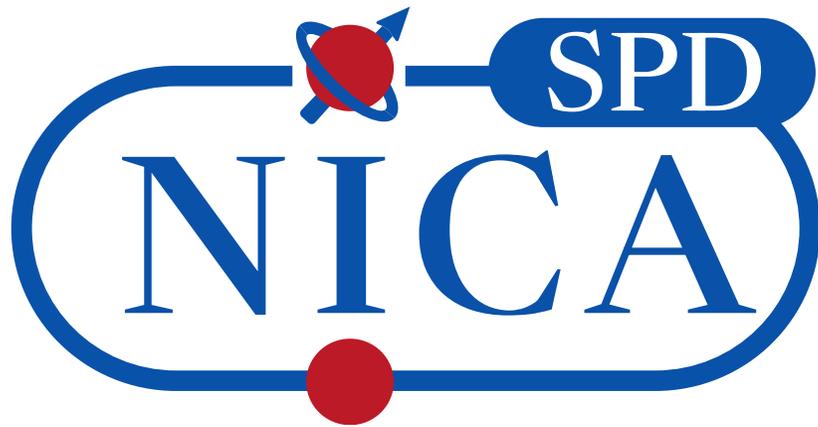
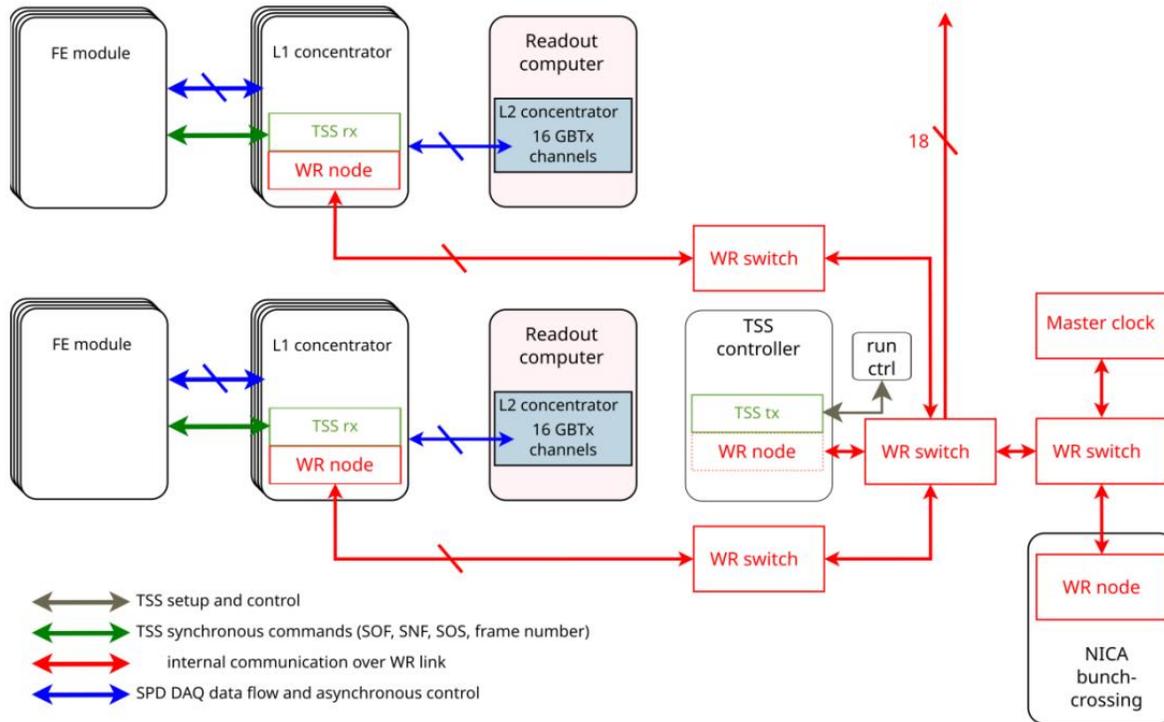


Методика автоматизированной калибровки оконечных узлов сети White Rabbit для запуска и наладки подсистемы синхронизации эксперимента SPD



Студент гр. 5130901/10202, Козьрев Д.В.
Научный руководитель: к.т.н. Болсуновская М.В.

