

ПОДДЕРЖКА ЯДРОМ LINUX АППАРАТНЫХ ОТМЕТОК ТОЧНОГО ВРЕМЕНИ PTP

ВИКТОР АРТЮНОВ

Рассматриваемые в статье средства позволяют использовать стандартизированные прикладные программные интерфейсы (API) при создании приложений пользователя и драйверов для Linux. В результате отпадает необходимость в разработке собственных API-интерфейсов, повышается доступность драйверов устройств, и упрощается системная интеграция.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Стандарт IEEE 1588 определяет протокол точного времени PTP, обеспечивающий точную синхронизацию по сетям с коммутацией пакетов (packet switched networks, PSN). Аппаратные отметки времени сообщений о событиях PTP обеспечивают наносекундную точность синхронизации подчиненных часов PTP.

Типичная структура ведомых часов PTP с аппаратной отметкой точного времени содержит следующие четыре компонента.

1. Программное обеспечение для приложений пользователя, реализующее стек протоколов IEEE 1588 и сервоконтроллер часов PTP.
2. Аппаратный блок отметок времени (TSU), интегрированный с канальным (MAC) или физическим (PHY) уровнем.
3. Аппаратные часы PTP (PTP Hardware Clock), которые обеспечивают привязку аппаратных блоков отметок времени и управляются сервоприводом часов PTP.
4. Ядро Linux.

Ядро Linux имеет встроенную поддержку аппаратных отметок времени сообщений о событиях PTP. Она состоит из инфраструктуры PHS и опции сокета SO_TIMESTAMPING. Эти средства позволяют использовать стандартизованные API-интерфейсы в приложениях пользователя для функций PHS и TSU, а также стандартизованные интерфейсы для драйверов устройств PHS и TSU. Конечным результатом является повышение доступности драйверов устройств и упрощение системной интеграции,

что приводит к снижению затрат на разработку и сокращению времени выхода на рынок. Обязательным условием является поддержка инфраструктуры PHS драйверами устройств PHS и опции сокета SO_TIMESTAMPING драйверами аппаратного блока отметок времени.

Компания Renesas предоставляет подсистему PHS ядра Linux для семейства многоканальных устройств синхронизации ClockMatrix. Любой программный пакет IEEE 1588, использующий API PHS Linux, может осуществлять управление устройствами ClockMatrix с помощью этого интерфейса. В качестве примера можно привести Linux PTP от Network Time Foundation. Драйвер ядра ClockMatrix Linux предлагается как часть основного пакета Linux.

ПО Renesas PTP Clock Manager включает в себя сервопривод часов PTP с фильтром изменения задержки пакетов (PDV) и другие функции, обеспечивающие соответствие глобальным рекомендациям ITU-T по синхронизации для телекоммуникационных приложений. Диспетчер часов PTP может использоваться с любым стеком протоколов IEEE 1588 (например, Linux PTP) и совместим с API PHS Linux. Менеджер часов PTP предлагается по лицензии Renesas.

Определим основополагающие понятия, используемые в этой статье.

- Под часами в стандарте IEEE 1588 понимается устройство, которое обеспечивает измерение хода времени, начиная с определенной эпохи.

