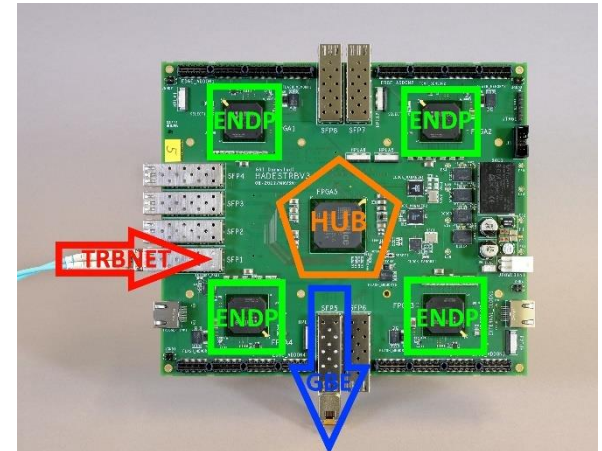
- Digitalizacja sygnałów
 - Minimum części analogowej
 - Wzmocnienie sygnału
 - Rozdzielenie na 4 ścieżki
 - 1536 kanały do pomiaru
 - Dyskryminacja buforami LVDS przy pinach w FPGA
 - Analogowy sygnał na wejściu +, stały poziom progu na wejściu -
 - Przełączanie stanu logicznego przy przecięciu poziomów
 - Wyjście z bufora bezpośrednio podłączone do modułu TDC
- Kompaktowe rozwiązanie, niski koszt/kanał
- PCT/EP2014/068367 (2014)



Płyta pomiarowa

- Płyta bazowa Trigger Readout Board TRB
 - Jednolity moduł do budowy większych systemów

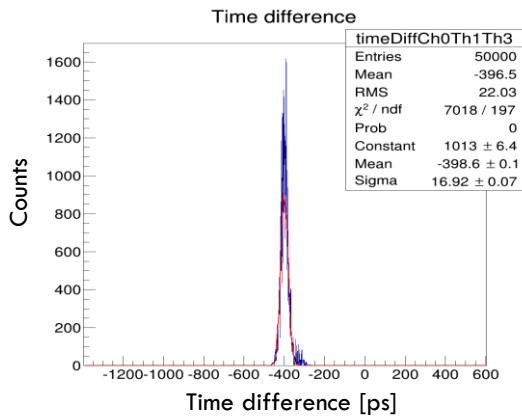
- 5x Lattice ECP3-150 FPGA
 - Centralny
 - 8x złącza optyczne
 - Zarządzanie odczytem
 - Brama dla GbE
 - Brama dla systemu kontroli
 - Kolekcja danych
 - Boczne
 - Podłączone do 208 pinowych konektorów
 - Programowane zależnie od aplikacji
 - Wysokiej rozdzielczości TDC
 - HUB optyczny
 - Moduł ADC



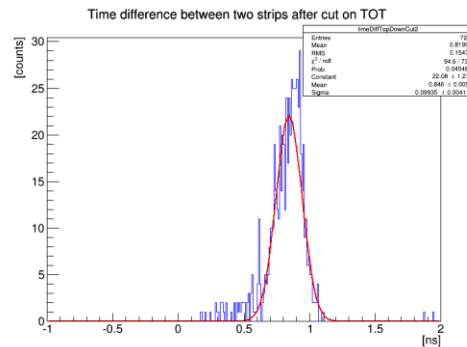
Traxler, M.; Korcyl, G.; Bayer, E.; Maier, L.; Michel, J.; Palka, M.
„A compact system for high precision time measurements (<14 ps RMS)
and integrated acquisition for a large number of channels”,
JINST 10.1088/1748-0221/6/12/C12004

Pomiar czasu

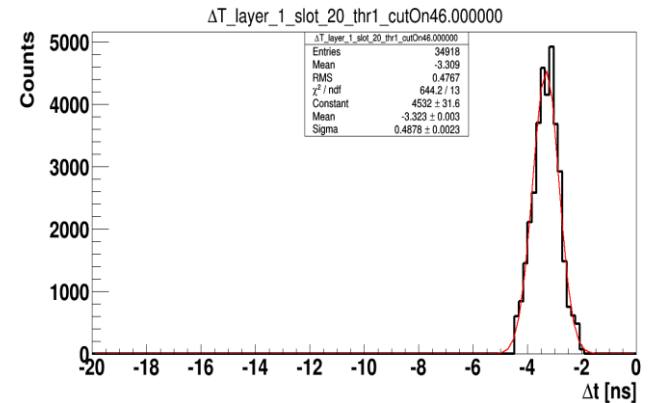
- TDC zaimplementowane w bocznych FPGA
 - ▣ 200 MHz pomiar zgrubny
 - ▣ 5 ns odcinki jako łańcuch z 370 linii przeniesienia
 - ▣ Do 64 + 1 kanałów w jednym FPGA
 - ▣ Techniki kalibracyjne



