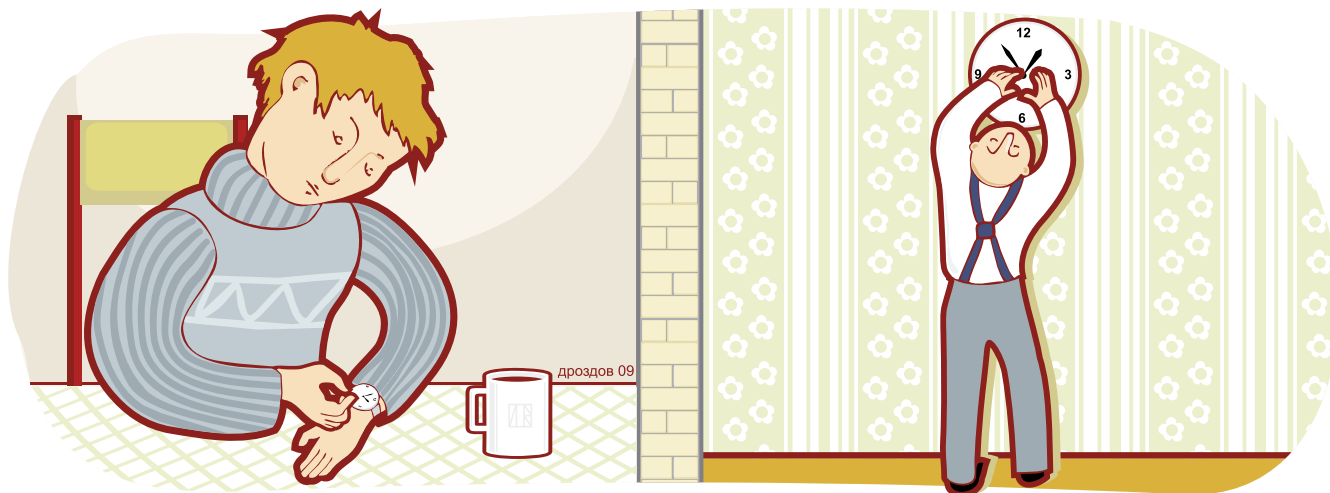


Синхронизация времени согласно стандарту IEEE 1588



В данной статье вы найдете ответы на следующие вопросы:

- Каковы отличительные особенности синхронизации времени согласно протоколу РТР (стандарт IEEE 1588)?
- Каковы алгоритмы синхронизации времени на основе протоколов РТР версий 1 и 2?

Автор

Андреас Дреер

Вопрос синхронизации устройств по времени важен для многих распределенных систем промышленной автоматизации. При использовании протокола Precision Time Protocol (PTP), описанного стандартом IEEE 1588, становится возможным выполнение синхронизации внутренних часов устройств, объединенных по сети Ethernet, с погрешностями, не превышающими 1 микросекунды. При этом к вычислительной способности устройств и пропускной способности сети предъявляются относительно низкие требования. В 2008 году была утверждена вторая редакция стандарта (IEEE 1588-2008 – РТР версия 2) с рядом внесенных усовершенствований по сравнению с первой его редакцией.

ЗАЧЕМ НЕОБХОДИМА СИНХРОНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ПО ВРЕМЕНИ?

Во многих системах должен производиться отсчет времени. О неявной системе отсчета времени можно говорить тогда, когда в системе отсутству-

ют часы и ход времени определяется процессами, протекающими в аппаратном и программном обеспечении. Этого оказывается достаточно во многих случаях. Неявная система отсчета времени реализуется, к примеру, передачей сигналов, инициирующих начало отсчета времени и затем выполнение определенных действий, от одних устройств другим.

Система отсчета времени считается явной, если показания времени в ней определяются часами. Указанное необходимо для сложных систем. Таким образом, осуществляется разделение процедур передачи данных о времени и данных о процессе.

Два условия должны быть учтены при настройке или синхронизации часов в отдельных устройствах. Первое – показания часов в отдельных устройствах изначально отличаются друг от друга (смещение показаний времени друг относительно друга). Второе – реальные часы не производят отсчет времени с одинаковой скоростью.

