

ROZPRAWA DOKTORSKA

Metody zwiększenia niezawodności i zapewnienia determinizmu w sieci White Rabbit

mgr inż. Maciej Lipiński

Hardware & Timing Section
Europejska Organizacja Badań Jądrowych

Instytut Systemów Elektronicznych
Politechnika Warszawska

Promotor: prof. dr hab. inż. Ryszard Romaniuk

Politechnika Warszawska

4 kwietnia 2017

Plan prezentacji

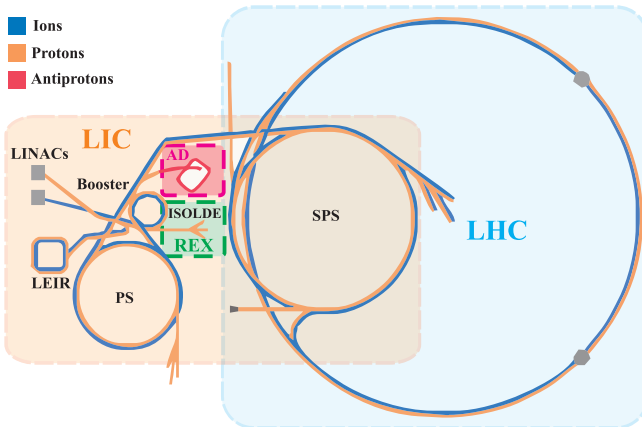
- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych
- 4 Niezawodność synchronizacji
- 5 Niezawodność i determinizm transmisji danych
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN
- 7 Podsumowanie

Plan prezentacji

- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych
- 4 Niezawodność synchronizacji
- 5 Niezawodność i determinizm transmisji danych
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN
- 7 Podsumowanie

Kompleks akceleratorów w CERN

Największa i najbardziej skomplikowana maszyna na świecie.

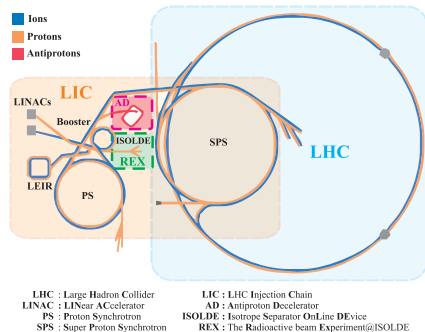


LHC : Large Hadron Collider
 LINAC : LINear ACcelerator
 PS : Proton Synchrotron
 SPS : Super Proton Synchrotron

LIC : LHC Injection Chain
 AD : Antiproton Decelerator
 ISOLDE : Isotope Separator OnLine DEvice
 REX : The Radioactive beam Experiment@ISOLDE

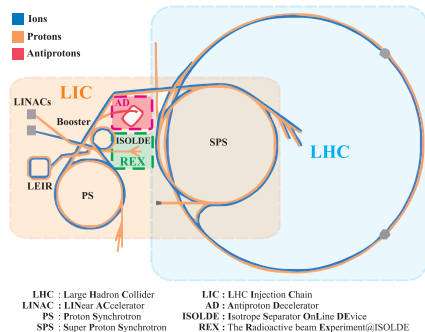
Dotychczasowy system do sterowania i synchronizacji

- Jednolity system sterowania i synchronizacji dla wszystkich akceleratorów



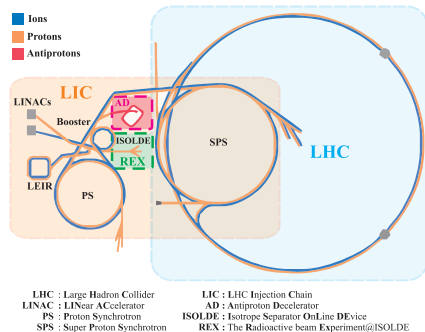
Dotychczasowy system do sterowania i synchronizacji

- Jednolity system sterowania i synchronizacji dla wszystkich akceleratorów
- Ponad dwudziestoletnia technologia



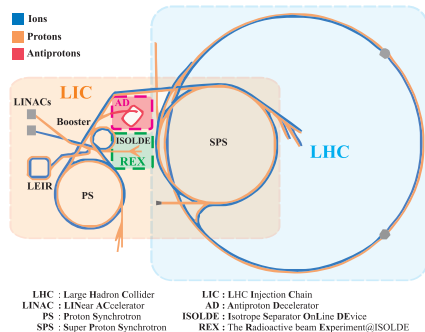
Dotychczasowy system do sterowania i synchronizacji

- Jednolity system sterowania i synchronizacji dla wszystkich akceleratorów
- Ponad dwudziestoletnia technologia
- Mała przepustowość (500 kb/s)



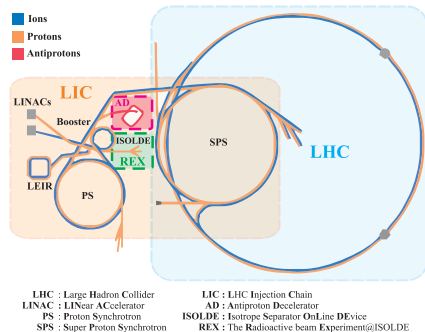
Dotychczasowy system do sterowania i synchronizacji

- Jednolity system sterowania i synchronizacji dla wszystkich akceleratorów
- Ponad dwudziestoletnia technologia
- Mała przepustowość (500 kb/s)
- Jednokierunkowa transmisja danych



Dotychczasowy system do sterowania i synchronizacji

- Jednolity system sterowania i synchronizacji dla wszystkich akceleratorów
- Ponad dwudziestoletnia technologia
- Mała przepustowość (500 kb/s)
- Jednokierunkowa transmisja danych
- Ręczna kalibracja



Nowy system do sterowania i synchronizacji

- Ze względu na rosnące potrzeby badawcze niezbędny jest nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorów

Nowy system do sterowania i synchronizacji

- Ze względu na rosnące potrzeby badawcze niezbędny jest nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorów
- Wyzwania strategiczne:
 - elastyczność, uniwersalność, wsparcie firm zewnętrznych
 - kompatybilność ze standardem Ethernet

Nowy system do sterowania i synchronizacji

- Ze względu na rosnące potrzeby badawcze niezbędny jest nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorów
- Wyzwania strategiczne:
 - elastyczność, uniwersalność, wsparcie firm zewnętrznych
 - kompatybilność ze standardem Ethernet
- Wyzwania techniczne:
 - usunięcie wad obecnego systemu
 - zapewnienie potencjału rozwojowego na najbliższe dziesięciolecia

Nowy system do sterowania i synchronizacji

- Ze względu na rosnące potrzeby badawcze niezbędny jest nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorów
- Wyzwania strategiczne:
 - elastyczność, uniwersalność, wsparcie firm zewnętrznych
 - kompatybilność ze standardem Ethernet
- Wyzwania techniczne:
 - usunięcie wad obecnego systemu
 - zapewnienie potencjału rozwojowego na najbliższe dziesięciolecia

