Программно-аппаратная разработка с использованием FPGA на примере поддержки протокола PTP

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

План доклада

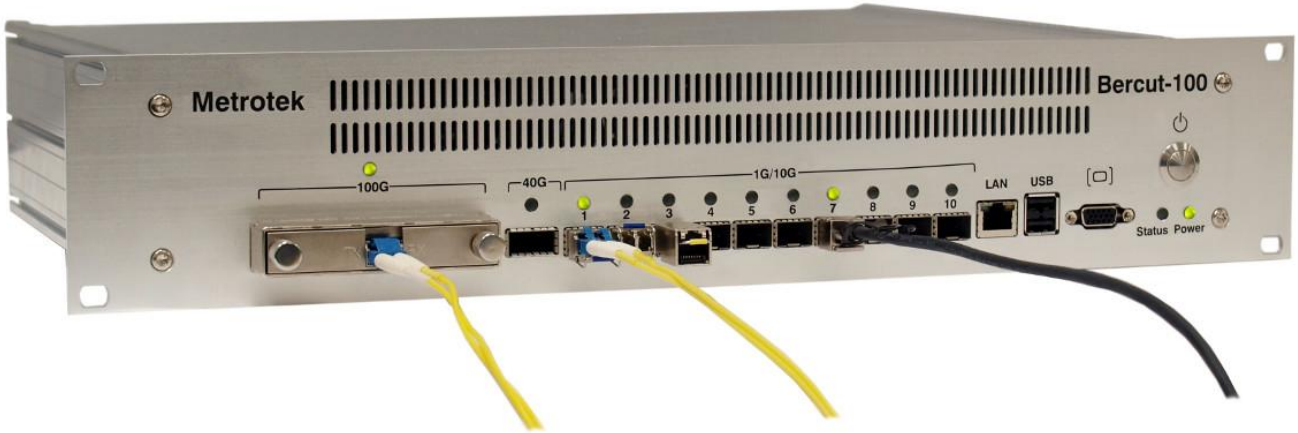
- Задачи не для CPU
- FPGA и SoC -- что это такое?
- Пример задачи -- протокол PTP
- Архитектура системы
- Сравнение реализаций

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Задачи не для CPU

- Высокая пропускная способность
- Пример -- обработка 10G/40G/100G Ethernet



НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Задачи не для CPU

- Минимальные задержки (десятки наносекунд)
- Пример -- финансовые операции, HFT

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Задачи не для CPU

- Получение детерминированных задержек
- Обработка данных в реальном времени
- Пример -- поддержка PTP, обработка видео

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Когда CPU не Ваш друг?

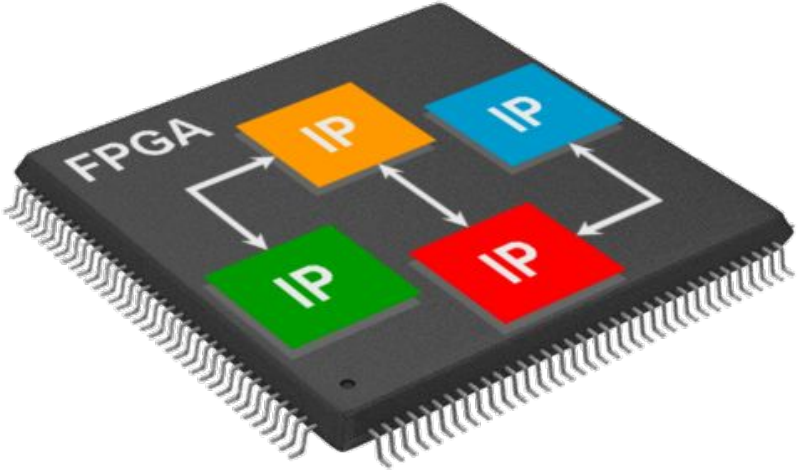
- Высокая пропускная способность
- Минимизация задержек
- Real Time Data Processing
- Произвольная степень параллелизма

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Что такое FPGA?

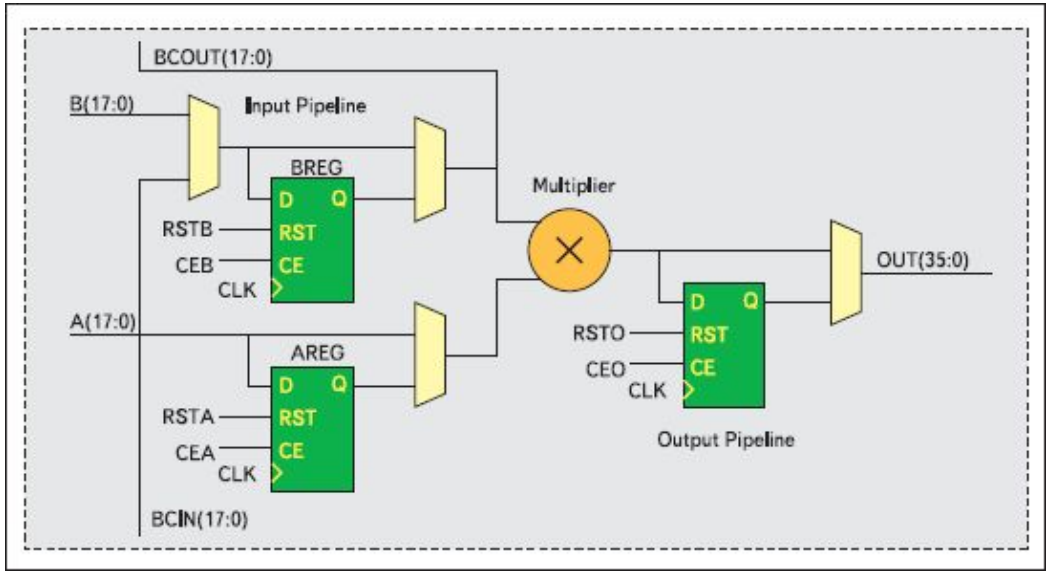
- FPGA - Field-Programmable Gate Array
- По сути -- средняя/большая громадная цифровая схема
- Параллелизм ограничен только Вашим воображением