Таким образом, требуется проводить постоянную корректировку хода самых неточных часов.

ПРЕДЫДУЩИЕ РЕШЕНИЯ

Существуют различные способы синхронизации часов в составе отдельных устройств, объединенных в одну информационную сеть. Наиболее известные способы – это использование протокола NTP (Network Time Protocol), а также более простого протокола, который образован от него, – протокола SNTP (Simple Network Time Protocol). Данные методы широко распространены для использования в локальных сетях и сети Интернет и позволяют обеспечивать синхронизацию времени с погрешностями в диапазоне нескольких миллисекунд. Другой вариант – использование радиосигналов с GPS спутников. Однако при использовании данного способа требуется наличие достаточно дорогих GPS-приемников для каждого из устройств, а также GPS-антенн. Данный способ теоретически может обеспечить высокую точность синхронизации времени, однако материальные затраты и трудозатраты обычно препятствуют реализации такого метода синхронизации.

Другим решением является передача высокоточного временного импульса (например, одного импульса в секунду) каждому отдельному устройству по выделенной линии. Реализация данного метода влечет за собой необходимость создания выделенной линии связи к каждому устройству.

Последним методом, который может быть использован, является протокол РТР (Precision Time Protocol), описанный стандартом IEEE 1588. Протокол был разработан со следующими целями:

- Обеспечение синхронизации времени с погрешностью, не превышающей 1 микросекунды.
- Предъявление минимальных требований к производительности процессоров устройств и к пропускной способности линии связи, что позволило бы обеспечить реализацию протокола в простых и дешевых устройствах.
- Предъявление невысоких требований к обслуживаемому персоналу.
- Возможность использования в сетях Ethernet, а также в других сетях.
- Спецификация его как международного стандарта.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТОКОЛА РТР

Протокол РТР может быть применен в различных рода системах. В системах автоматизации протокол РТР востребован везде, где требуется точная синхронизация устройств по времени. Протокол позволяет синхронизировать устройства в робототехнике или печатной промышленности, в системах, осуществляющих обработку бумаги и упаковку продукции, а также других областях.

В общем и целом в любых системах, где осуществляется измерение тех или иных величин и их сравнение с величинами, измеренными другими устройствами, использование протокола РТР является популярным решением. Системы управления турбинами используют протокол РТР для обеспечения более эффективной работы станций. События, происходящие в различных частях распределенных в пространстве систем, определяются метками точного времени и затем для целей архивирования и анализа осуществляется их передача на центры управления. Геоученые используют протокол РТР для синхронизации установок мониторинга сейсмической активности, удаленных друг от друга на значительные расстояния, что предоставляет возможность более точным образом определять эпицентры землетрясений. В области телекоммуникаций рассматривают возможность использования протокола РТР для целей синхронизации сетей и базовых станций. Также синхронизация времени согласно стандарту IEEE 1588 представляет интерес для разработчиков систем обеспечения жизнедеятельности, систем передачи аудио- и видеопотоков и может быть использована в военной промышленности.

В электроэнергетике протокол РТРv2 (протокол РТР версии 2) определен для синхронизации интеллектуальных электронных устройств (IED) по времени. Например, при реализации шины процесса, с передачей мгновенных значений тока и напряжения согласно стандарту МЭК 61850-9-2, требуется точная синхронизация полевых устройств по времени. Для реализации систем защиты и автоматики с использованием сети Ethernet погрешность синхронизации данных различных устройств по времени должна лежать в микросекундном диапазоне.

Также для реализации функций синхронизированного распределенного векторного измерения электрических величин согласно стандарту IEEE C37.118, учета, оценки качества электрической энергии или анализа аварийных событий необходимо наличие устройств, синхронизированных по времени с максимальной точностью, для чего может быть использован протокол РТР.

Вторая редакция стандарта МЭК 61850 определяет использование в системах синхронизации времени протокола РТР. Детализация профиля протокола РТР для использования на объектах электроэнергетики (IEEE Standard Profile for Use of IEEE 1588 Precision Time Protocol in Power System Applications) в настоящее время осуществляется рабочей группой комитета по релейной защите и автоматике организации (PSRC) IEEE.