Opis wymagania	Wartości
Liczba urządzeń i zasięg geograficzny	2000 & 10km
Dokładność synchronizacji	< 1 ns
Rozmiar komunikatów sterujących	1.2–5 kB
Maks. ilość zgubionych komunikatów w ciągu 1 roku	≤ 1
Czas transmisji komunikatów od kontrolera do urządzenia	< 1ms
Maks. opóźnienie przełączania pakietów (switch latency)	< 10μs

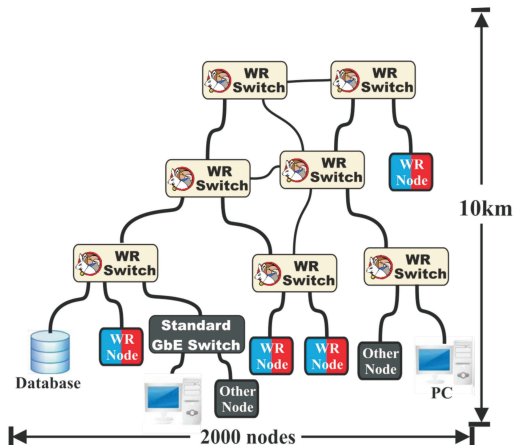
White Rabbit – system do sterowania i synchronizacji

- Nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorami



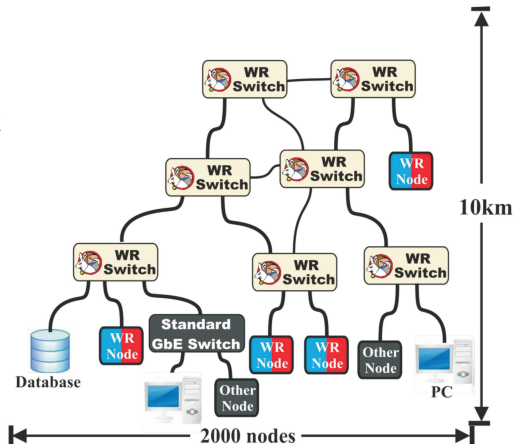
White Rabbit – system do sterowania i synchronizacji

- Nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorami
- Oparty na powszechnie stosowanych standardach IEEE



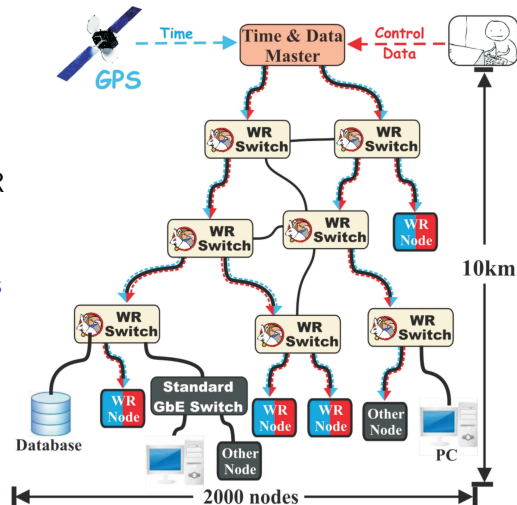
White Rabbit – system do sterowania i synchronizacji

- Nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorami
- Oparty na powszechnie stosowanych standardach IEEE
- W celu spełnienia wymagań WR rozszerza standardy o:



White Rabbit – system do sterowania i synchronizacji

- Nowy system do sterowania i synchronizacji akceleratorami
- Oparty na powszechnie stosowanych standardach IEEE
- W celu spełnienia wymagań WR rozszerza standardy o:
 - Niezawodną synchronizację z dokładnością lepszą niż 1 ns
 - Deterministyczną i niezawodną transmisję komunikatów sterujących z niskim opóźnieniem



Plan prezentacji

- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy**
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych
- 4 niezawodność synchronizacji
- 5 niezawodność i determinizm transmisji danych
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN
- 7 Podsumowanie

Teza rozprawy

Teza:

Możliwe jest opracowanie sieci opartej na standardzie Ethernet, która jednocześnie spełnia wymagania CERN dotyczące niezawodności i determinizmu dla kompleksu akceleratorów.

Teza rozprawy

Teza:

Możliwe jest opracowanie sieci opartej na standardzie Ethernet, która jednocześnie spełnia wymagania CERN dotyczące niezawodności i determinizmu dla kompleksu akceleratorów.

Cel badawczy:

Opracowanie sieci, która zapewnia niezawodną transmisję komunikatów sterujących i synchronizację dla 2000 urządzeń przez co najmniej 1 rok nieprzerwanego działania.

Teza rozprawy

Teza:

Możliwe jest opracowanie sieci opartej na standardzie Ethernet, która jednocześnie spełnia wymagania CERN dotyczące niezawodności i determinizmu dla kompleksu akceleratorów.

Cel badawczy:

Opracowanie sieci, która zapewnia niezawodną transmisję komunikatów sterujących i synchronizację dla 2000 urządzeń przez co najmniej 1 rok nieprzerwanego działania.

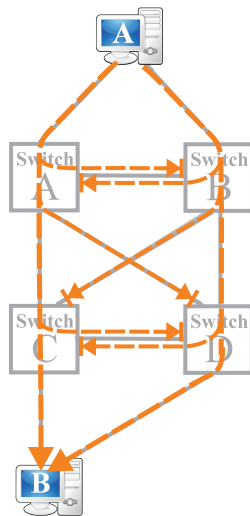
Co implikuje, iż w ciągu 1 roku synchronizacja wszystkich 2000 urządzeń nie będzie gorsza 1 ns, a liczba utraconych komunikatów sterujących (control messages) dla 2000 urządzeń nie będzie większa niż 1.

Plan prezentacji

- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych**
- 4 Niezawodność synchronizacji
- 5 Niezawodność i determinizm transmisji danych
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN
- 7 Podsumowanie

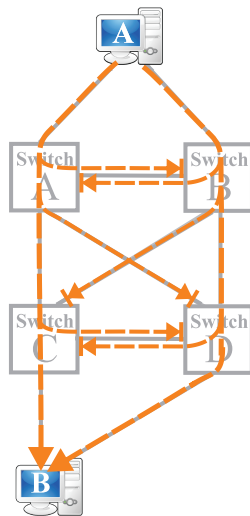
Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji

- Topologia siatki (mesh), w której wszystkie ścieżki są używane



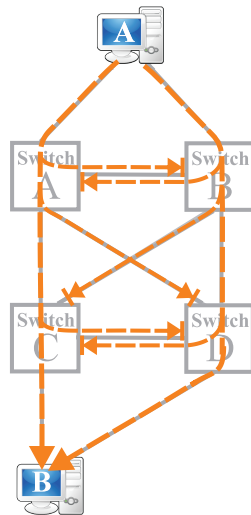
Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji