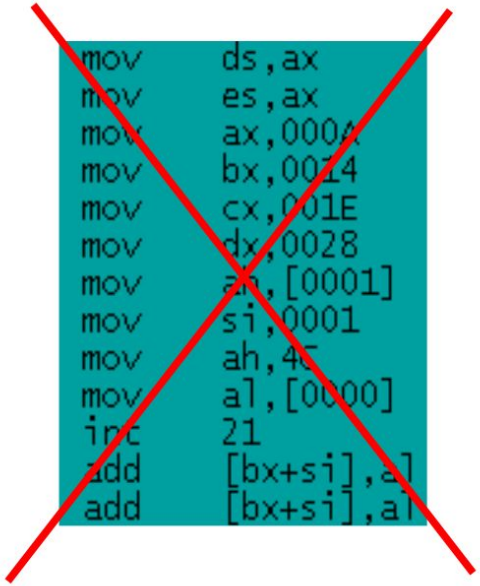


НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

FPGA - Field Programmable Gate Array

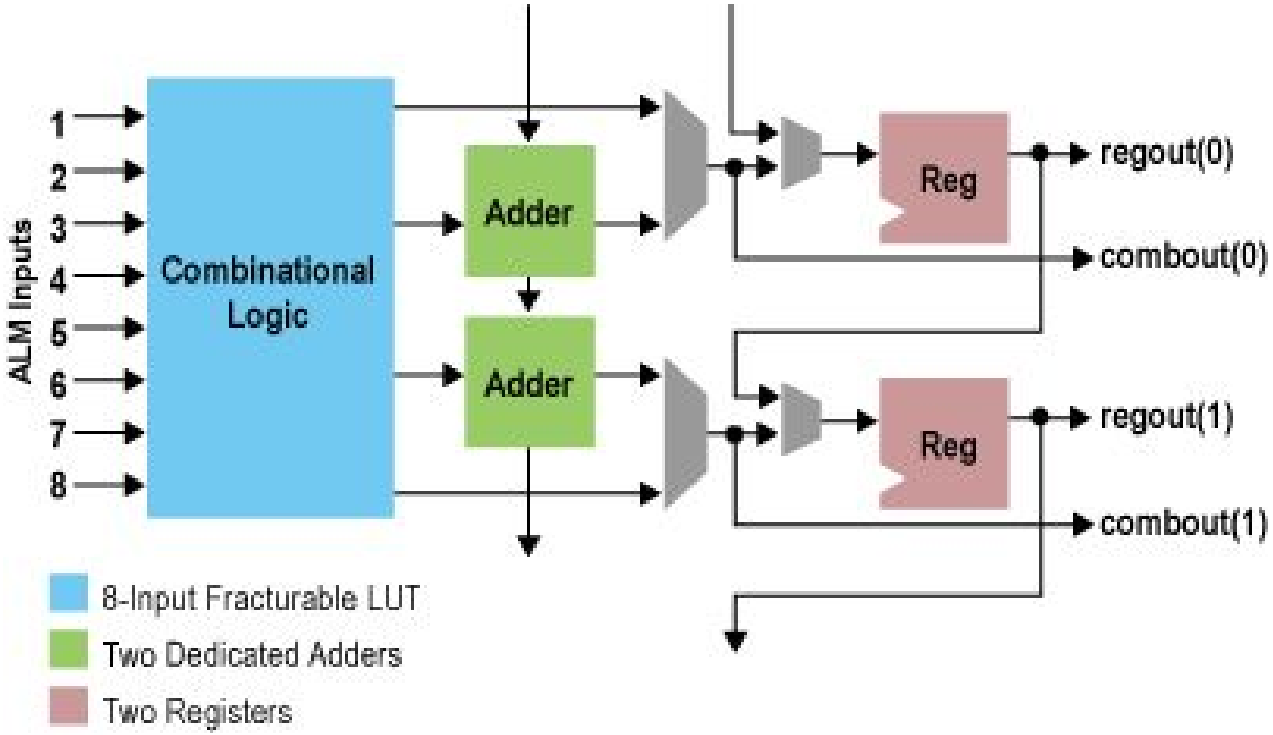




НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Cyclone V Adaptive Logic Module (ALM)



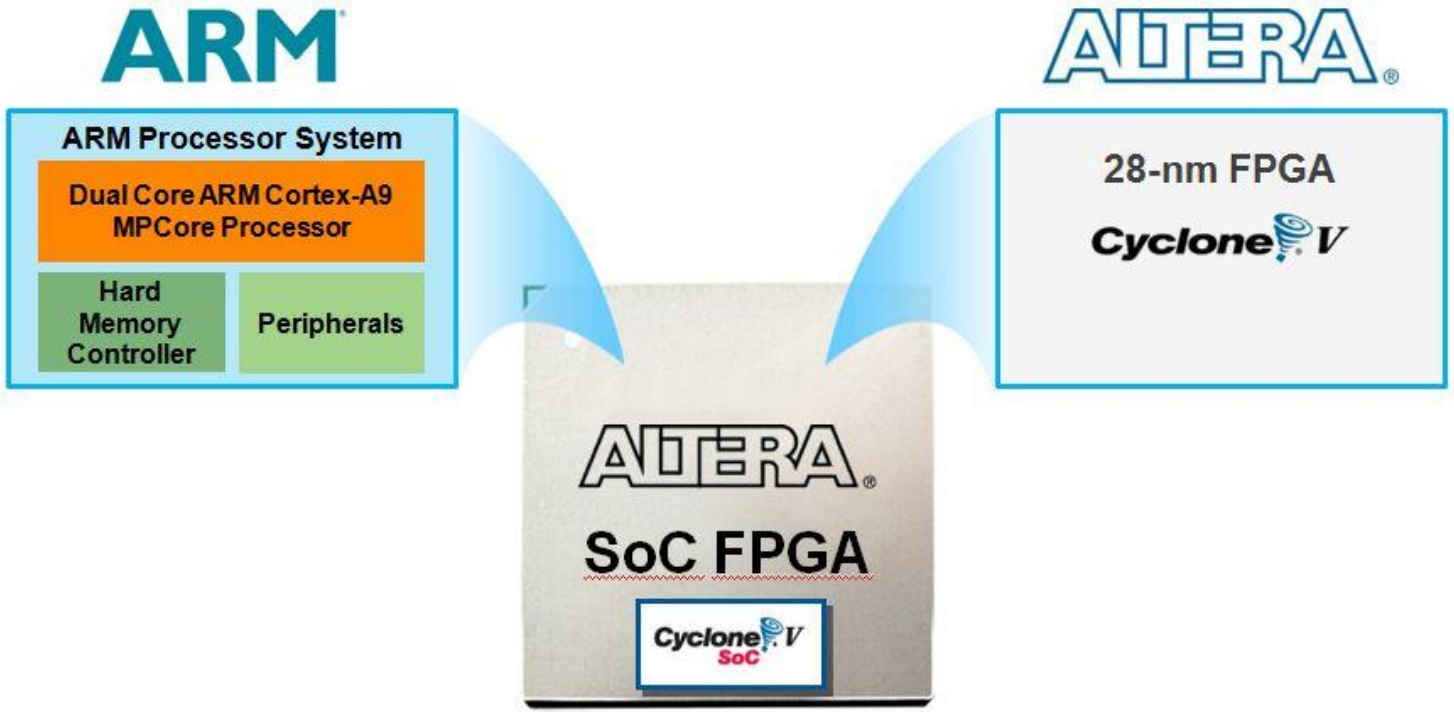
НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Что есть в FPGA?