16 ps



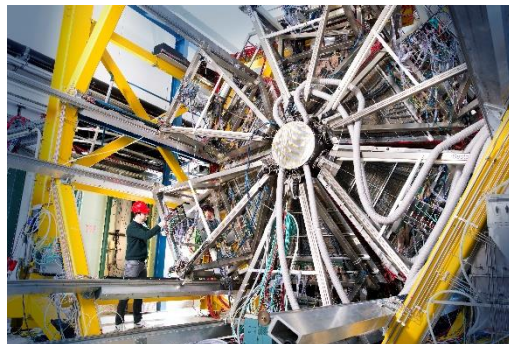
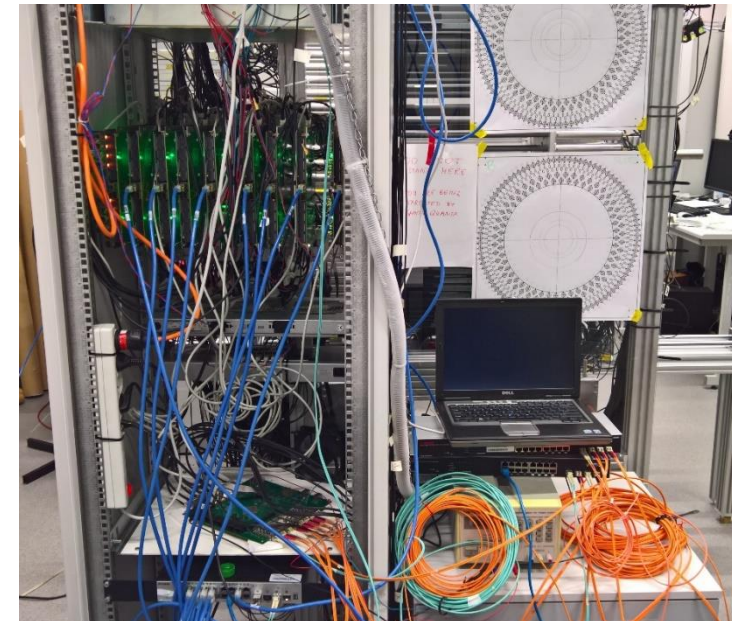
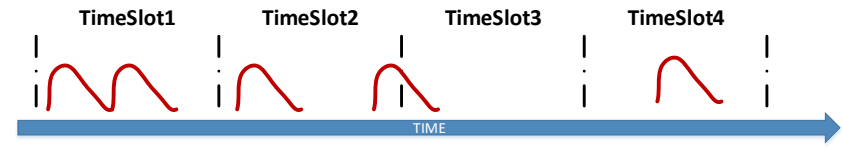
99 ps



487 ps

Zbieranie danych

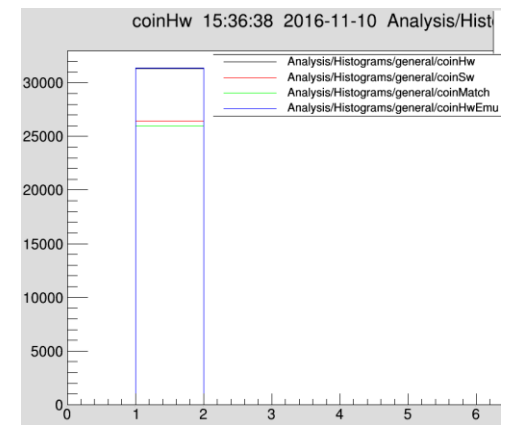
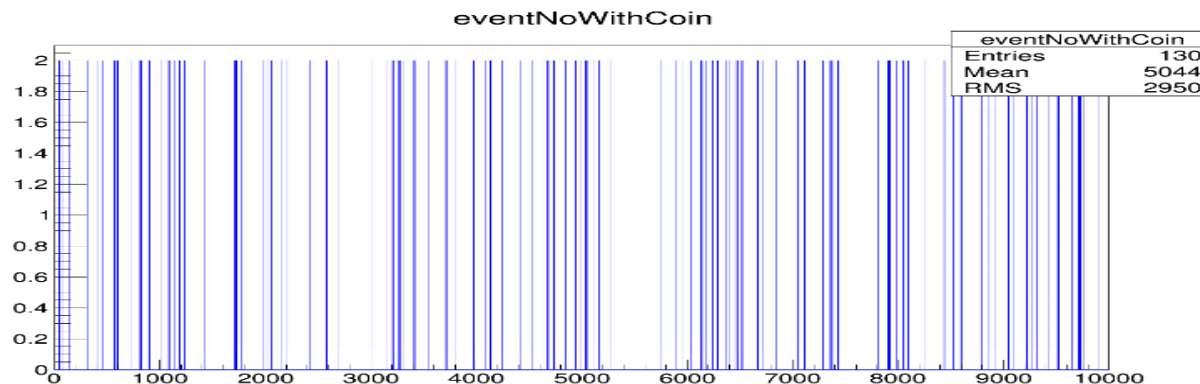
- Pomiar w trybie ciągłym
 - Buforowanie danych w okresie 20 μ s
 - Odczyt ze stałą częstotliwością 50 MHz
 - Czas martwy zredukowany do \sim 50 ns
- Zalety:
 - Brak przedwczesnej filtracji danych
 - Skrócenie całkowitego czasu pomiaru
 - Pomiar zjawisk fizycznych
- Wady:
 - Potężny potok danych do 1 GBps
 - Znaczna frakcja danych to tło
- PCT/EP2014/068352