Подсистема синхронизации времени (TSS) с использованием технологии White Rabbit (WR)



1. Распределяет глобальный тактовый сигнал и время на весь DAQ
 - WhiteRabbit PTP (высокоточный профиль IEEE1588-2019) – стандартизированный открытый протокол, разработанный и поддерживаемый ЦЕРНОм
 - Ожидаемая точность синхронизации лучше 1 нс
2. Генерирует и распределяет синхронные команды и обозначает границы фреймов и слайсов
 - Пользователь отправляет команды Start/Restart, Stop и Abort на TSS контроллер
 - TSS контроллер генерирует расписание
 - TSS ноды (на L1) получают это расписание и генерируют синхронные команды на front-end устройства

Точность синхронизации

После первичной синхронизации конечный узел WR следит за глобальным тактовым сигналом и поддерживает частоту локального тактового сигнала соответствующую ему

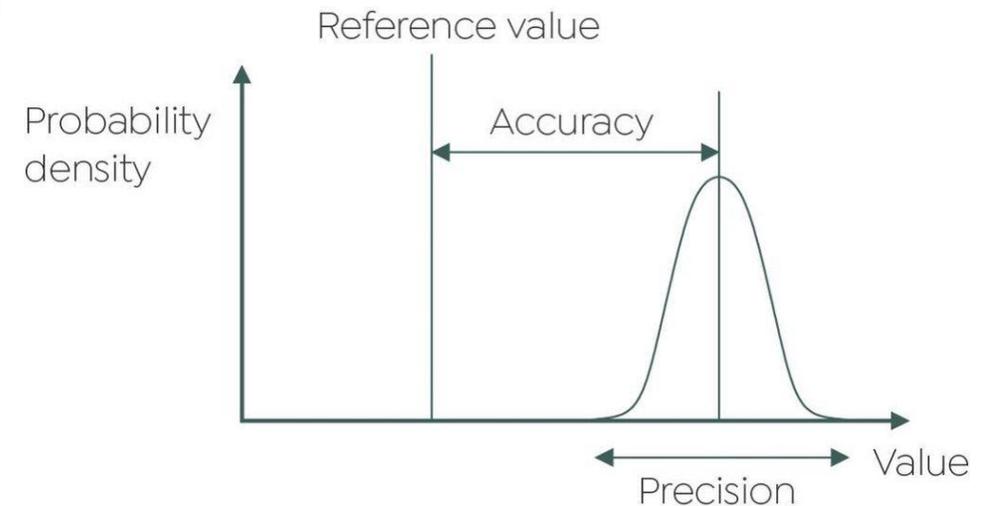
Определяется двумя количественными показателями

Среднее отклонение фазы тактового сигнала:

$$\overline{\Delta t} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (t_i - t_{ref}) \quad \text{SPD:} < 1 \text{ нс}$$

Фазовое дрожание (англ. jitter):

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M (\Delta t_i - \overline{\Delta t})^2} \quad \text{SPD:} < 50 \text{ пс}$$