- Logic Elements -- до 1M штук
- Триггеры -- до 1.5M штук
- Внутренняя память -- до 50-100 Mbit
- Трансиверы -- до 30 Gbps на пин, до 50 штук
- DSP блоки -- суммарно до 1 TFLOPS
- Интерфейсы -- DDR3, DDR4, QDRII+, PCIe Gen3
- **Встроенные ARM**

Altera SoC = HPS(CPU) + FPGA

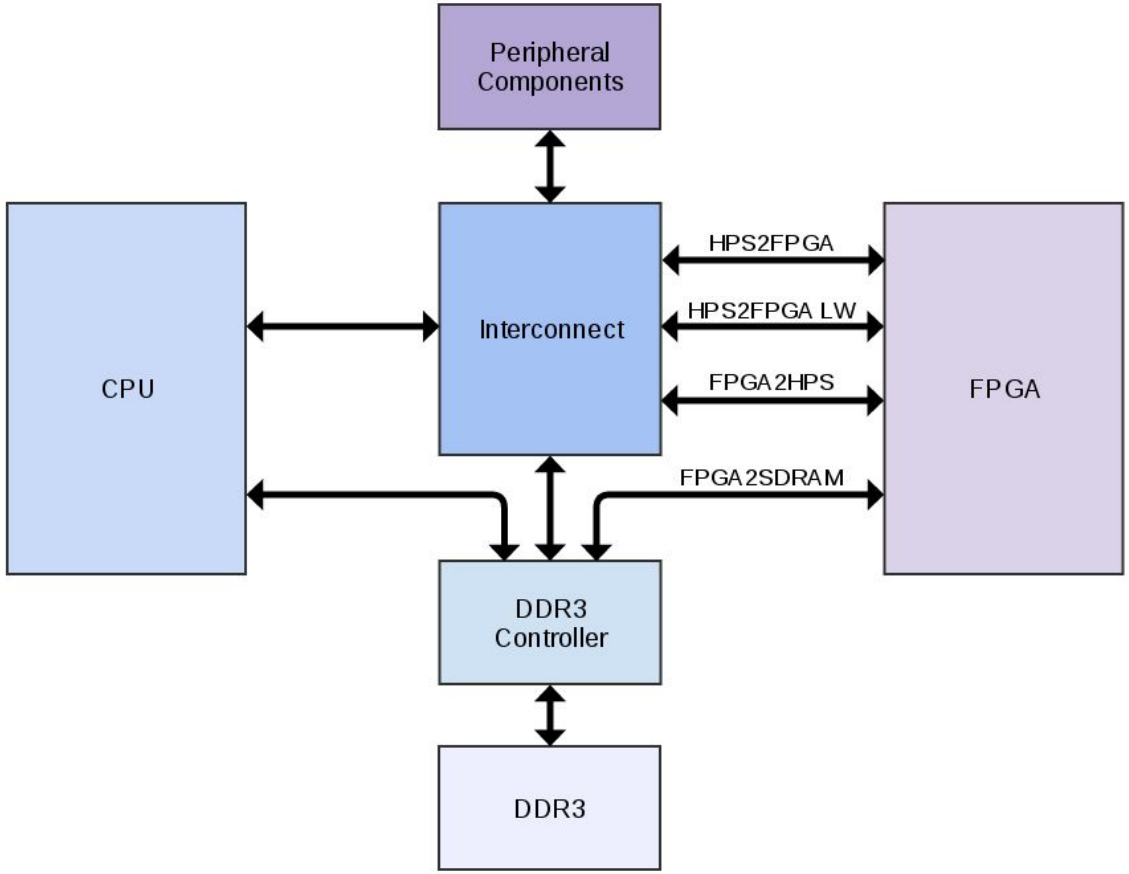


НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Основные интерфейсы между HPS и FPGA

- HPS-to-FPGA
- Lightweight HPS-to-FPGA
- FPGA-to-HPS
- FPGA-to-SDRAM



НТЦ Метротек

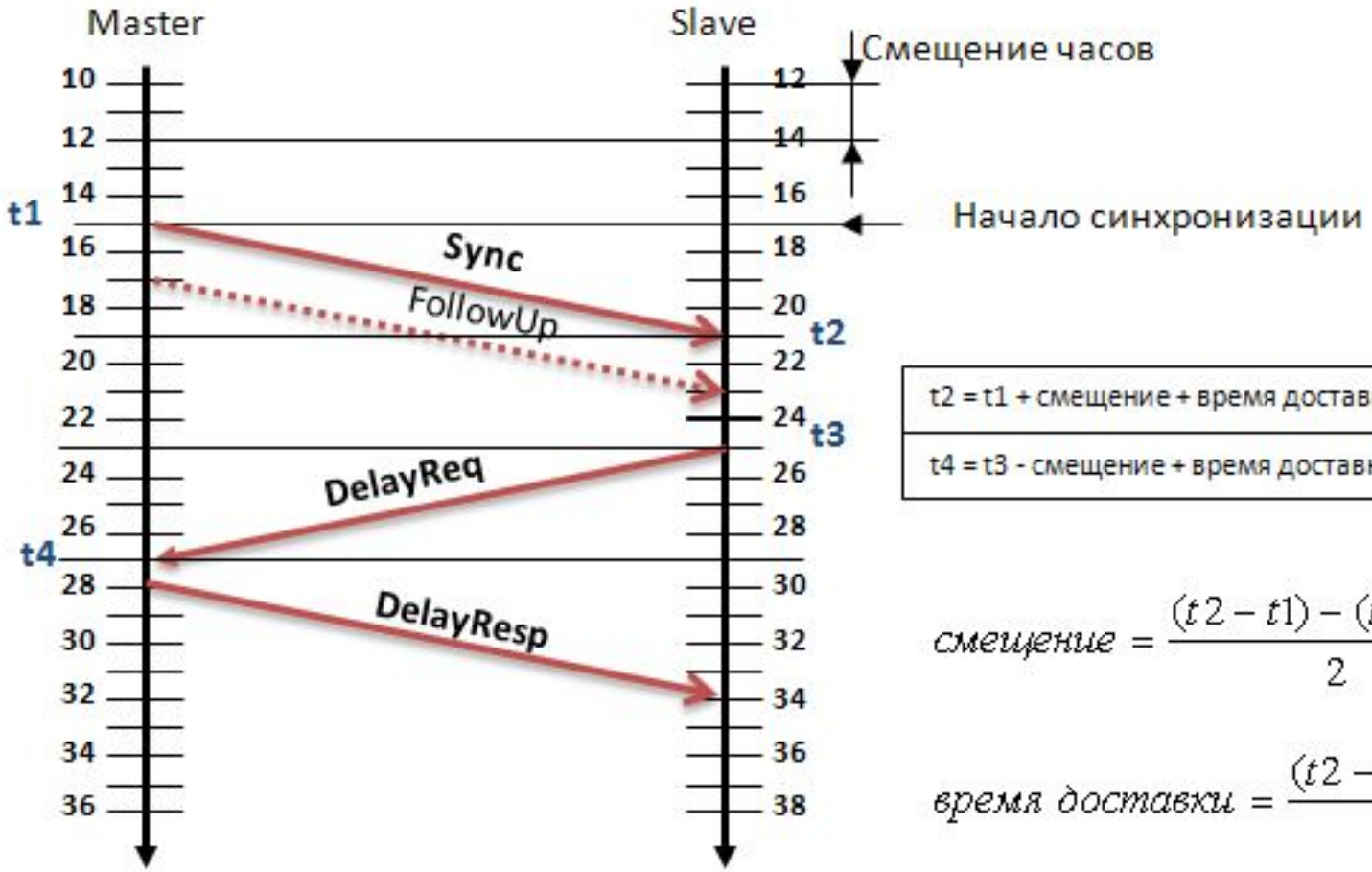
Что такое PTP?