ПРОТОКОЛ РТР ВЕРСИИ 2

В 2005 году была начата работа по изменению стандарта IEEE 1588-2002 с целью расширения возможных областей его применения (телекоммуникации, беспроводная связь и др.). Результатом работы стало новое издание IEEE 1588-2008, которое доступно с марта 2008 года со следующими новыми особенностями:

- Усовершенствованные алгоритмы для обеспечения погрешностей синхронизации в наносекундном диапазоне.
- Повышенное быстродействие синхронизации времени (возможна более частая передача сообщений синхронизации Sync).
- Поддержка новых типов сообщений.
- Ввод одноканального принципа работы (не требуется передачи сообщений типа FollowUp).
- Ввод поддержки функции т.н. прозрачных часов для предотвращения накопления погрешностей измерения при каскадной схеме соединения коммутаторов.
- Ввод профилей, определяющих настройки для новых областей применения.
- Возможность назначения на такие транспортные механизмы, как DeviceNet, PROfinet и IEEE802.3/Ethernet (прямое назначение).
- Ввод структуры TLV (тип, длина, значение) для расширения возможных областей применения стандарта и удовлетворения будущих потребностей.
- Ввод дополнительных опциональных расширений стандарта.

ПРАКТИКА

синхронизация ■ IEEE 1588 ■ РТР

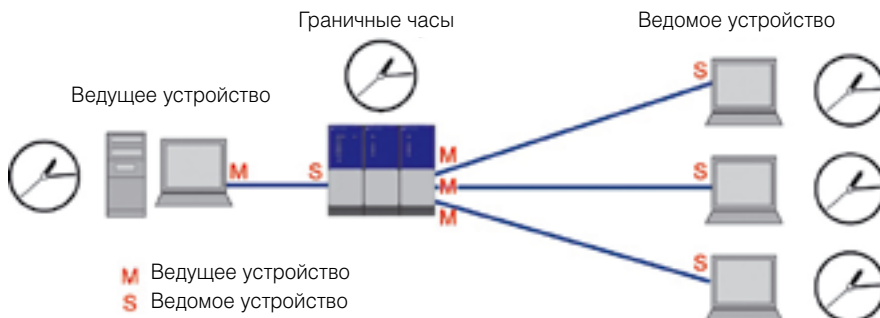


Рис. 1. Согласно протоколу РТР синхронизация устройств по времени осуществляется на основе схемы «ведущий – ведомый»

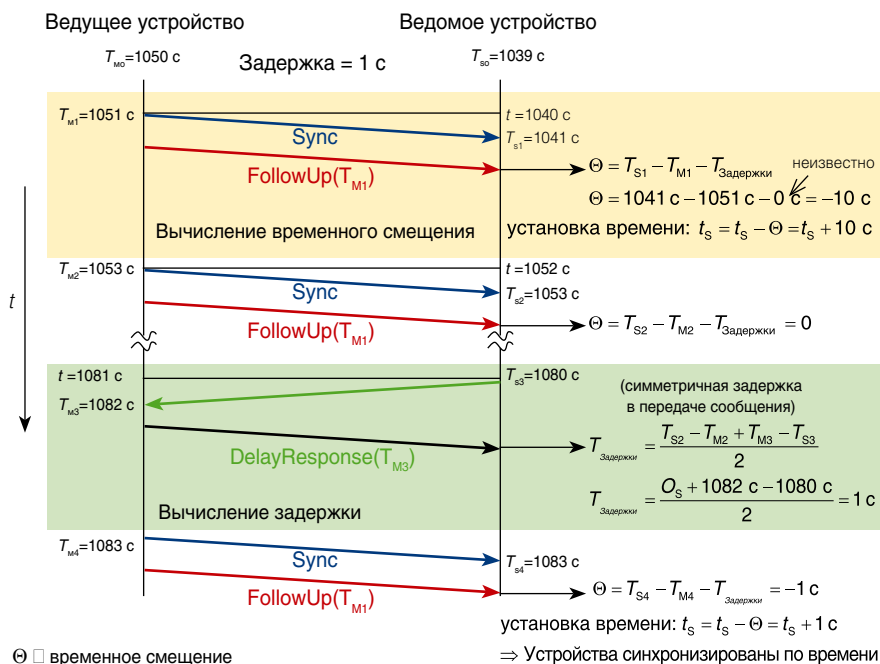


Рис. 2. Принцип выполнения синхронизации устройств по времени согласно протоколу РТР