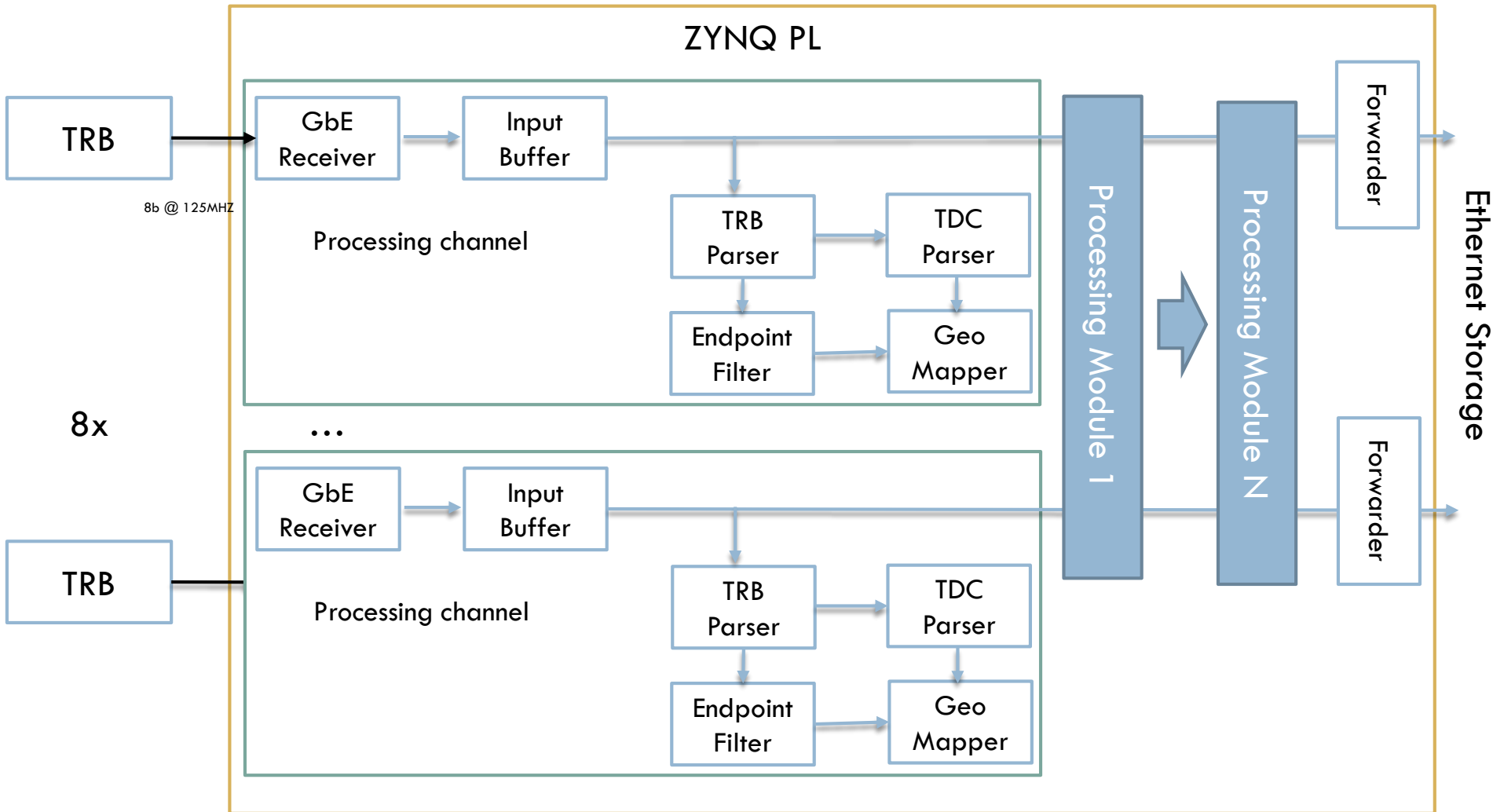
HADES @ GSI
82000 kanałów
700 MBps

JPET Kontroler

- Procesowanie danych w czasie rzeczywistym
- Kontroler
 - ▣ Xilinx Zynq 7045
 - ▣ 16x SFP
 - ▣ 4Gb DDR3
 - ▣ SODIMM
 - ▣ 6x RJ45, USB, USB-UART, SD
- Redukcja danych nawet o 99%
- Wysokie pokrycie z pełną analizą

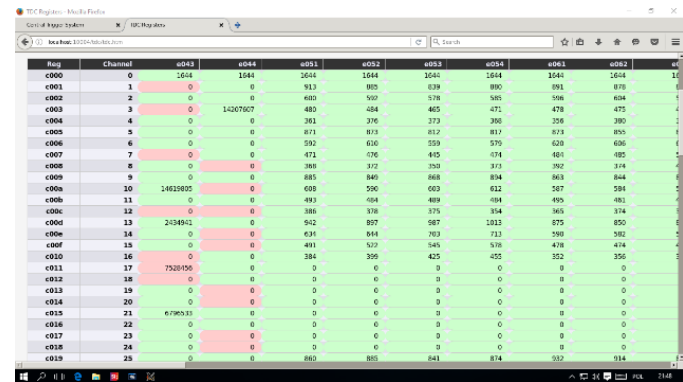
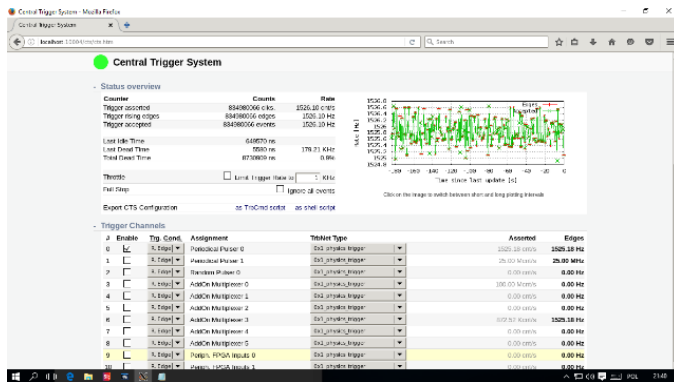