PTP (англ. *Precision Time Protocol* — «протокол точного времени») — это протокол, используемый для синхронизации часов по компьютерной сети.

Обладает гораздо более высокой точностью, чем NTP.

В частности, нужен для измерения задержек в асимметричных каналах.

Обмен сообщениями в PTP



t2 = t1 + смещение + время доставки
t4 = t3 - смещение + время доставки

$$\text{смещение} = \frac{(t2 - t1) - (t4 - t3)}{2}$$

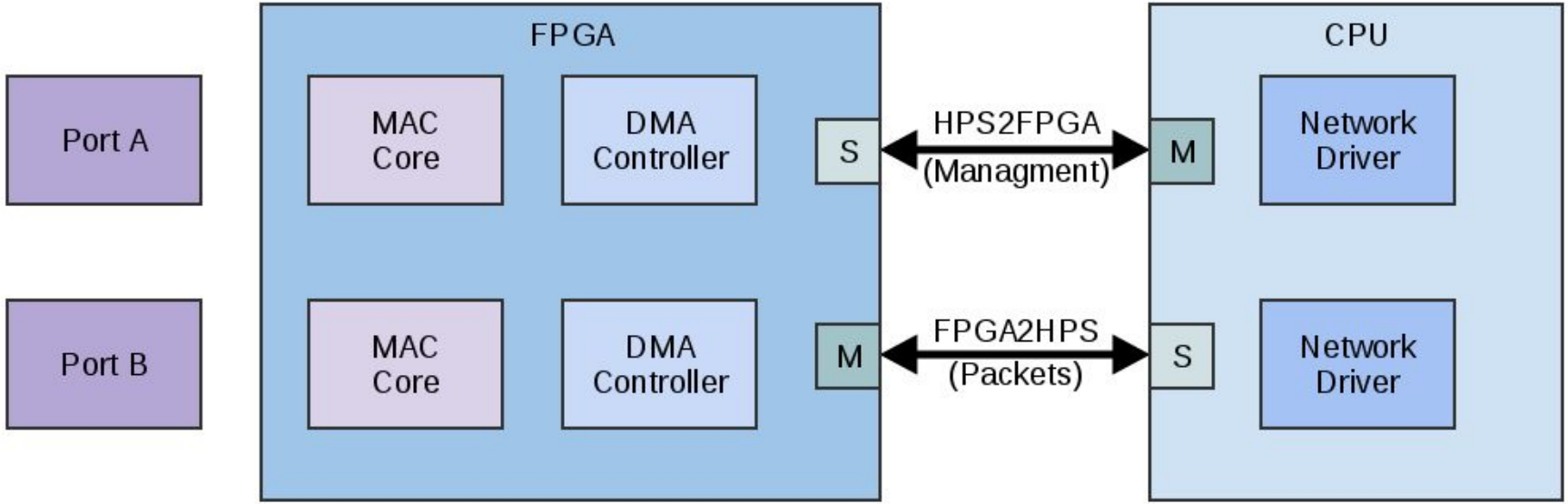
$$\text{время доставки} = \frac{(t2 - t1) + (t4 - t3)}{2}$$

Network Interface Controller (NIC)

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Архитектура NIC



НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Что нужно для поддержки PTP в NIC?

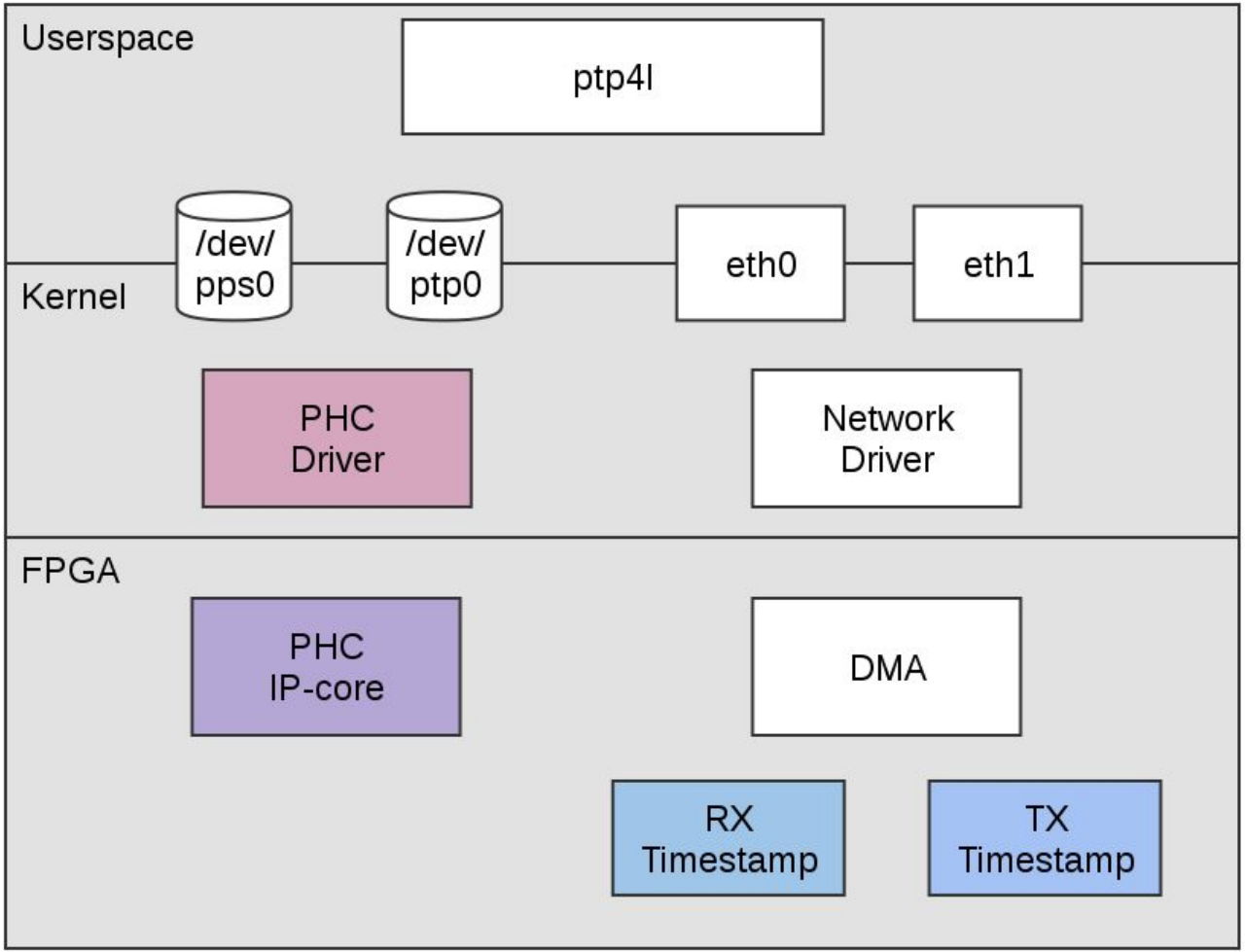
- Аппаратные часы с подстройкой --
  PTP Hardware Clock (PHC)