- Topologia siatki (mesh), w której wszystkie ścieżki są używane
- Bezwzględne pierwszeństwo dla komunikatów sterujących oraz przełączanie typu "cut-through"



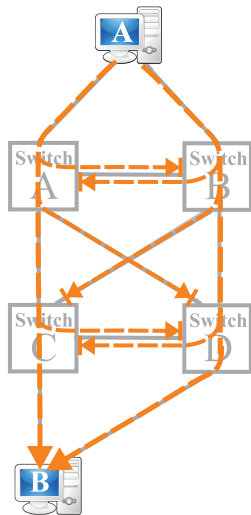
Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji

- Topologia siatki (mesh), w której wszystkie ścieżki są używane
- Bezwzględne pierwszeństwo dla komunikatów sterujących oraz przełączanie typu "cut-through"
- Płynne przełączenie w razie awarii:
 - pogorszenie synchronizacji $< 500ps$
 - przełączenie ścieżek dla danych w ciągu $5-10\mu s$



Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji

- Topologia siatki (mesh), w której wszystkie ścieżki są używane
- Bezwzględne pierwszeństwo dla komunikatów sterujących oraz przełączanie typu "cut-through"
- Płynne przełączenie w razie awarii:
 - pogorszenie synchronizacji $< 500ps$
 - przełączenie ścieżek dla danych w ciągu $5-10\mu s$
- Odzyskiwanie utraconych danych za pomocą korekcji nadmiarowej błędów¹

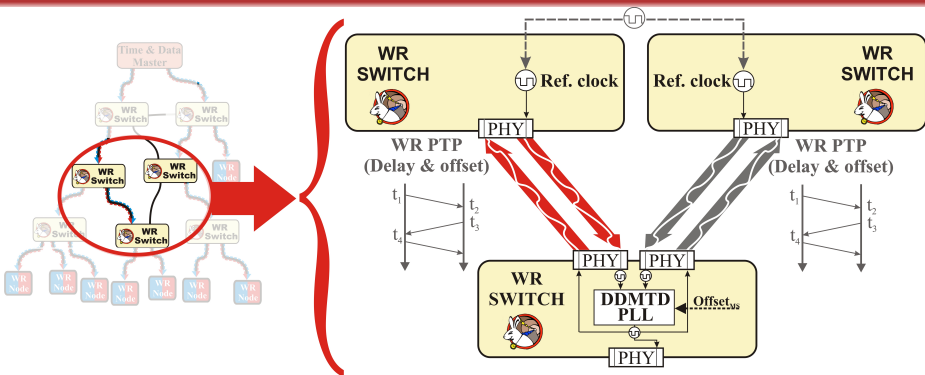


¹ Opracowywane w ramach innej pracy doktorskiej.

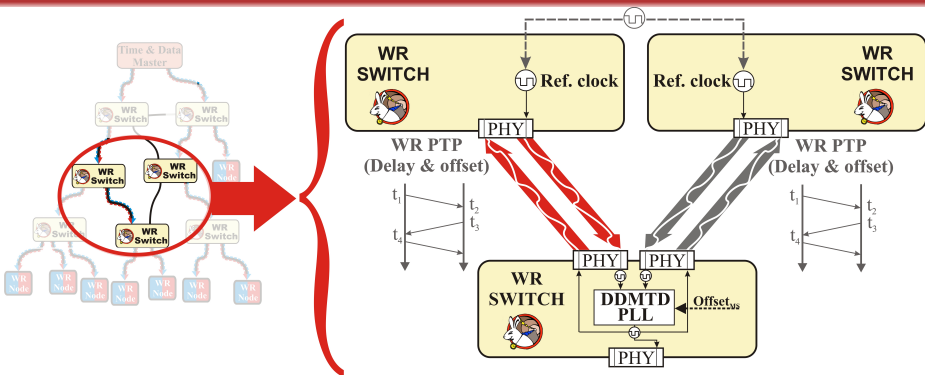
Plan prezentacji

- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych
- 4 Niezawodność synchronizacji**
- 5 Niezawodność i determinizm transmisji danych
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN
- 7 Podsumowanie

Nowa metoda zwiększenia niezawodności synchronizacji

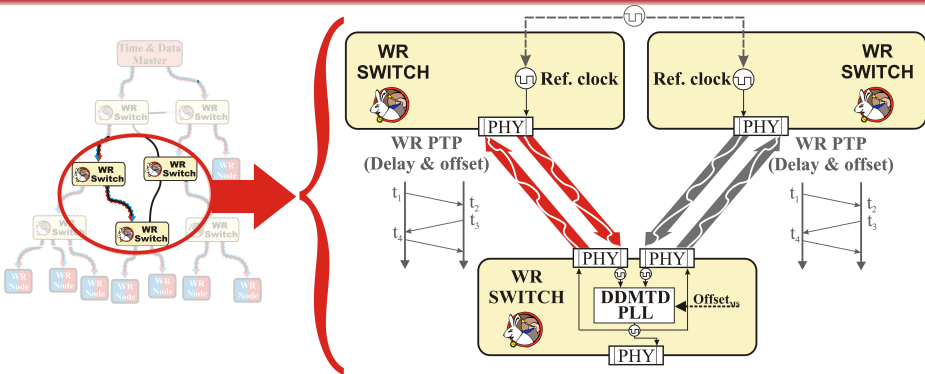


Nowa metoda zwiększenia niezawodności synchronizacji



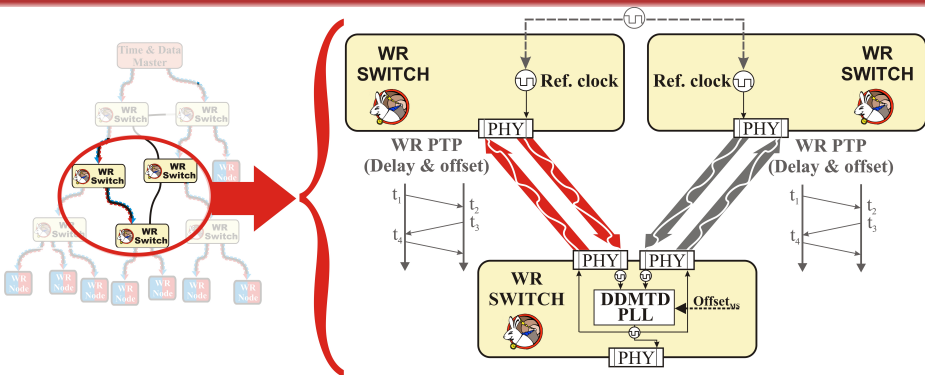
- Synchronizacja i syntonizacja ze śledzeniem wielu źródeł