ПРИНЦИП ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОТОКОЛА РТР

В системах, где используется протокол РТР, различают два вида часов: ведущие часы и ведомые часы. Ведущие часы, в идеале, контролируются либо радиочасами, либо GPS-приемниками и осуществляют синхронизацию ведомых часов. Часы в конечных устройствах, неважно, ведущие ли они или ведомые, считаются обычными часами; часы в составе устройств сети, выполняющих функцию передачи и маршрутизации данных (например, в Ethernet-коммутаторах), считаются граничными часами.

Процедура синхронизации согласно протоколу РТР подразделяется на два этапа. На первом этапе осуществляется коррекция разницы в показаниях времени между

ведущими и ведомыми часами — то есть осуществляется так называемая коррекция смещения показаний времени. Для этого ведущее устройство осуществляет передачу сообщения для целей синхронизации времени Sync ведомому устройству (сообщение типа Sync). Сообщение содержит в себе текущее показание времени ведущих часов, и его передача осуществляется периодически через фиксированные интервалы времени. Однако поскольку считывание показаний ведущих часов, обработка данных и передача через контроллер Ethernet занимает некоторое время, информация в передаваемом сообщении к моменту его приема оказывается неактуальной. Одновременно с этим осуществляется как можно более точная фиксация момента времени, в который сообщение Sync уходит от отправителя, в составе которого нахо-

дятся ведущие часы (T_{M1}). Затем ведущее устройство осуществляет передачу зафиксированного момента времени передачи сообщения Sync ведомым устройствам (сообщение FollowUp). Те также, как можно точнее измерив момент времени приема первого сообщения (T_{S1}), вычисляют величину, на которую необходимо выполнить коррекцию разницы в показаниях времени между собой и ведущим устройством соответственно (Θ) (см. рис. 1 и рис. 2). Затем непосредственно осуществляется коррекция показаний часов в составе ведомых устройств на величину смещения. Если задержки в передаче сообщений по сети не было, то можно утверждать, что устройства синхронизированы по времени.

На втором этапе процедуры синхронизации устройств по времени осуществляется определение задержки передачи упомянутых выше сообщений по сети между устройствами. Указанное выполняется при использовании сообщений специального типа. Ведомое устройство отправляет так называемое сообщение Delay Request (Запрос задержки передачи сообщения по сети) ведущему устройству и осуществляет фиксацию момента передачи данного сообщения. Ведущее устройство фиксирует момент приема данного сообщения и отправляет зафиксированное значение в сообщении Delay Response (Ответное сообщение с указанием момента приема сообщения). Исходя из зафиксированных времен передачи сообщения Delay Request ведомым устройством и приема сообщения Delay Response ведущим устройством производится оценка задержки в передаче сообщения между ними по сети. Затем соответствующая коррекция показаний часов в ведомом устройстве. Однако все упомянутое выше справедливо, если характерна симметричная задержка в передаче сообщения в обоих направлениях между устройствами (то есть характерны одинаковые значения задержки передачи сообщений в обоих направлениях).

Задержка в передаче сообщения в обоих направлениях будет идентичной в том случае, если устройства соединены между собой по одной линии связи, и только. Если в сети между устройствами имеются коммутаторы или маршрутизаторы, то симметричной задержка передачи сообщения между устройствами не будет, поскольку коммутаторы в сети осуществляют сохранение тех пакетов данных, которые проходят через них, и реализуется определенная очередность их передачи. Эта особенность

может в некоторых случаях, значительным образом влиять на величину задержки передачи сообщений (возможны значительные отличия во временах передачи данных). При низкой информационной нагрузке сети этот эффект оказывает малое влияние, однако при высокой информационной нагрузке указанное может значительным образом повлиять на точность синхронизации времени. Для исключения больших погрешностей был предложен специальный метод и введено понятие граничных часов, которые реализуются в составе коммутаторов сети. Данные граничные часы синхронизируются по времени с часами ведущего устройства. Далее коммутатор по каждому порту является ведущим устройством для всех остальных устройств, подключенных к нему, в которых осуществляется соответствующая синхронизация внутренних часов. Таким образом, синхронизация всегда осуществляется по схеме точка-точка и характерна практически одинаковой задержкой в передаче сообщения в прямом и обратном направлении, а также практическая неизменность этой задержки по величине от одной передачи сообщения к другой.