Potok przetwarzania

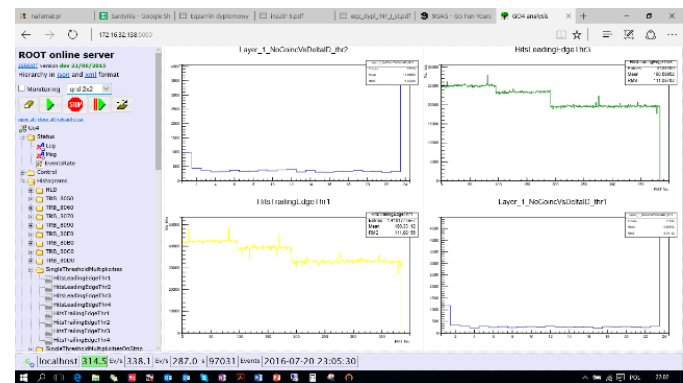
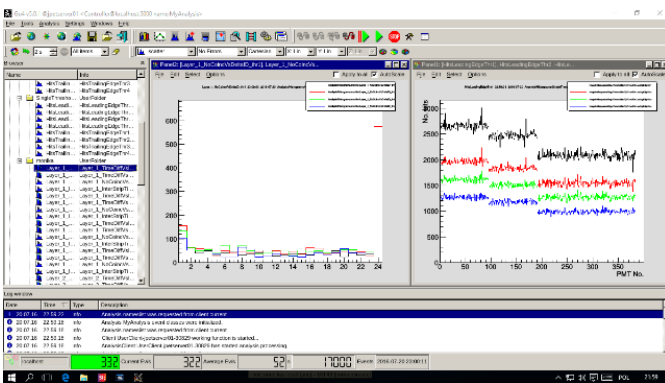


Kontrola systemu

□ Sterowanie procesem pomiaru



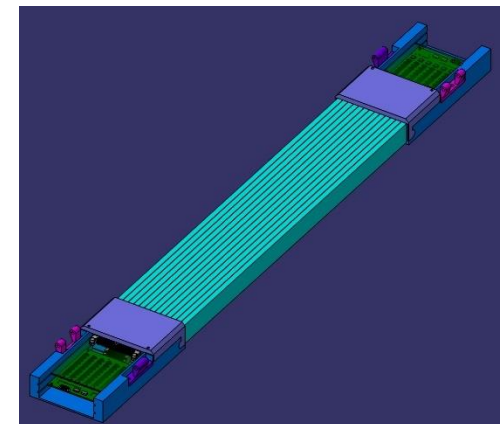
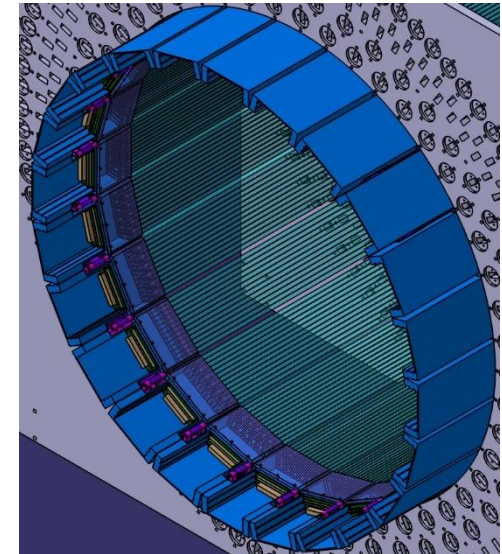
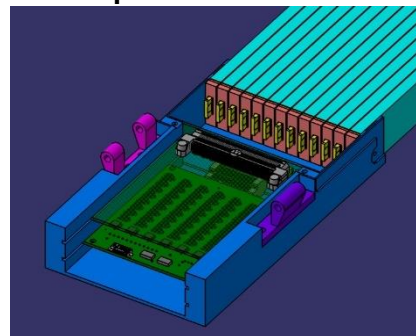
□ Niskopoziomowa ewaluacja danych na żywo



Nowa warstwa

- Moduł detekcyjny
 - 13 pasków scyntylacyjnych
 - 4 + 4 krzemowe fotopowielacze na pasek
 - Zintegrowana, cyfrowa elektronika czołowa
 - Zasilanie fotopowielaczy
 - 104 kanałowe, 30 ps TDC na Artix-200
 - Odczyt i sterowanie przez SFP
 - Wewnętrzna auto-kalibracja