Nowa metoda zwiększenia niezawodności synchronizacji



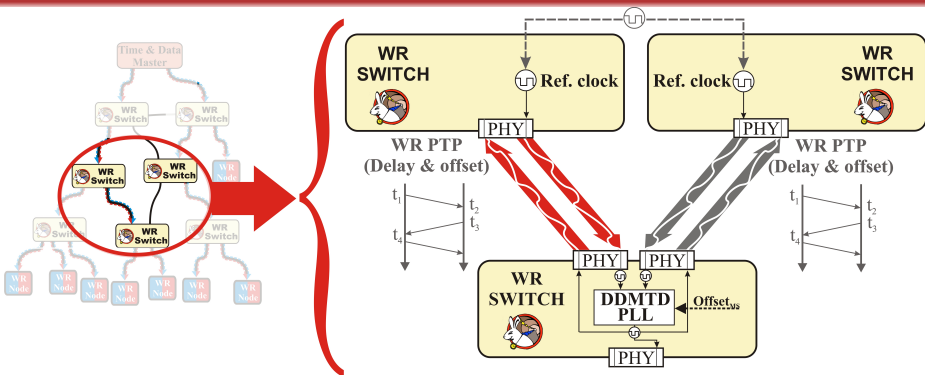
- Synchronizacja i syntonizacja ze śledzeniem wielu źródeł
- Szybkie wykrywanie awarii

Nowa metoda zwiększenia niezawodności synchronizacji



- Synchronizacja i syntonizacja ze śledzeniem wielu źródeł
- Szybkie wykrywanie awarii
- Płynne przełączanie między ścieżkami

Nowa metoda zwiększenia niezawodności synchronizacji



- Synchronizacja i syntonizacja ze śledzeniem wielu źródeł
- Szybkie wykrywanie awarii
- Płynne przełączanie między ścieżkami
- Korekcja fazy i synchronizacji

W ramach pracy doktorskiej opracowałem:

- Wielowejściową pętla sprzężenia zwrotnego
 - śledzenie wielu źródeł syntonizacji
 - wykrywanie awarii (głosowanie większościowe)
 - optymalne krótkoterminowe podtrzymanie fazy (holdover)
 - optymalna korekta fazy po awarii

W ramach pracy doktorskiej opracowałem:

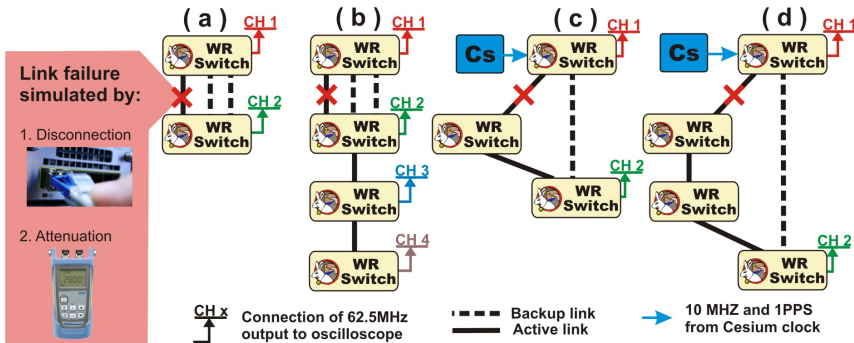
- Wielowejściową pętla sprzężenia zwrotnego
 - śledzenie wielu źródeł syntonizacji
 - wykrywanie awarii (głosowanie większościowe)
 - optymalne krótkoterminowe podtrzymanie fazy (holdover)
 - optymalna korekta fazy po awarii
- Wsparcie w FPGA dla IEEE1588 (PTP)
 - ultraszybkie powiadomienie o awarii
 - implementacja kompatybilna z PTP

W ramach pracy doktorskiej opracowałem:

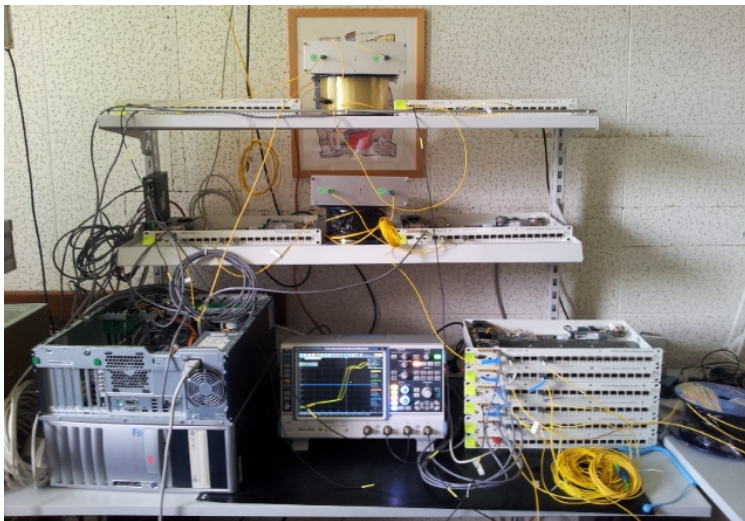
- Wielowejściową pętlą sprzężenia zwrotnego
 - śledzenie wielu źródeł syntonizacji
 - wykrywanie awarii (głosowanie większościowe)
 - optymalne krótkoterminowe podtrzymanie fazy (holdover)
 - optymalna korekta fazy po awarii
- Wsparcie w FPGA dla IEEE1588 (PTP)
 - ultraszybkie powiadomienie o awarii
 - implementacja kompatybilna z PTP
- Wielościeżkowa synchronizacja dla PTP
 - automatyczna konfiguracja
 - ręczna konfiguracja

Pomiary dla rozważanych 4 konfiguracji sieci

Symulacja awarii poprzez (1) rozłączenie światłowodu oraz (2) stopniowe tłumienie sygnału.

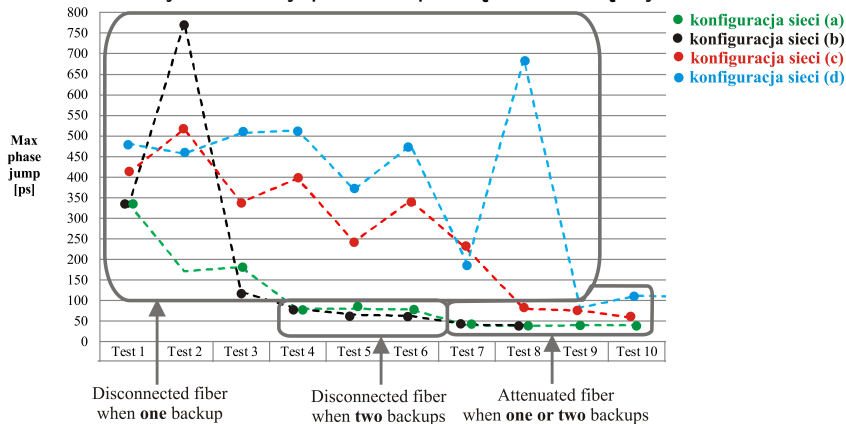


Pomiary dla rozważanych 4 konfiguracji sieci



Wyniki pomiarów dla rozważanych konfiguracji

Szacowany skok fazy podczas przełączania między ścieżkami



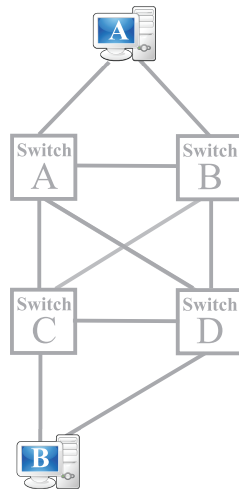
Wymagany skok fazy poniżej 500 ps jest zapewniony, gdy istnieje więcej niż jedna ścieżka zapasowa.