- Сохранение временных меток на приёме (TX)
  и передаче (RX)

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Архитектура



НТЦ Метротек

Необходимые компоненты

- IP-корка PTP Hardware Clock (PHC)
- Драйвер для управления и настройки PHC
- IP-корка для вставки временной метки в RX пакеты
- IP-корка для сохранения времени отправки TX пакетов
- Изменения в сетевом драйвере

PTP Hardware Clock (PHC)

- Счётчик времени в 8-ми наносекундных HW-тиках (для совместимости с сигнатурой RFC2544)
- Clock adjust -- изменение времени на заданную величину.
- Frequency adjust -- изменение частоты.
- Генерация IRQ в начале каждой секунды.
  Для поддержки PPS.

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

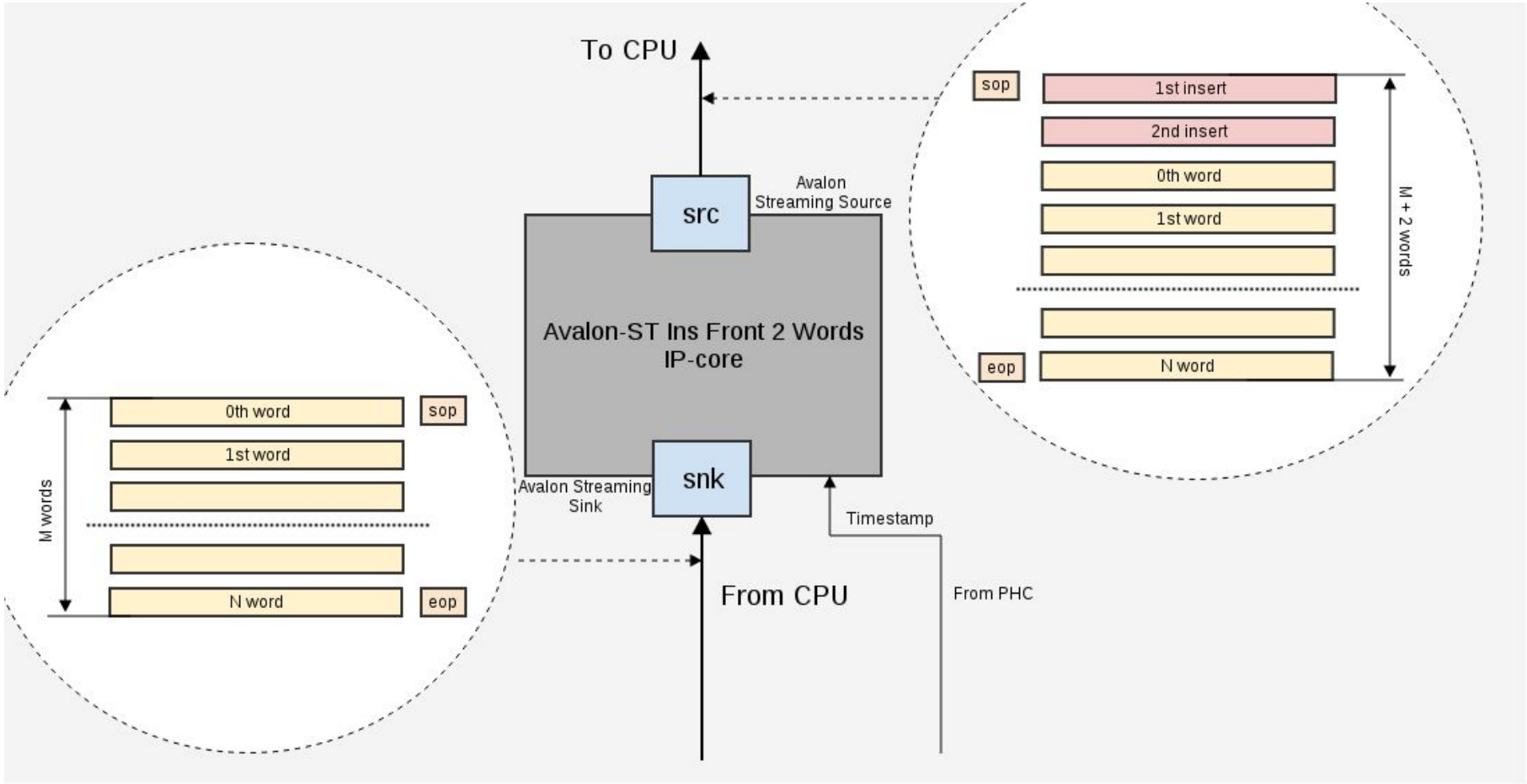
RX Timestamping IP-core

- Сохраняет время приёма пакета
- Вставляет время в тело пакета (первые два слова).
- Время сохраняется для каждого пакета.

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

RX Timestamping IP-core



TX Timestamping IP-core

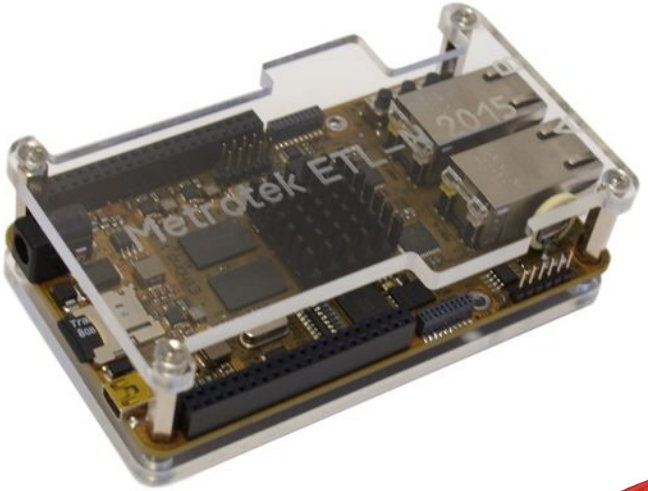
- Запоминает время отправки пакета.
  CPU может прочитать его через регистры.
- В очереди может быть только один пакет.