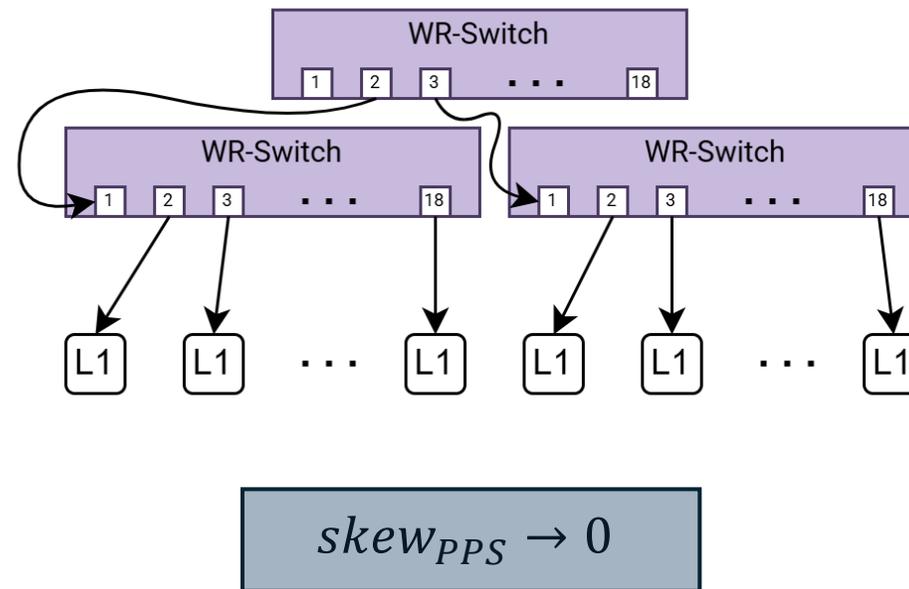
- Субнаносекундная точность синхронизации может быть достигнута после калибровка на произвольных аппаратных платформах
- Фазовое дрожание зависит от выбора аппаратной базы

Предлагаемая методика калибровки

Значительное уменьшение времени калибровки сети White Rabbit

Configuration	Before	Now
2Sw, 17 Nodes	9h 0min	14h 29min
3Sw, 34 Nodes	18h 0min	14h 47min
4Sw, 51 Nodes	27h 0min	15h 5min
5Sw, 68 Nodes	36h 0min	15h 23min
***	***	***
17Sw, 272 Nodes	144h 0min	18h 59min

- Независимость от прекалиброванных SFP-модулей
- Независимость от прекалиброванных мастер-портах коммутатора
- Независимость от длины оптоволоконного кабеля (длина < 100 м)