- Kompaktowe rozwiązanie
- Brak wysokiego napięcia
- Wysoka gęstość fotopowielaczy
- Technologia stosowana przez GE i Philips
- Możliwość zintegrowania z MRI

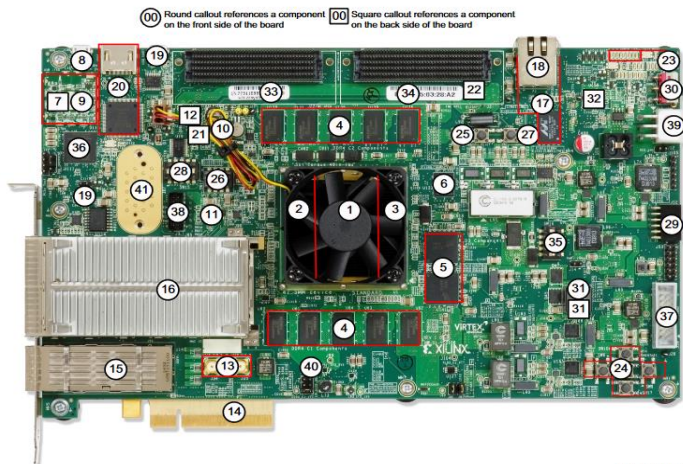
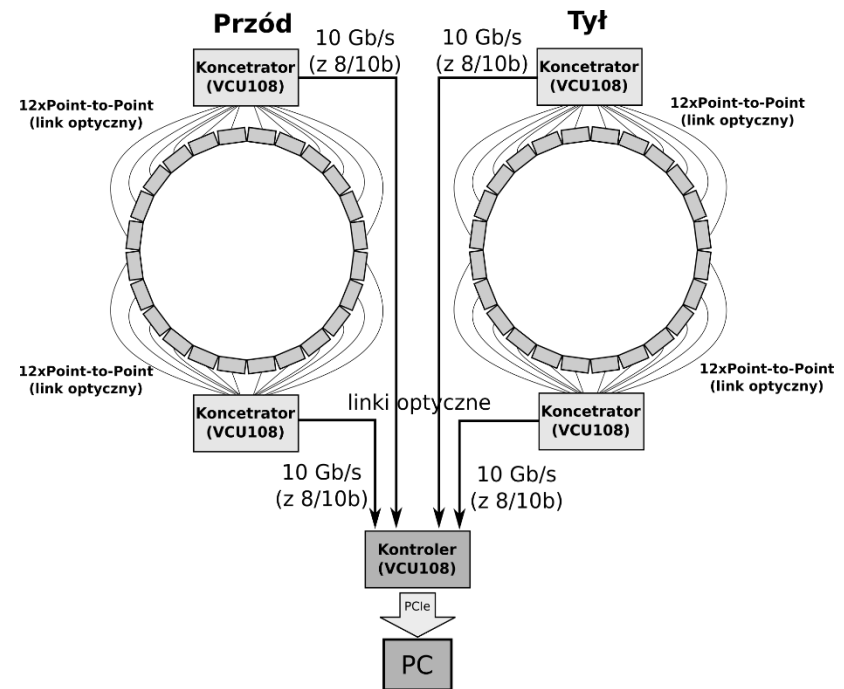


System odczytu nowej warstwy

- 24 moduły
- Każdy po 13 pasków
- 4 fotopowielacze z jednej strony
- 2 progi na fotopowielacz

- 4992 kanały TDC – potok danych do 8 GBps

- System budowany z gotowych elementów
 - Płyty VCU108 Virtex Ultrascale XCVU095-2
 - Moduły AXI



Podsumowanie

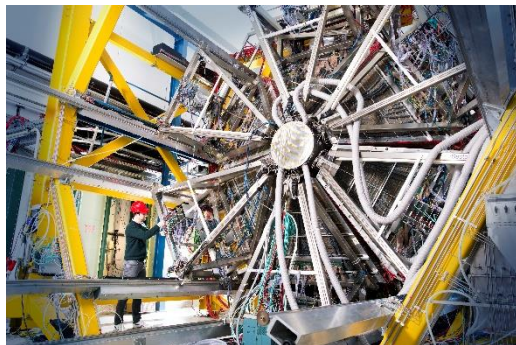
- Opracowanie pokaźnej ilości rozwiązań
 - ▣ Od syntezy scyntylatorów do oprogramowania
- Pierwsza generacja systemu w użyciu
 - ▣ Pierwszy obraz do pół roku
- Druga generacja w rozwoju
 - ▣ Operacyjna do roku
- System pomiarowy oparty w całości na układach FPGA



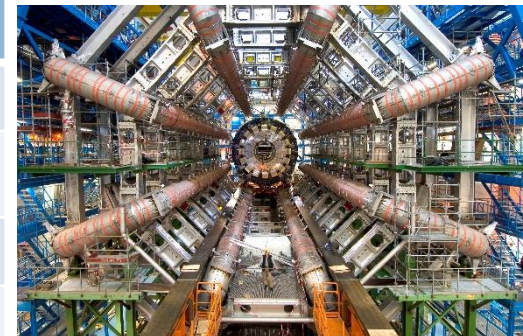


Systemy akwizycji danych

- Eksperymenty fizyczne stanowią wielkie wyzwanie w zakresie przetwarzania danych
 - ▣ Wzrastająca skala eksperymentów – ilość czujników pomiarowych
 - ▣ Wzrastająca precyzja pomiarów – wysokie częstotliwości pomiarów, wzrastająca ilość danych