Нужно ли это всё?

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

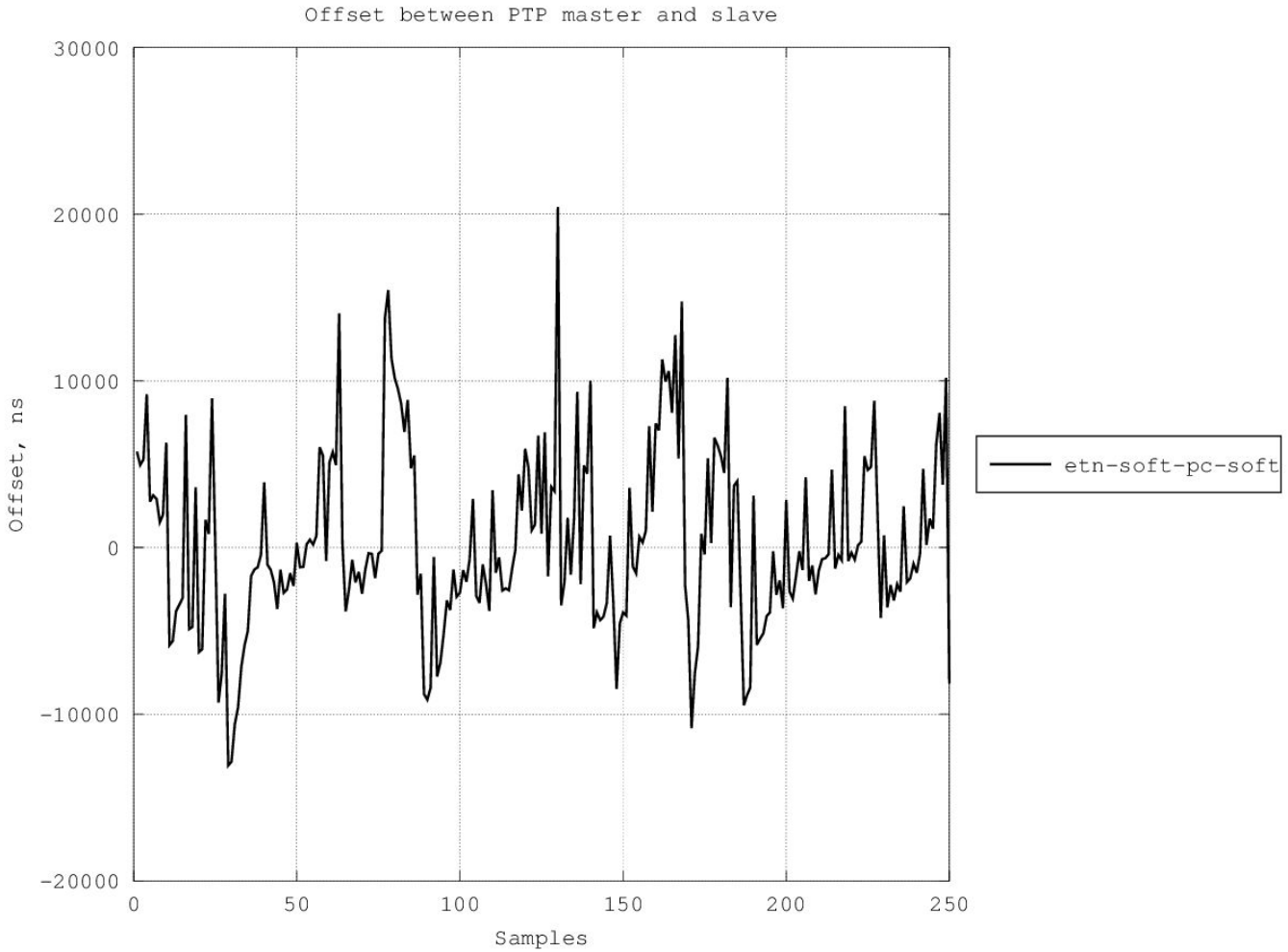
Тестовый стенд



НТЦ Метротек

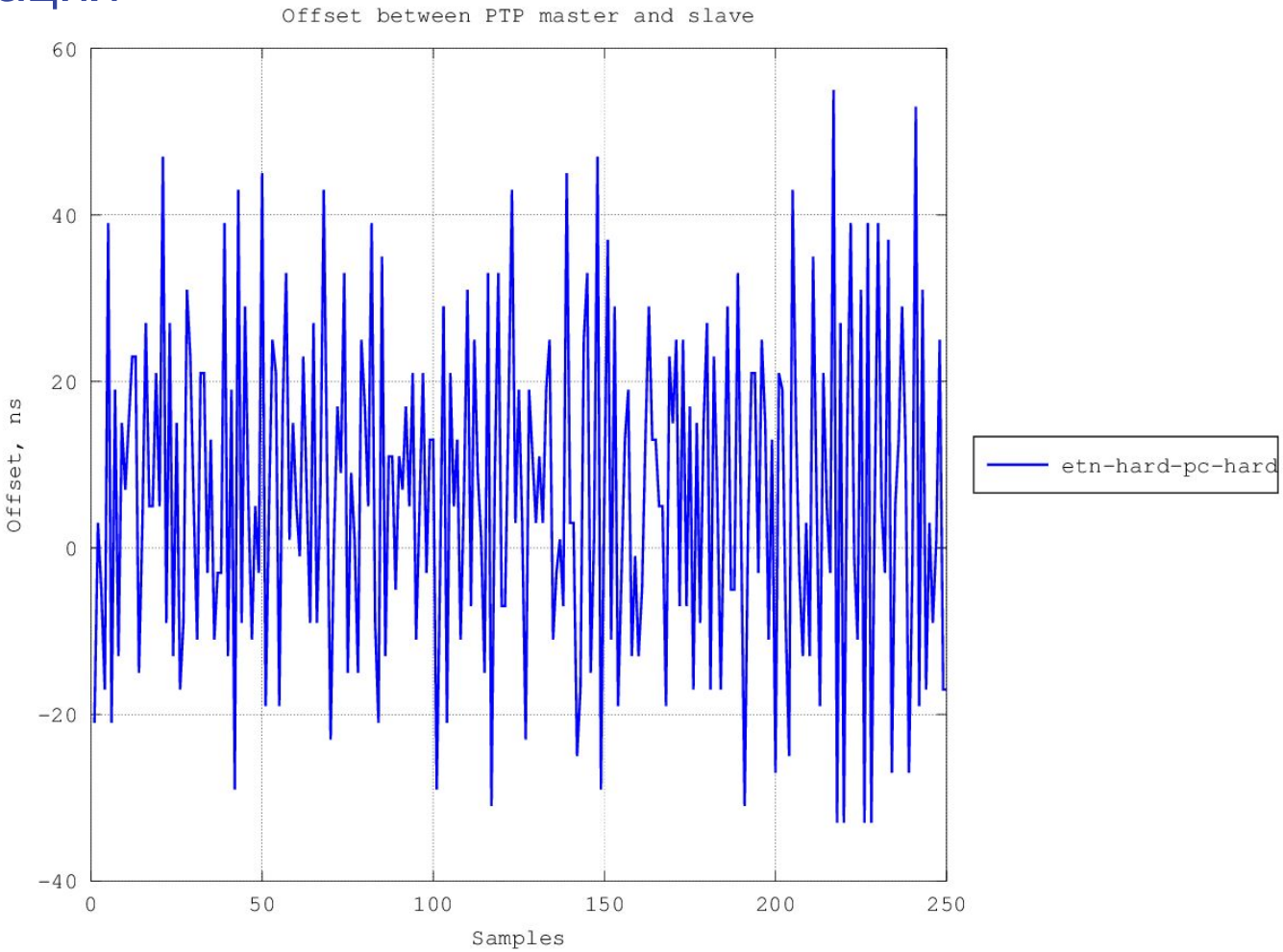
Денис Габидуллин

Программная реализация



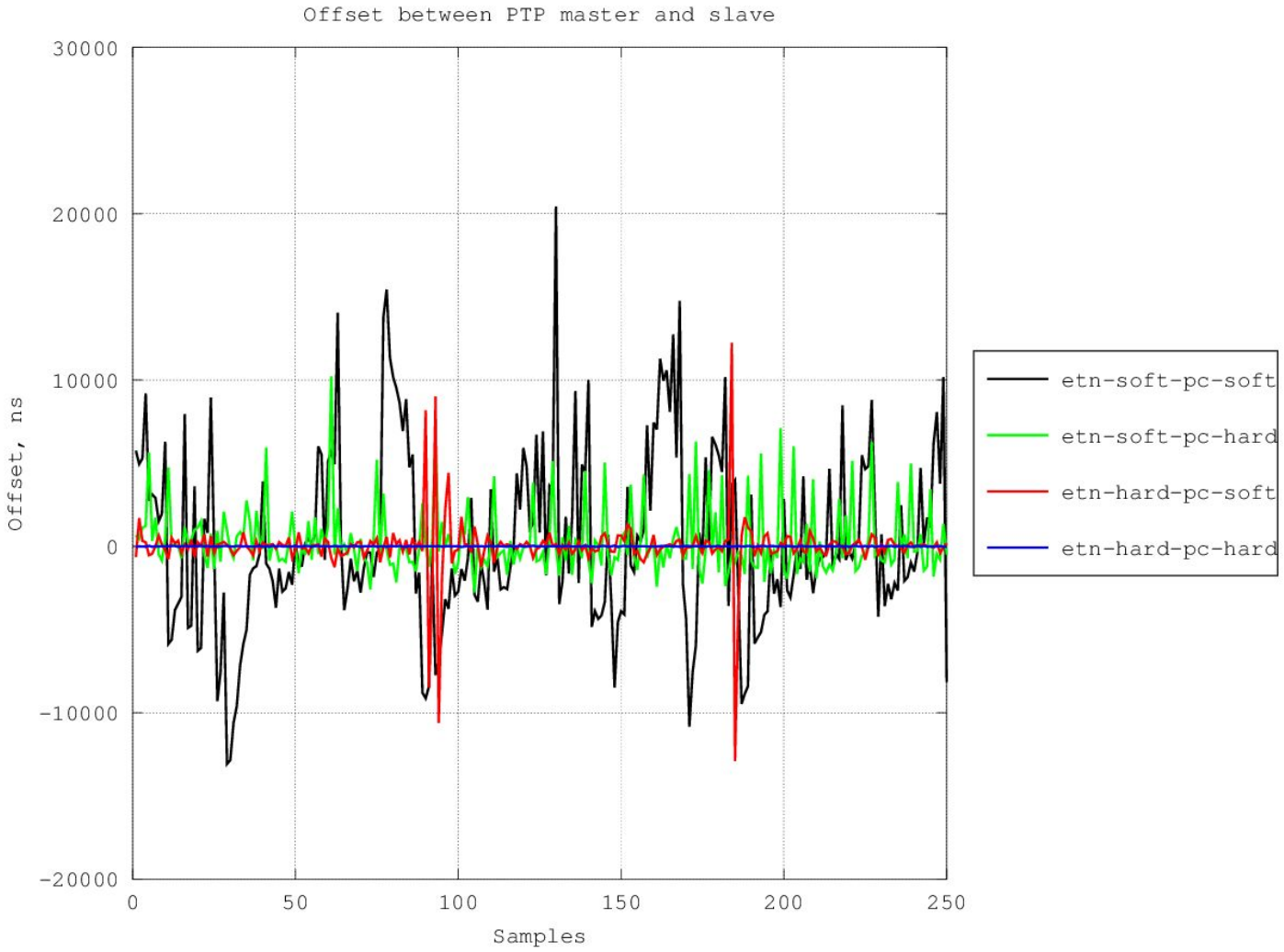