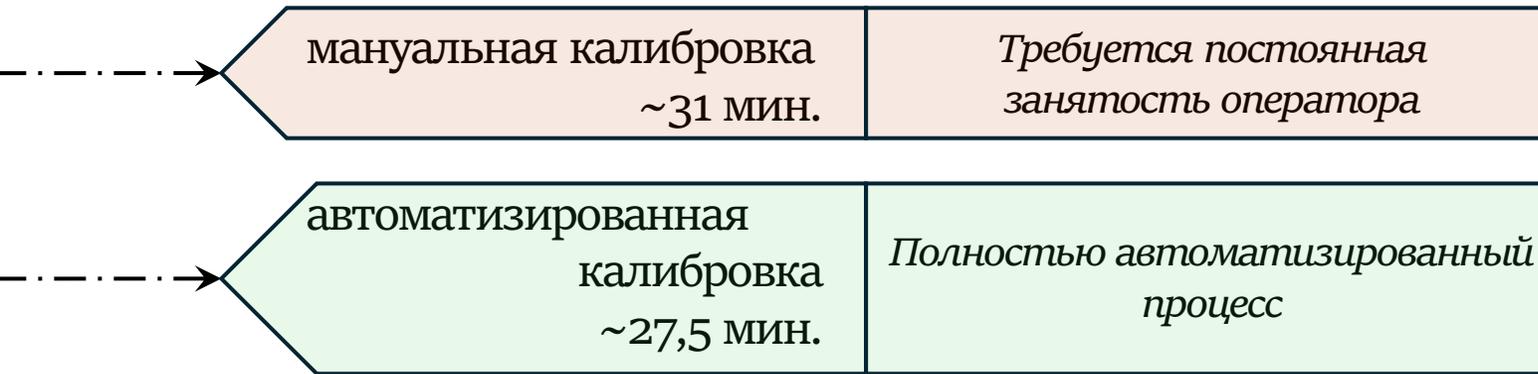
TIMEFUNC

Erik Dierikx and Yan Xie

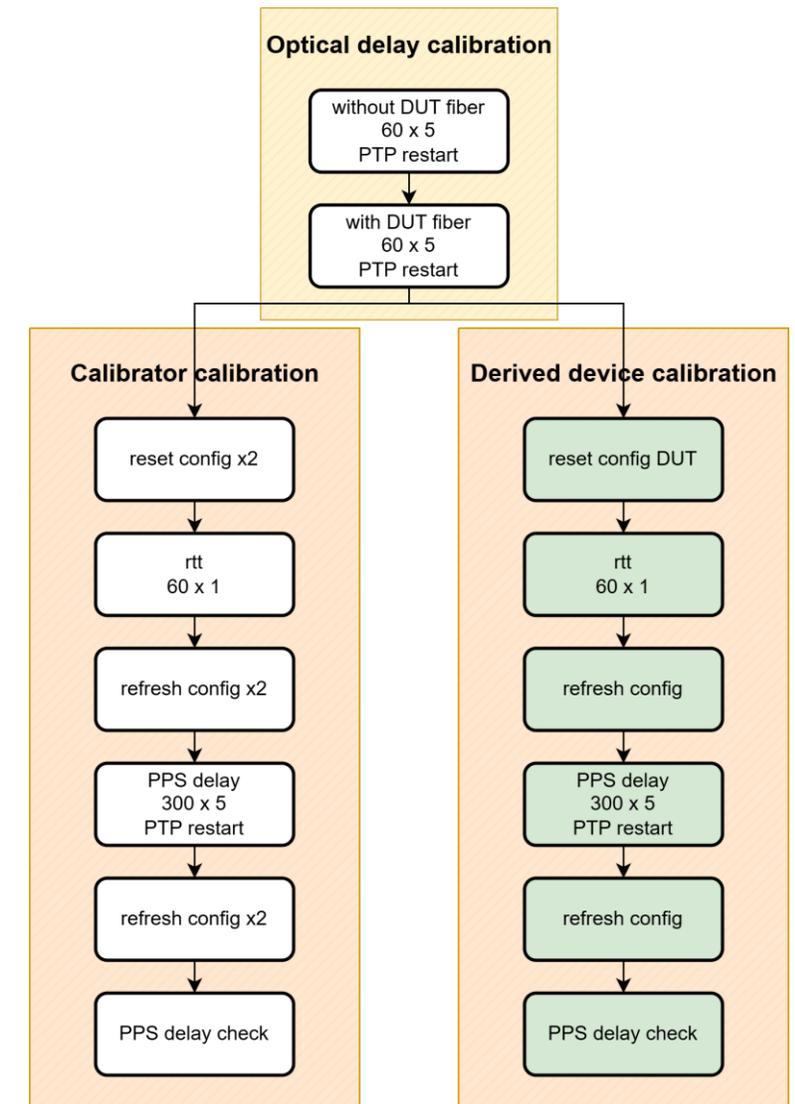
White Rabbit Good Practice Guide

Рекомендации Европейской
метрологической программы
исследований и инноваций (EMPIR)