Plan prezentacji

- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych
- 4 Niezawodność synchronizacji
- 5 Niezawodność i determinizm transmisji danych**
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN
- 7 Podsumowanie

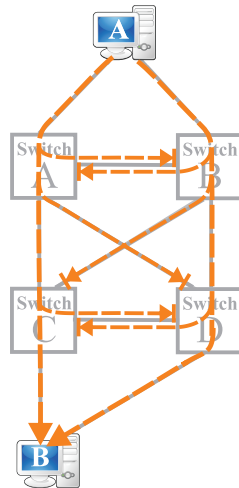
Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:



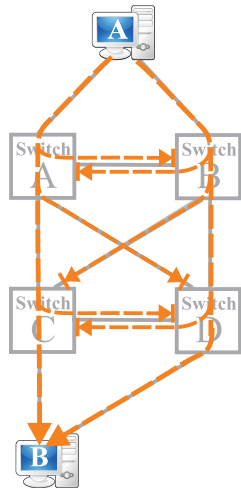
Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:
 - Wstępna konfiguracja wszystkich optymalnych ścieżek uwzględniając opóźnienia sieci



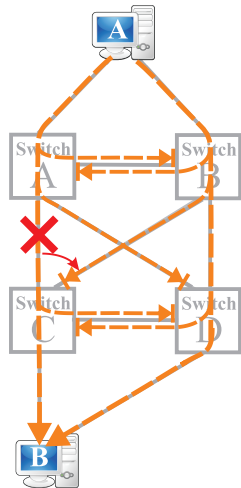
Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:
 - Wstępna konfiguracja wszystkich optymalnych ścieżek uwzględniając opóźnienia sieci
 - Odbiór danych tylko na aktywnej ścieżce



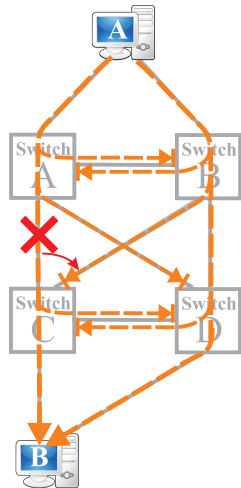
Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:
 - Wstępna konfiguracja wszystkich optymalnych ścieżek uwzględniając opóźnienia sieci
 - Odbiór danych tylko na aktywnej ścieżce
 - Błyskawiczne wykrycie awarii i przełączenie



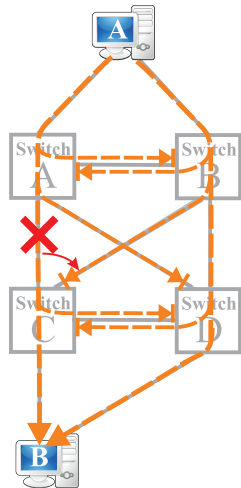
Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:
 - Wstępna konfiguracja wszystkich optymalnych ścieżek uwzględniając opóźnienia sieci
 - Odbiór danych tylko na aktywnej ścieżce
 - Błyskawiczne wykrycie awarii i przełączenie
 - Odzyskanie zgubionych danych wykorzystując korekcję nadmiarową (FEC)



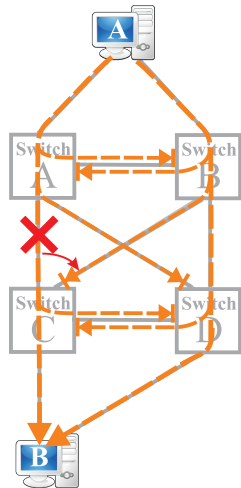
Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:
 - Wstępna konfiguracja wszystkich optymalnych ścieżek uwzględniając opóźnienia sieci
 - Odbiór danych tylko na aktywnej ścieżce
 - Błyskawiczne wykrycie awarii i przełączenie
 - Odzyskanie zgubionych danych wykorzystując korekcję nadmiarową (FEC)
- Deterministyczna transmisja danych:
 - Rozpoznanie wykorzystując priorytety



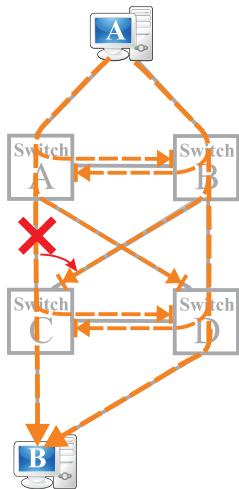
Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:
 - Wstępna konfiguracja wszystkich optymalnych ścieżek uwzględniając opóźnienia sieci
 - Odbiór danych tylko na aktywnej ścieżce
 - Błyskawiczne wykrycie awarii i przełączenie
 - Odzyskanie zgubionych danych wykorzystując korekcję nadmiarową (FEC)
- Deterministyczna transmisja danych:
 - Rozpoznanie wykorzystując priorytety
 - Natychmiastowa transmisja



Nowa metoda niezawodności i determinizmu

- Niezawodna transmisja w topologii siatki:
 - Wstępna konfiguracja wszystkich optymalnych ścieżek uwzględniając opóźnienia sieci
 - Odbiór danych tylko na aktywnej ścieżce
 - Błyskawiczne wykrycie awarii i przełączenie
 - Odzyskanie zgubionych danych wykorzystując korekcję nadmiarową (FEC)
- Deterministyczna transmisja danych:
 - Rozpoznanie wykorzystując priorytety
 - Natychmiastowa transmisja
 - Oddzielne zasoby pamięci



W ramach pracy doktorskiej opracowałem:

- Algorytm pseudo-wielościęzek
 - rozszerzenie Shortest Path Bridging (SPB, IEEE 802.1Q)
 - wykorzystanie danych z SPB (algorytm Dijkstry)
 - uwzględnienie informacji o opóźnieniu sieci

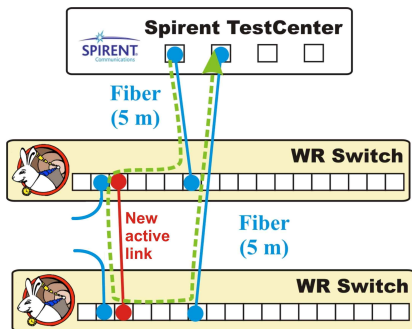
W ramach pracy doktorskiej opracowałem:

- Algorytm pseudo-wielościęzek
 - rozszerzenie Shortest Path Bridging (SPB, IEEE 802.1Q)
 - wykorzystanie danych z SPB (algorytm Dijkstry)
 - uwzględnienie informacji o opóźnieniu sieci
- Implementacja szybkiego przełączania w FPGA
 - konfiguracja alternatywnych ścieżek przy pomocy przekształceń logicznych
 - niezawodne wykrywanie awarii
 - przełączanie między ścieżkami w ciągu 1 cyklu zegara (16ns)

W ramach pracy doktorskiej opracowałem:

- Algorytm pseudo-wielościęzek
 - rozszerzenie Shortest Path Bridging (SPB, IEEE 802.1Q)
 - wykorzystanie danych z SPB (algorytm Dijkstry)
 - uwzględnienie informacji o opóźnieniu sieci
- Implementacja szybkiego przełączania w FPGA
 - konfiguracja alternatywnych ścieżek przy pomocy przekształceń logicznych
 - niezawodne wykrywanie awarii
 - przełączanie między ścieżkami w ciągu 1 cyklu zegara (16ns)
- Uzyskanie deterministycznego opóźnienia przełączania pakietów
 - optymalizacja kluczowych elementów przełącznika (switcha)
 - implementacja architektury "cut-through" i "strict priority"

Szybkie przełączanie między nadmiarowymi ścieżkami



Frame Loss and Latencies

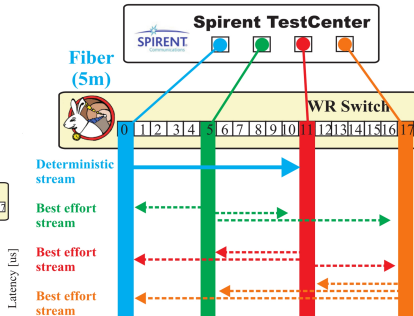
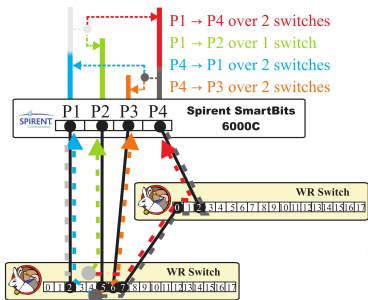
Frame Size (bytes)	Load (%)	Tx Frames	Rx Frames	Frame Loss	Max Latency (uSec)
288	10	1,217,533	1,217,533	0	5.84
288	30	3,652,598	3,652,597	1	5.84
288	50	6,087,663	6,087,663	0	5.84
288	70	8,522,728	8,522,727	1	5.84
288	90	10,957,793	10,957,792	1	6.12

~3GB of data

Lost not more than 1 frame during switchover

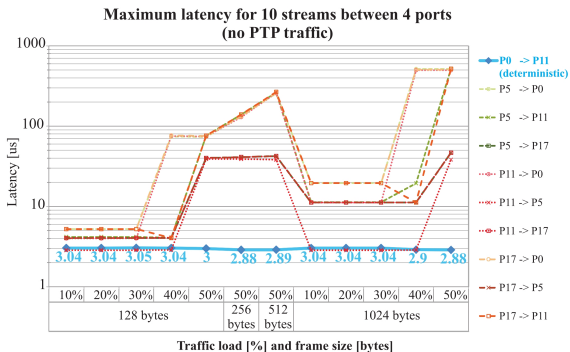
Parametr	Początkowe wymagania	Dotychczasowe rozwiązanie	Opracowana metoda
Przełączenie	5 – 10 μs	< 50 ms	2.7 μs
Opóźnienie pakietów	< 10 μs	12.5 μs	3.0 \pm 0.3 μs (bez PTP) 4.2 \pm 1.4 μs (z PTP)

Deterministyczne przełączanie pakietów (latency)



Parametr	Początkowe wymagania	Dotychczasowe rozwiązanie	Opracowana metoda
Przełączenie	5 – 10 μs	< 50 ms	2.7 μs
Opóźnienie pakietów	< 10 μs	12.5 μs	3.0 ± 0.3 μs (bez PTP) 4.2 ± 1.4 μs (z PTP)

Deterministyczne przełączanie pakietów (latency)



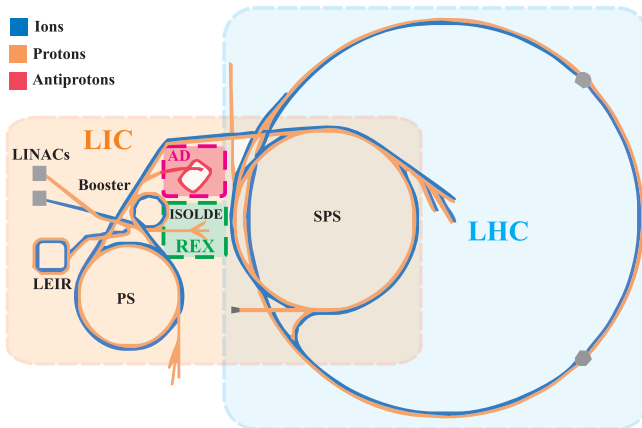
Traffic load [%] and frame size [bytes]

Parametr	Początkowe wymagania	Dotychczasowe rozwiązanie	Opracowana metoda
Przełączenie	5 – 10 μs	< 50 ms	2.7 μs
Opóźnienie pakietów	< 10 μs	12.5 μs	3.0 \pm 0.3 μs (bez PTP) 4.2 \pm 1.4 μs (z PTP)

Plan prezentacji

- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych
- 4 Niezawodność synchronizacji
- 5 Niezawodność i determinizm transmisji danych
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN**
- 7 Podsumowanie

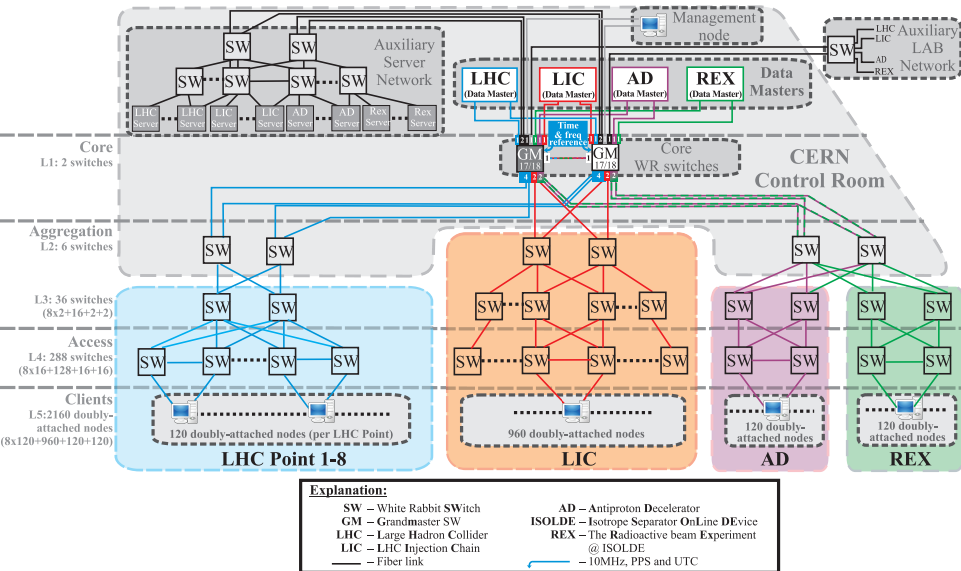
Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN



LHC : Large Hadron Collider
 LINAC : LINear ACcelerator
 PS : Proton Synchrotron
 SPS : Super Proton Synchrotron

LIC : LHC Injection Chain
 AD : Antiproton Decelerator
 ISOLDE : Isotope Separator OnLine DEvice
 REX : The Radioactive beam Experiment@ISOLDE

Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN



Parametry sieci WR dla wszystkich akceleratorów

Parametr	Początkowe wymagania	Zaprojektowana sieć WR
Zasięg geograficzny i liczba urządzeń	10 km & 2000 urządzeń	10 km & 2160 urządzeń
Synchronizacja: - dokładność w okresie 1 roku - dokładność podczas przełączania - precyzja Komunikaty sterujące: - dozwolona wielkość - liczba zgubionych w ciągu roku	< 1 ns < 1 ns < 50 ps 1200–6000 bytes 1	0.41 ns 1.19 ns 31 ps 1200–6000 bytes 1 z R(1 rok)
Teoretyczna niezawodność sieci: - $R(1 \text{ rok})$ - MTBF	≥ 0.98 $\geq 50 \text{ lat}$	≥ 0.9854 $\geq 68 \text{ lat}$
Najgorszy przypadek opóźnienia sieci (max. network latency)	< 500 μs (pochodzi z 1 ms)	$\leq 78 \mu s$ dla sieci $\leq 150 \mu s$ dla danych

1.19 ns – akceptowalny kompromis

Plan prezentacji

- 1 Obszar badań
- 2 Teza rozprawy
- 3 Wspólna strategia dla synchronizacji i transmisji danych
- 4 Niezawodność synchronizacji
- 5 Niezawodność i determinizm transmisji danych
- 6 Sieć WR dla wszystkich akceleratorów w CERN
- 7 Podsumowanie**

Podsumowanie

- Metody, które opracowałem w ramach pracy doktorskiej:
 - pozwalają na spełnienie wymagań kompleksu akceleratorów w CERN

Podsumowanie

- Metody, które opracowałem w ramach pracy doktorskiej:
 - pozwalają na spełnienie wymagań kompleksu akceleratorów w CERN
 - są kompatybilne z istniejącymi standardami IEEE

Podsumowanie

- Metody, które opracowałem w ramach pracy doktorskiej:
 - pozwalają na spełnienie wymagań kompleksu akceleratorów w CERN
 - są kompatybilne z istniejącymi standardami IEEE
 - poprawiają działanie istniejących standardowych rozwiązań
- 10-krotna poprawa** determinizmu przełączania: $(3 \pm 0.6) \mu s$
- 1000-krotna poprawa** przełączanie danych: $< 2.7 \mu s$
- 1000-krotna poprawa** przełączanie synchronizacji: $< 1 ns$ skok fazy

Podsumowanie

- Metody, które opracowałem w ramach pracy doktorskiej:
 - pozwalają na spełnienie wymagań kompleksu akceleratorów w CERN
 - są kompatybilne z istniejącymi standardami IEEE
 - poprawiają działanie istniejących standardowych rozwiązań
 - 10-krotna poprawa** determinizmu przełączania: $(3 \pm 0.6) \mu s$
 - 1000-krotna poprawa** przełączanie danych: $< 2.7 \mu s$
 - 1000-krotna poprawa** przełączanie synchronizacji: $< 1 ns$ skok fazy
- Zaprojektowana przeze mnie sieć WR dla wszystkich akceleratorów:
 - spełnia wszystkie początkowe wymagania (od jednego wymogu odstąpiono ze względów ekonomicznych)
 - jest używana w projekcie obserwatorium LHAASO w Tybecie

Podsumowanie

- Metody, które opracowałem w ramach pracy doktorskiej:
 - pozwalają na spełnienie wymagań kompleksu akceleratorów w CERN
 - są kompatybilne z istniejącymi standardami IEEE
 - poprawiają działanie istniejących standardowych rozwiązań
 - 10-krotna poprawa** determinizmu przełączania: $(3 \pm 0.6) \mu s$
 - 1000-krotna poprawa** przełączanie danych: $< 2.7 \mu s$
 - 1000-krotna poprawa** przełączanie synchronizacji: $< 1 ns$ skok fazy
- Zaprojektowana przeze mnie sieć WR dla wszystkich akceleratorów:
 - spełnia wszystkie początkowe wymagania (od jednego wymogu odstąpiono ze względów ekonomicznych)
 - jest używana w projekcie obserwatorium LHAASO w Tybecie
- Liczba zastosowań sieci White Rabbit szybko się powiększa, a w wielu z nich, niezawodność i determinizm odgrywają kluczową rolę

Podsumowanie

- Metody, które opracowałem w ramach pracy doktorskiej:
 - pozwalają na spełnienie wymagań kompleksu akceleratorów w CERN
 - są kompatybilne z istniejącymi standardami IEEE
 - poprawiają działanie istniejących standardowych rozwiązań
 - 10-krotna poprawa** determinizmu przełączania: $(3 \pm 0.6) \mu s$
 - 1000-krotna poprawa** przełączanie danych: $< 2.7 \mu s$
 - 1000-krotna poprawa** przełączanie synchronizacji: $< 1 ns$ skok fazy
- Zaprojektowana przeze mnie sieć WR dla wszystkich akceleratorów:
 - spełnia wszystkie początkowe wymagania (od jednego wymogu odstąpiono ze względów ekonomicznych)
 - jest używana w projekcie obserwatorium LHAASO w Tybecie
- Liczba zastosowań sieci White Rabbit szybko się powiększa, a w wielu z nich, niezawodność i determinizm odgrywają kluczową rolę
- Jestem członkiem P1588 Working Groupy standaryzującej WR w IEEE

Publikacje powiązane z prezentowaną rozprawą

Podczas pracy opublikowano 11 artykułów konferencyjnych:

- **White Rabbit Clock Characteristics** – M. Rizzi, **M. Lipinski**, T. Wlostowski, J. Serrano, G. Daniluk, P. Ferrari, S. Rinaldi, ISPCS2016, Stockholm, Sweden, 2016
- **Trigger and RF distribution using White Rabbit** – T. Wlostowski, J. Serrano, G. Daniluk, **M. Lipinski**, F. Vaga, ICALEPCS2015, Melbourne, Australia, 2015
- **Enhanced Synchronization Accuracy in IEEE1588**– O. Ronen, **M. Lipinski**, ISPCS2015, Beijing, China, 2015
- **PPSi - A Free Software PTP Implementation** – P. Fezzardi, **M. Lipinski**, A. Rubini, A. Colosimo, ISPCS2014, Austin, USA, 2014
- **White Rabbit Status And Prospects** – J. Serrano, M. Cattin, E. Gousiou, E. van der Bij, T. Wlostowski, G. Daniluk, **M. Lipinski**, et al., ICALEPCS2013, San Francisco, USA, 2013
- **The White Rabbit Project**– J. Serrano, M. Cattin, E. Gousiou, E. van der Bij, T. Wlostowski, G. Daniluk, **M. Lipinski**, IBIC2013, Oxford, UK, 2013
- **Performance results of the first White Rabbit installation for CNGS time transfer** – **M. Lipinski**, T. Wlostowski, J. Serrano, P. Alvarez, J.D. Gonzalez Cobas, A. Rubini and P. Moreira, ISPCS2012, San Francisco, USA, 2012
- **Distributed DDS in a White Rabbit Network: An IEEE 1588 Application** – P. Moreira, J. Serrano, P. Alvarez, **M. Lipinski**, et al., ISPCS2012, San Francisco, USA, 2012
- **Reliability in a White Rabbit Network** – **M. Lipinski**, J. Serrano, T. Wlostowski; C. Prados; ICALEPCS2011, Grenoble, France, 2011
- **White Rabbit: a PTP Application for Robust Sub-nanosecond Synchronization** – **M. Lipinski**, T. Wlostowski, et al.; Proceedings of ISPCS2011, Munich, Germany, 2011
- **Accelerator Timing Systems Overview** – J. Serrano, P. Alvarez, **M. Lipinski**, T. Wlostowski; Proceedings of PAC2011, New York, NY, USA, 2011

Dziękuję za uwagę

Metody zwiększenia niezawodności i zapewnienia determinizmu w sieci White Rabbit

Dziękuję za uwagę!

Maciej Lipiński



Plan prezentacji

8 Slajdy pomocnicze

Slajdy pomocnicze

Slajdy pomocnicze

Ustosunkowanie do uwag Recenzentów (1)

- Mean Time Between Failures (MTBF)
 - na stronie 49 podana została potoczna definicja MTBF
 - w obliczeniach przyjęto wykładniczą funkcję prawdopodobieństwa, gdzie MTBF to czas, po którym 36.8% urządzeń działa poprawnie

Ustosunkowanie do uwag Recenzentów (1)

- Mean Time Between Failures (MTBF)
 - na stronie 49 podana została potoczna definicja MTBF
 - w obliczeniach przyjęto wykładniczą funkcję prawdopodobieństwa, gdzie MTBF to czas, po którym 36.8% urządzeń działa poprawnie
- Założona w obliczeniach niezależność awarii elementów sieci
 - praktyka stosowana w literaturze i zagadnieniach sieciowych
 - założenie takie powinno być zostać przetłumaczone na wymagania dotyczące instalacji sieci

Ustosunkowanie do uwag Recenzentów (1)

- Mean Time Between Failures (MTBF)
 - na stronie 49 podana została potoczna definicja MTBF
 - w obliczeniach przyjęto wykładniczą funkcję prawdopodobieństwa, gdzie MTBF to czas, po którym 36.8% urządzeń działa poprawnie
- Założona w obliczeniach niezależność awarii elementów sieci
 - praktyka stosowana w literaturze i zagadnieniach sieciowych
 - założenie takie powinno być zostać przetłumaczone na wymagania dotyczące instalacji sieci
- Powolny dryft fazy pomiędzy ścieżkami nie jest rozpatrywany jako symptom awarii z dwóch powodów:
 - jest to najczęściej symptom awarii, które nie były włączone w zakres doktoratu
 - śledzenie takiego dryftu fazy wykorzystane jest do „sztucznego” zamknięcia pętli sprzężenia zwrotnego na portach zapasowych

Ustosunkowanie do uwag Recenzentów (2)

- Pomiar oscylatora w trybie holdover
 - powinien zostać przeprowadzony dla większej grupy i lepiej opisany
 - dodatkowe pomiary nie zmieniłyby przedstawionych wyników badań

Ustosunkowanie do uwag Recenzentów (2)

- Pomiar oscylatora w trybie holdover
 - powinien zostać przeprowadzony dla większej grupy i lepiej opisany
 - dodatkowe pomiary nie zmieniłyby przedstawionych wyników badań
- Brak elementarnych testów w zakresie poprawy parametrów WR
 - brak takiej potrzeby w CERN (do niedawna)
 - trwają prace nad poprawieniem parametrów WR, np. kontrola wnek rezonansowych wymaga dokładności ± 10 ps i RMS jitter 800 fs

Ustosunkowanie do uwag Recenzentów (2)

- Pomiar oscylatora w trybie holdover
 - powinien zostać przeprowadzony dla większej grupy i lepiej opisany
 - dodatkowe pomiary nie zmieniłyby przedstawionych wyników badań
- Brak elementarnych testów w zakresie poprawy parametrów WR
 - brak takiej potrzeby w CERN (do niedawna)
 - trwają prace nad poprawieniem parametrów WR, np. kontrola wnek rezonansowych wymaga dokładności ± 10 ps i RMS jitter 800 fs
- Największy możliwy skok fazy przy przełączaniu wynosi 800 ps:
 - wynik obserwacji, które potwierdzają teoretyczne wnioski
 - 800 ps to czas przesyłu jednego kodu 8b10b

Ustosunkowanie do uwag Recenzentów (2)

- Pomiar oscylatora w trybie holdover
 - powinien zostać przeprowadzony dla większej grupy i lepiej opisany
 - dodatkowe pomiary nie zmieniłyby przedstawionych wyników badań
- Brak elementarnych testów w zakresie poprawy parametrów WR
 - brak takiej potrzeby w CERN (do niedawna)
 - trwają prace nad poprawieniem parametrów WR, np. kontrola wnek rezonansowych wymaga dokładności ± 10 ps i RMS jitter 800 fs
- Największy możliwy skok fazy przy przełączaniu wynosi 800 ps:
 - wynik obserwacji, które potwierdzają teoretyczne wnioski
 - 800 ps to czas przesyłu jednego kodu 8b10b
- Korekcja nadmiarowa FEC
 - autor zgadza się, że jest mało efektywna dla komunikatów sterujących o małych rozmiarach
 - autor podtrzymuje to stanowisko, tekst na s.150 jest mało klarowny