НТЦ Метротек

Аппаратная реализация



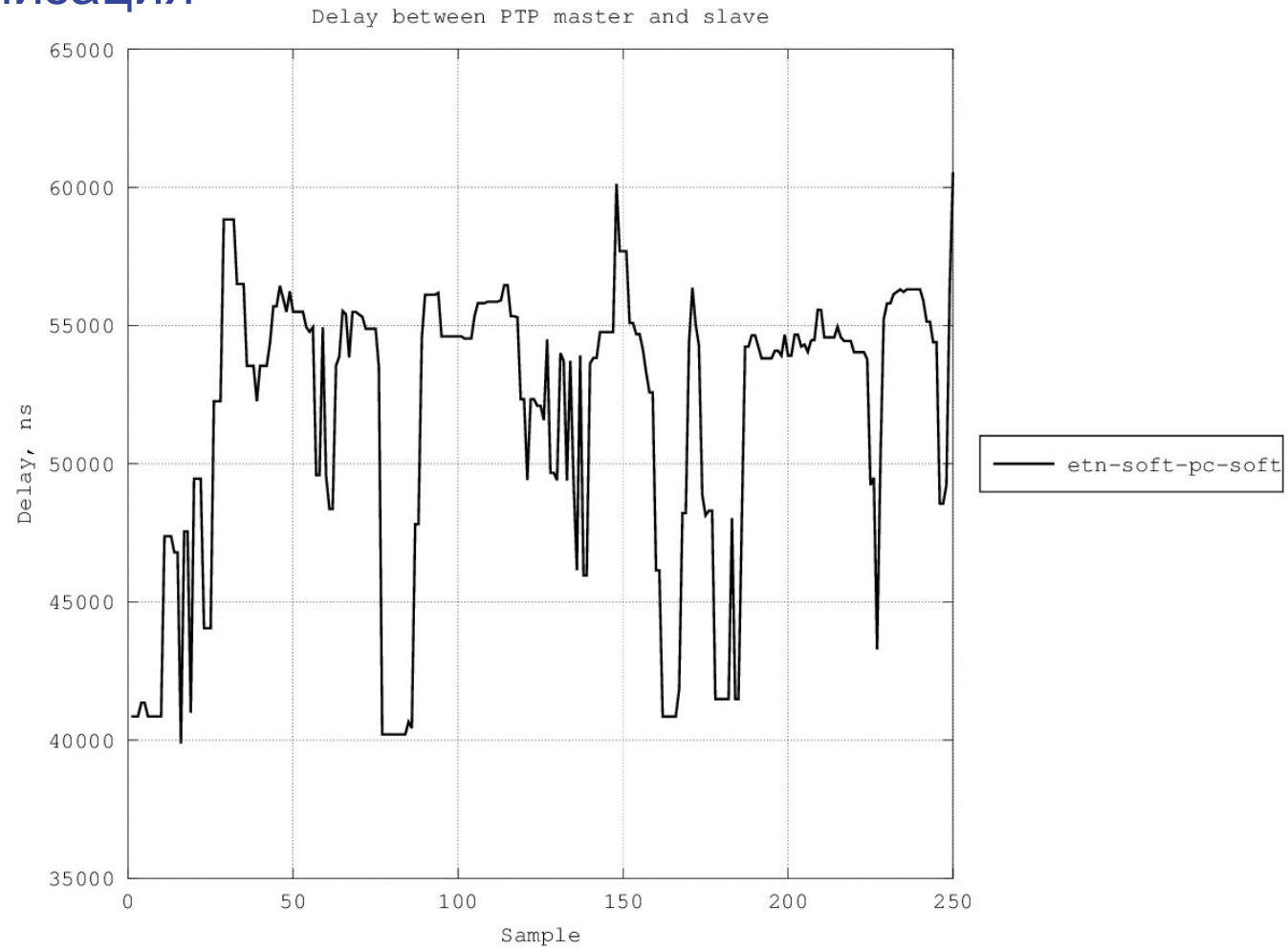
НТЦ Метротек

Сравнение



НТЦ Метротек

Программная реализация

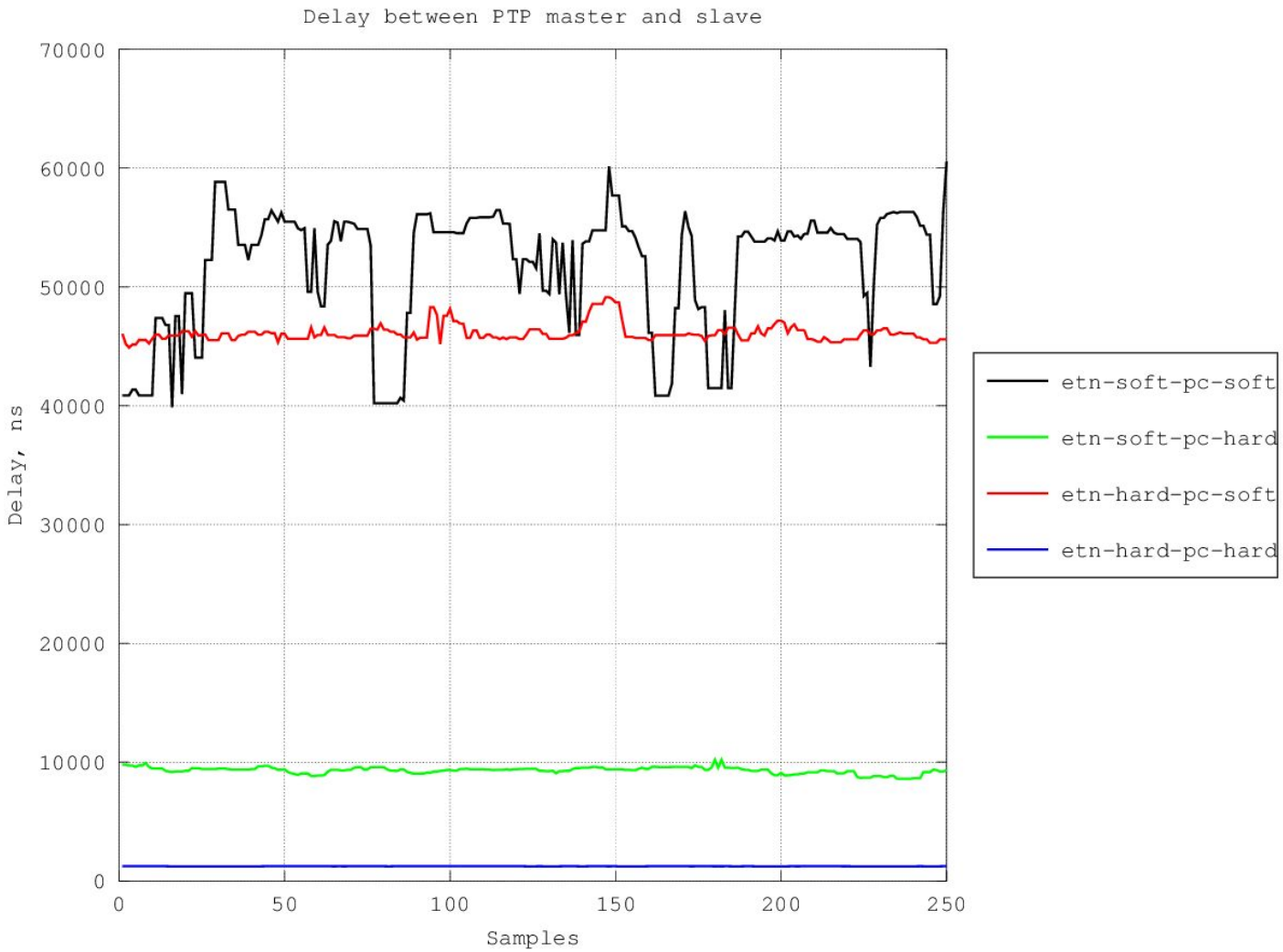


НТЦ Метротек

Аппаратная реализация

НТЦ Метротек

Сравнение



НТЦ Метротек

Сравнение

	Смещение (нс)	Задержка (нс)
Программная реализация	от -12000 до +20000	от 40000 до 60000
Аппаратная реализация	от -40 до +50	от 1220 до 1250

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин

Спасибо за внимание!
Ваши вопросы?

НТЦ Метротек

Денис Габидуллин