	HADES (GSI)	ATLAS (CERN)
Ilość kanałów	82 000	100 000 000
Częstotliwość zdarzeń	< 100 kHz	40 MHz
Ilość podsystemów	7	9
Ilość surowych danych	700 MBps	70 TBps

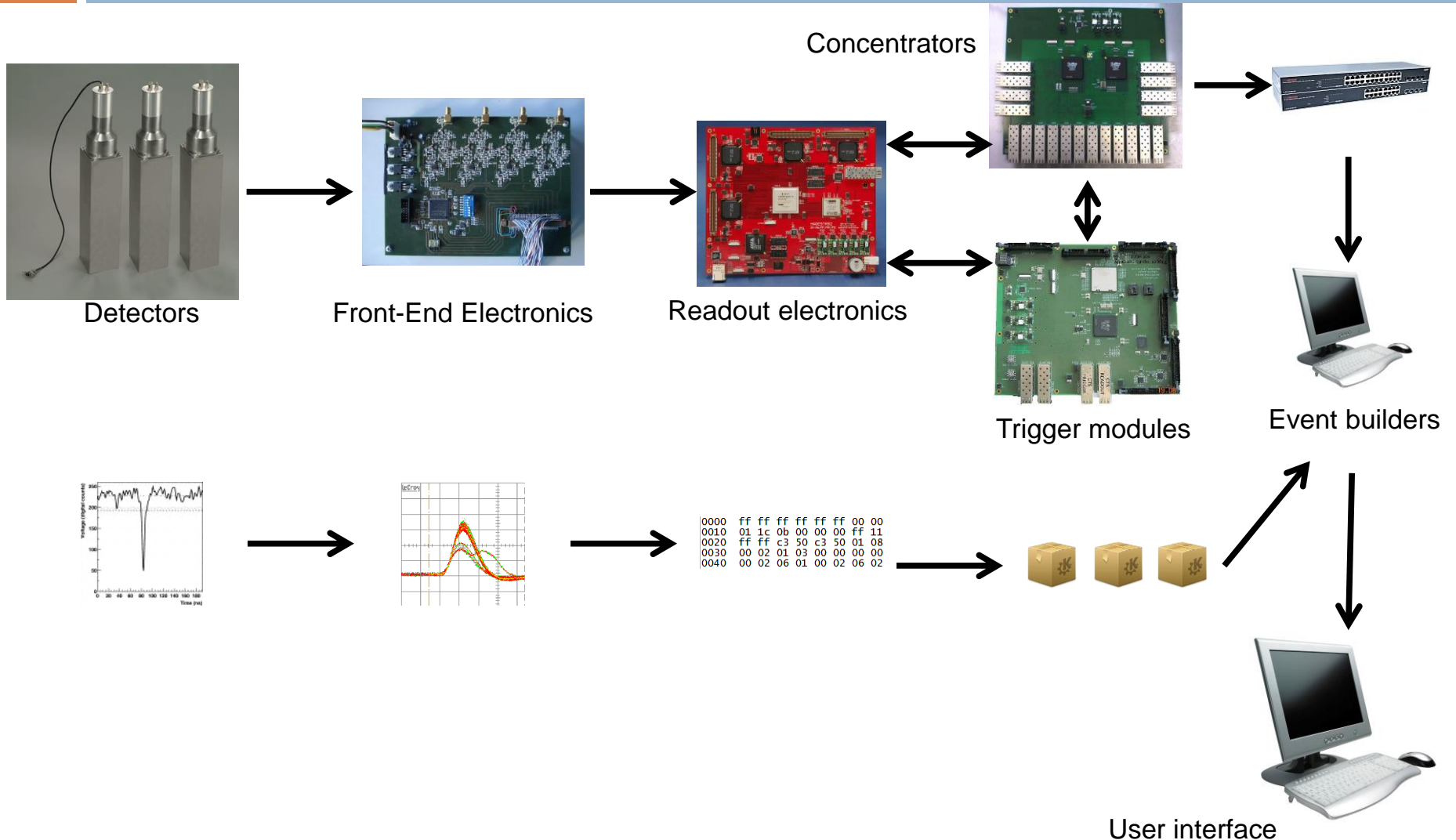


- ▣ Zdarzenie – Interesująca sytuacja w detektorze, warta przeprocesowania i zapisania, odwzorowuje rezultat pomiaru całego systemu w danym momencie czasu

Systemy akwizycji danych

- Eksperyment fizyczny z perspektywy zagadnienia przetwarzania danych:
 - ▣ Digitalizacja pewnych cech sygnałów analogowych z detektorów
 - ▣ Przeprowadzenie algorytmów ekstrakcji cech z danych cyfrowych
 - ▣ Filtrowanie, redukcja danych w czasie rzeczywistym
 - ▣ Szybka transmisja danych
 - ▣ Koncentracja danych z wielu źródeł, oznaczanie danych
 - ▣ Budowanie zdarzeń, składowanie danych
 - ▣ Oprogramowanie analizujące dane
 - ▣ Oprogramowanie sterująco-kontrolne