Хотя принцип, основанный на использовании граничных часов, доказал свою практическую эффективность, другой механизм был определен во второй версии протокола РТРv2 – механизм использования т. н. прозрачных часов. Данный механизм предотвращает накопление погрешности, обусловленной изменением величины задержек в передаче сообщений синхронизации коммутаторами и снижение точности синхронизации в случае конфигурации сети с большим числом каскадно-соединенных коммутаторов. При использовании такого механизма передача сообщений синхронизации осуществляется от ведущего устройства ведомому, как и передача любого другого сообщения в сети. Однако

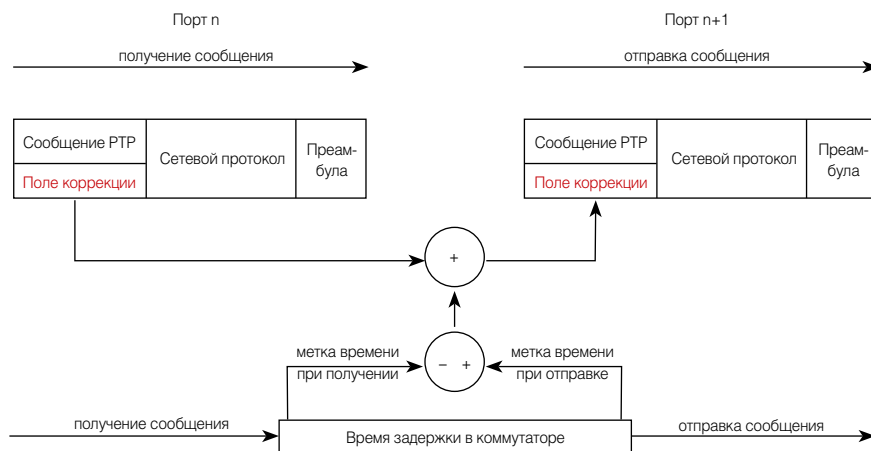


Рис. 3. Вычисление времени задержки сообщений в коммутаторах

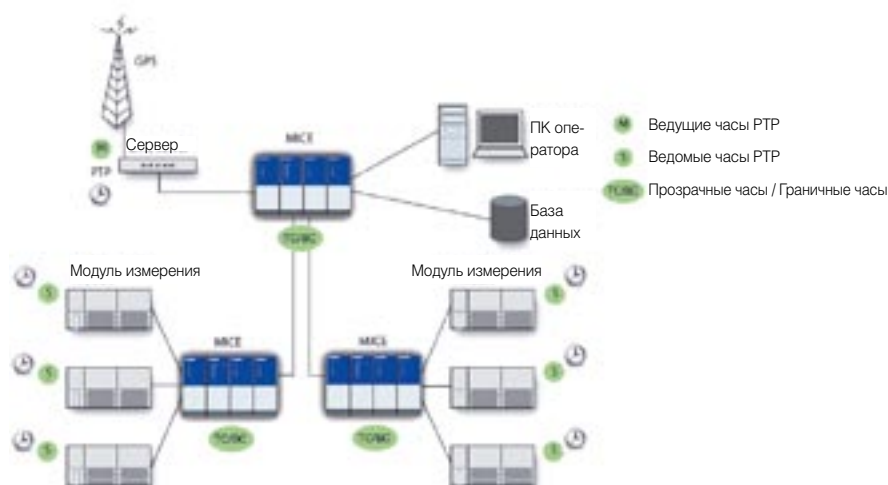


Рис. 4. Пример применения протокола РТР

когда сообщение синхронизации проходит через коммутатор, фиксируется задержка его передачи коммутатором. Задержка фиксируется в специальном поле коррекции в составе первого сообщения синхро-

низации Sync или в составе последующего сообщения FollowUp (см. рис. 2). При передаче сообщений Delay Request и Delay Response также осуществляется фиксация времени задержки их в коммутаторе.