Автоматизация калибровки



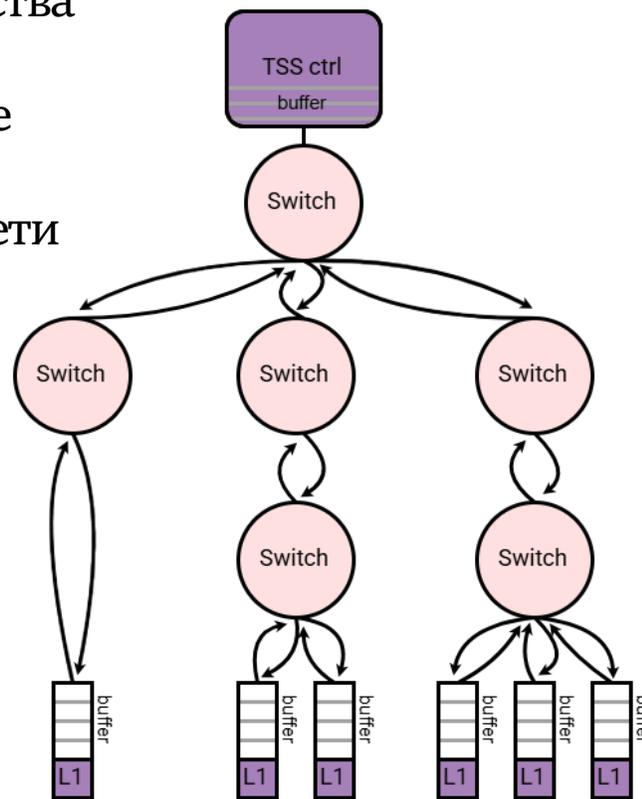
- настраивает осциллограф Rohde und Schwarz серии RTO 2000 (R&S RTO);
- настраивает подключение к SSH-серверу, к которому подключено как минимум одно ОУ WR;
- производит измерение отклонения сигналов PPS между slave и master устройствами, используя осциллограф;
- производит удаленную перезагрузку протокола PTP оконечного узла;
- осуществляет циклический сбор калибровочных данных и затем вычисляет калибровочные коэффициенты;
- реконфигурирует устройства WR-Node новыми коэффициентами калибровки;
- включает проведение эксперимента по оценке точности синхронизации с уточненными коэффициентами калибровки.



Запуск и наладка сети White Rabbit

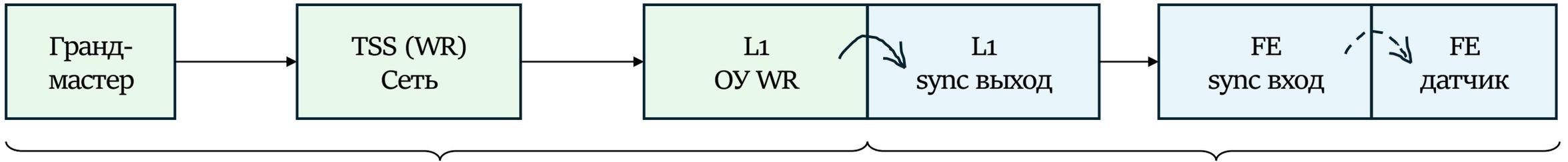
1. Калибровка портов калибровочной пары
2. Калибровка SFP-модулей для сборки системы
3. Калибровка оконечного устройства
4. Сборка подсистемы TSS
5. Удаленное реконфигурирование всех узлов
6. Поддержка калибровки узлов сети

основанное на протоколе
SNMP управление



- Распространение **единожды** вычисленных калибровочных коэффициентов на другие абоненты TSS
- Удаленная **наладка** калибровки узлов сети после замены или выхода из строя устройства
- Составление **карты** калибровки ОУ сети
- **Резервное копирование** калибровочных коэффициентов узлов сети
- **Диагностика** калибровки узлов

Бюджет относительного фазового дрожания и отклонения фазы PPS



<20 пс фазового дрожания PPS
<350 пс отклонения сигнала PPS

~250 пс при $\Delta T = (37-60 \text{ с})$
 ~30 пс при резком изменении t_s
 ~50 пс изменение длины
 оптоволокна с 10 м на 100 м

Не определен

Задержка на участке может быть нивелирована при калибровке сети White Rabbit

$skew_{PPS} \rightarrow -\delta$

 Calibration performed.
 Old mean was: 38902.933836312392593 ps. New mean is: - 4.4490422553937785 ps