Schemat systemu akwizycji danych

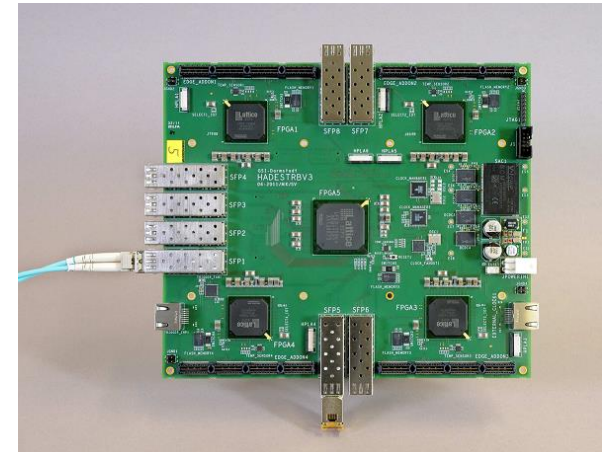
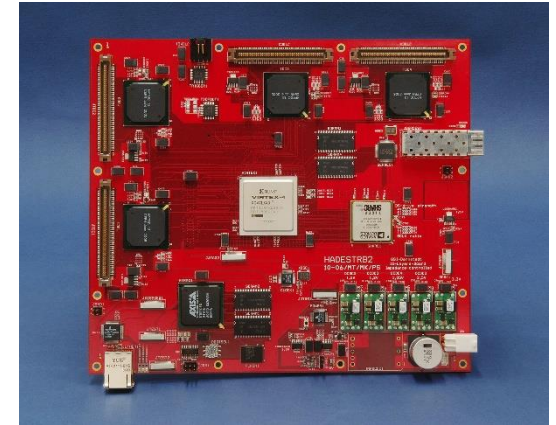


Platforma TRB

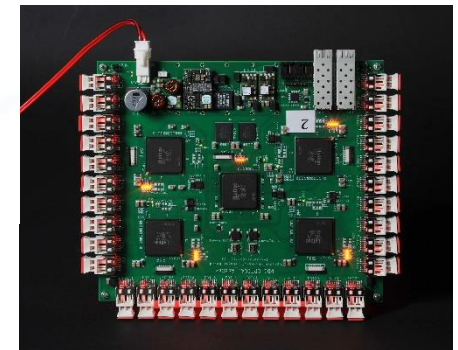
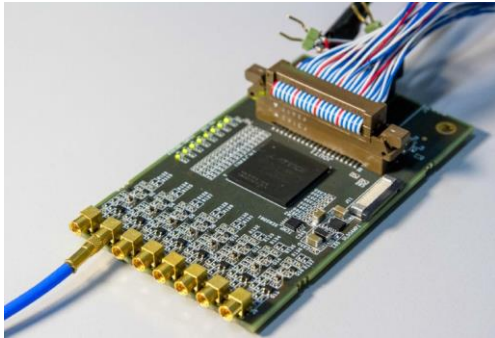
- Platforma do potokowego przetwarzania danych w trybie ciągłym
 - Hardware
 - Firmware
 - Software
- Skalowalna, hierarchiczna architektura drzewiasta
 - Od pojedynczej płyty bazowej do złożonych systemów
 - Koncepcja oparta na płycie bazowej zapewniającej:
 - Kanał kontroli oraz monitoringu
 - Kanał odczytu danych
 - Oraz modułach rozszerzających
- Pełna funkcjonalność pomiarowa
 - Konfigurowalne moduły do pomiaru czasu i amplitudy
- Rozszerzalna o nowe funkcje oraz moduły
- Kompatybilna ze standardami
 - Odczyt oraz kontrola przez Ethernet

Platforma TRB – Moduł Bazowy

- Platforma rozwijana przy współpracy z zagranicznymi instytutami
- Trigger Readout Board
 - ▣ 3cia wersja płyty bazowej systemu
 - ▣ 5x Lattice ECP3 FPGA
 - Centralny
 - Zarządzanie odczytem
 - Brama dla GbE
 - Brama dla systemu kontroli
 - Kolekcja danych
 - Boczne
 - Podłączone do 208 pinowych konektorów
 - Programowane zależnie od aplikacji
 - Wysokiej rozdzielczości TDC
 - HUB optyczny
 - Moduł ADC
 - ▣ 8x złącza optyczne
 - ▣ 4x 208 złącza+ zasilanie
 - ▣ 1x Addon złącze + zasilanie
- Odejście od hardware'u w stronę firmware'u
- Funkcjonalność Plug-And-Play
- Możliwość pomiaru w trybie standalone