MACH1000 & RSR
Ruggedized switch family

HIRSCHMANN
A Belden Company

www.hirschmann.ru
sale@hirschmann.ru

[495] 937-5220

Коммутаторы для электроподстанций
IEC 61850-3 (МЭК 61850-3)
Поддержка GOOSE



ЗАО "В-ЛОКСТ" – официальный дистрибьютер компаний Hirschmann и Belden в России
Техническая поддержка, проектирование и обучение специалистов

+85°C

-40°C

ПРАКТИКА

синхронизация ■ IEEE 1588 ■ RTP

Таким образом, реализация поддержки т. н. прозрачных часов в составе коммутаторов позволяет компенсировать задержки, возникающие непосредственно в них.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА RTP

Если необходимо использование протокола RTP в системе, должен быть реализован стек протокола RTP. Это может быть сделано при предъявлении минимальных требований к производительности процессоров устройств и к пропускной способности сети. Это очень важно для реализации стека протокола в простых и дешевых устройствах. Протокол RTP может быть без труда реализован даже в системах, построенных на дешевых контроллерах (32 бита).

Единственное требование, которому необходимо удовлетворить для обеспечения высокой точности синхронизации, – как можно более точное измерение устройствами момента времени, в который осуществляется передача сообщения, и момента времени, когда осуществляется прием сообщения. Измерение должно производиться максимально близко к аппаратной части (например, непосредственно в драйвере) и с максималь-

но возможной точностью. В реализации исключительно на программном уровне архитектура и производительность системы непосредственно ограничивают максимально допустимую точность.

При использовании дополнительной поддержки аппаратного обеспечения для присвоения меток времени, точность может быть значительным образом повышена и может быть обеспечена ее виртуальная независимость от программного обеспечения. Для этого необходимо использование дополнительной логики, которая может быть реализована в программируемой логической интегральной схеме или специализированной для решения конкретной задачи интегральной схеме на сетевом входе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Компания Hirschmann – один из первых производителей, реализовавших протокол RTP и оптимизировавших его использование. Компанией был разработан стек, максимально эффективно реализующий протокол, а также чип (программируемая интегральная логическая схема), который обеспечивает высокую точность проводимых замеров.

В системе, в которой несколько обычных часов объединены через Ethernet-коммутатор с поддержкой функции граничных часов, была зафиксирована предельная погрешность ± 60 нс при практически полной независимости от загрузки сети и загрузки процессора. Также компанией была протестирована система, состоящая из 30 каскадно-соединенных коммутаторов, обладающих поддержкой функции прозрачных часов и были зафиксированы погрешности в пределах ± 200 нс.

Компания Hirschmann Automation and Control реализовала протоколы RTP версии 1 и версии 2 в промышленных коммутаторах серии MICE, а также в серии монтируемых на стойку коммутаторов MACH100.

ВЫВОДЫ

Протокол RTP во многих областях уже доказал эффективность своего применения. Можно быть уверенным, что он получит более широкое распространение в течение следующих лет и что многие решения при его использовании смогут быть реализованы более просто и эффективно, чем при использовании других технологий. 

 **ЭнергопромАвтоматизация**
www.epsa-spb.ru

Головной офис:
192171, г. Санкт-Петербург
ул. Седова д. 70/2
тел.: (812) 297 19 90
факс: (812) 297 80 21

Представительство компании:
117105, г. Москва
Варшавское шоссе д. 13
тел./факс: (495) 954 64 70

e-mail: info@epsa-spb.ru

Мы предлагаем:

- Разработку и внедрение информационно-измерительных систем энергетических и промышленных объектов «под ключ», в том числе: АСУ ТП, системы ТМ, ССПИ, СОТИ, СМид ТО, АИИСКУЭ и т.д.;
- Проектирование энергообъектов;
- Ведение генерального подряда на информационно-измерительные системы энергетических и промышленных объектов.