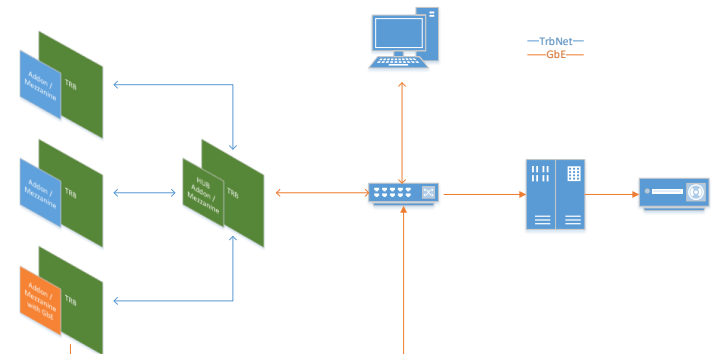


Platforma TRB – Rodzina modułów



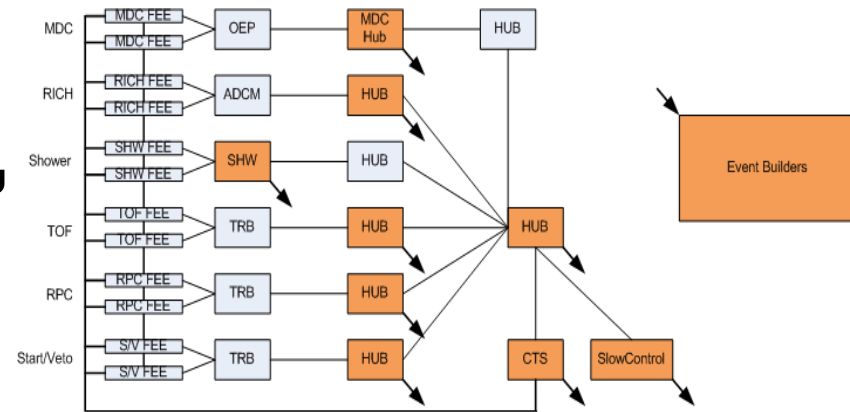
Platforma TRB - Komunikacja

- Transmisja danych pomiarowych
 - ▣ Moduł Gigabit Ethernet na koncentratorach
- Wymiana danych pomiędzy modułami
 - ▣ Protokół specyficznych dla systemu – TrbNet
 - Dystrybucja sygnału wyzwiania
 - Kanał danych pomiarowych
 - Kanał kontroli
- Kontrola oraz monitoring
 - ▣ Protokół TrbNet
 - ▣ TrbNet-Over-GbE



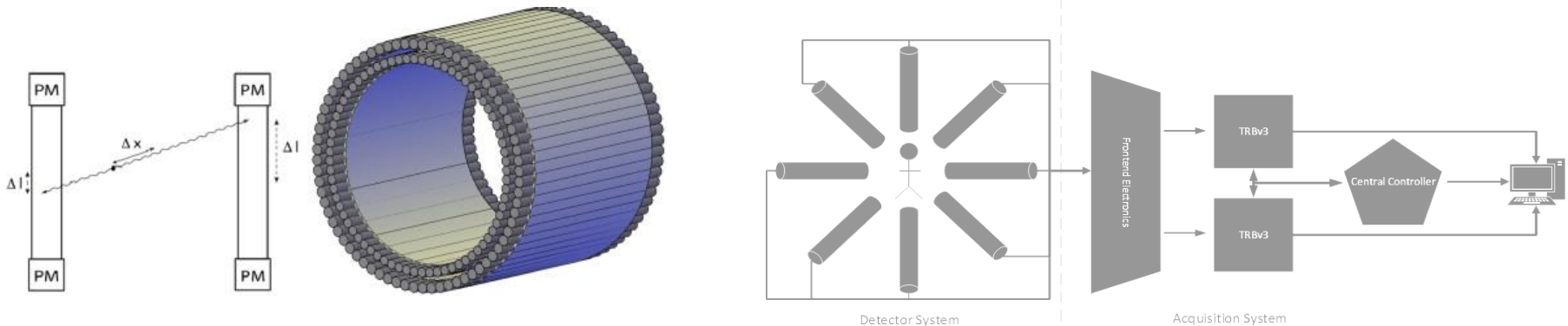
Aplikacje - HADES

- 7 podsystemów detektorów
 - ▣ 82000 kanałów
 - ▣ Do 100 kHz częstotliwość odczytu
 - ▣ 700 MBps do zapisu
 - ▣ 520 modułów elektroniki
 - ▣ 550 układów FPGA
 - ▣ 1050 transponderów optycznych
 - ▣ 16 maszyn budujących zdarzenia
- Duży i złożony system w pełni zbudowany na elementach platformy TRB
- Jednostopniowy system wyzwalania zrealizowany hardwareowo, zarządzany przez CTS



Aplikacje - JPET

- Prototyp Pozytonowej Emisyjnej Tomografii
 - ▣ 512 kanałów analogowych z fotopowielaczy
 - ▣ Pomiar czasu w wysokiej rozdzielczości 10ps
 - ▣ Odczyt w pełni przez 10x TRB3 + front-end
 - ▣ Tryb ciągły pomiaru, z okresowym sygnałem wyzwalania
- Mniejsze prototypy
 - ▣ Kilka, kilkadziesiąt kanałów
 - ▣ Pojedyncze TRB w trybie standalone



Podsumowanie

- Jesteśmy grupą pracującą nad wszystkimi etapami odczytu danych pomiarowych
- Uczestniczymy w rozwijaniu uniwersalnej platformy pomiarowej, bazującej na układach FPGA
- Wielu użytkowników na całym świecie
 - ▣ Ponad 200 wyprodukowanych sztuk TRBv3
 - ▣ Od eksperymentów wysokiej skali do urządzeń diagnostyki medycznej