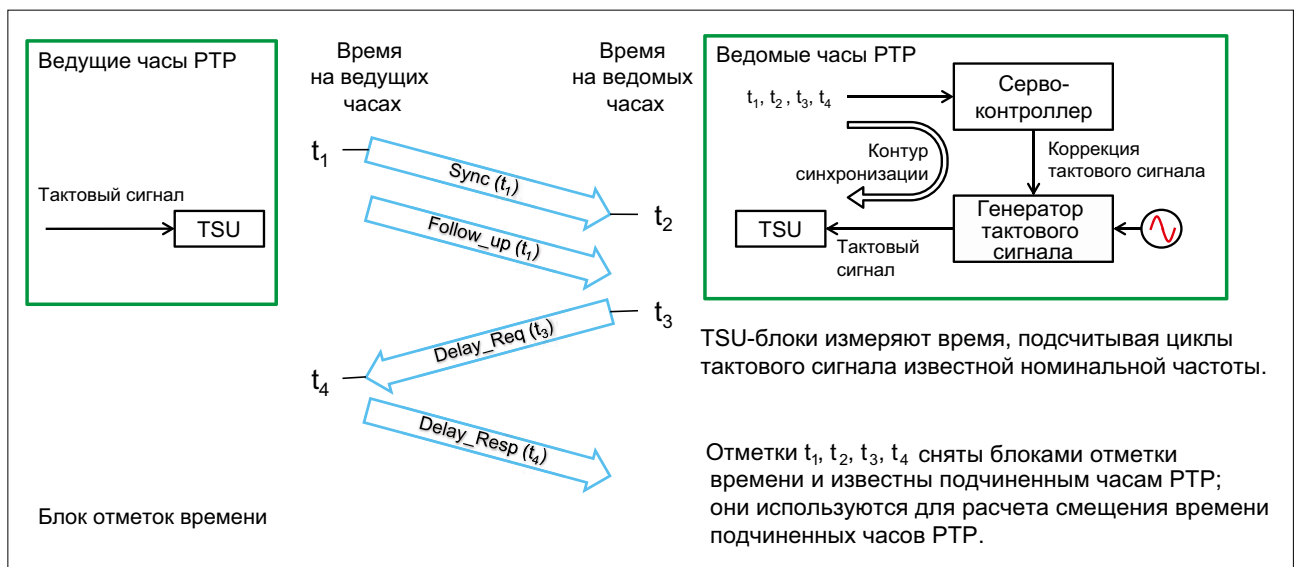


Рис. 1. Базовый обмен сообщениями о событиях в протоколе PTP

- Тактовый сигнал IEEE 1588 – физический сигнал, имеющий периодические события. Эти события отмечают значимые моменты времени, в которые счетчик времени увеличивается. Тактовый сигнал характеризуется частотой и фазой.
- Протокол точного времени PTP IEEE 1588 обеспечивает точную синхронизацию по сетям с коммутацией пакетов (packet switched networks, PSN). Он имеет широкий ряд применений, включая телекоммуникационные, промышленные, корпоративные системы и т.д. PTP применяется для синхронизации подчиненных часов PTP с точностью до наносекунды.

БАЗОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ ДЛЯ ВЕДОМЫХ ЧАСОВ PTP

На рисунке 1 показан базовый обмен сообщениями о событиях PTP между ведущим и ведомым устройством PTP. Кроме того, показаны ведомые часы PTP, реализованные в виде замкнутого контура с тактовым сервоконтроллером. В идеальных условиях он может рассчитать смещение своего локального блока отметок времени по сравнению с блоком отметок времени ведущего устройства в соответствии с уравнением (1):

$$\Delta = \frac{(t_2 - t_1) - (t_4 - t_3)}{2} \cdot (1)$$

Это смещение компенсируется цифровым способом сервоконтроллером, после чего частота ведомого тактового сигнала периодически корректируется, чтобы смещение по времени оставалось вблизи нуля. Таким образом, подчиненные часы PTP синхронизируются с главными часами PTP и привязываются к ним.

АППАРАТНЫЕ ВРЕМЕННЫЕ МЕТКИ СООБЩЕНИЙ О СОБЫТИЯХ PTP

Аппаратная временная метка сообщений о событиях PTP обеспечивает наносекундную точность синхронизации ведомых часов PTP. Блок временных отметок TSU должен находиться в сигнальном тракте как можно ближе к физическому уровню. Аппаратные TSU-блоки обычно реализуются в устройствах сетевого интерфейса, например MAC или PHY. По сравнению с программными метками времени аппаратные метки уменьшают неопределенность во времени прибытия и отправления сообщений о событиях PTP с миллисекунд до наносекунд. Таким образом, аппаратная метка времени повышает точность ведомых часов PTP.

Аппаратные TSU-блоки включают в себя накопитель времени суток (TOD), который измеряет течение времени путем подсчета циклов опорного тактового сигнала от аппаратных часов PTP (PHC). Опорные часы PHC управляются сервоприводом часов PTP, который отсылает исправления (тактовые операции) в PHC. Стек протоколов IEEE 1588 получает информацию о метке времени PTP от аппаратного блока и предоставляет ее сервоконтроллеру часов (см. рис. 2).

Логические функции PHC и TSU реализуются как в одном кремниевом устройстве, так и в нескольких. К преимуществам синхронизации на отдельных устройствах относится регулировка расхождения часов с субнаносекундным разрешением, измерение задержек часов, генерация часов с низким уровнем фазового шума, генерация часов с диапазоном частот, генерация синхронных часов Ethernet, совместимых с ITU-T, и управление резервными источниками тактовых импульсов. Преимущества обусловлены тем, что имеется центральный ресурс генерации и управления тактовыми сигналами, которые используются совместно TSU-блоками в нескольких устройствах. По этой причине функция PHC часто реализуется в специальном устройстве синхронизации. На рисунке 2 показаны функции TSU и PHC, реализованные в отдельных устройствах.

Одной из частых проблем является обеспечение драйверов для PHC и аппаратных TSU, а также их поддержка. Производители кремниевых устройств не создают драйверы с набором стеков протоколов PTP и пакетов ПО для серверов времени, предлагаемых в отрасли. Предоставляется пример кода драйвера, а разработка драйверов возлагается на системного интегратора.

Ядро Linux обеспечивает встроенную поддержку аппаратных отметок времени сообщений о событиях PTP. Поддержка состоит из инфраструктуры PHC и опции сокета SO_TIMESTAMPING (см. рис. 2). Эти средства предоставляют стандартизованные API-интерфейсы для функций PHC и TSU пользовательских устройств, а также стандартизованные интерфейсы для драйверов устройств PHC и TSU. Благодаря им при создании пользовательских приложений разработчикам не требуется информация об устройствах PHC или TSU, которые будут применяться в конечной системе. Аналогично, производители кремниевых устройств создают и отлаживают драйверы устройств ядра Linux с помощью стандартных API-интерфейсов. Конечным результатом является повышение доступности драйверов устройств и упрощение системной интеграции, что сокращает расходы и время выхода продукции на рынок.

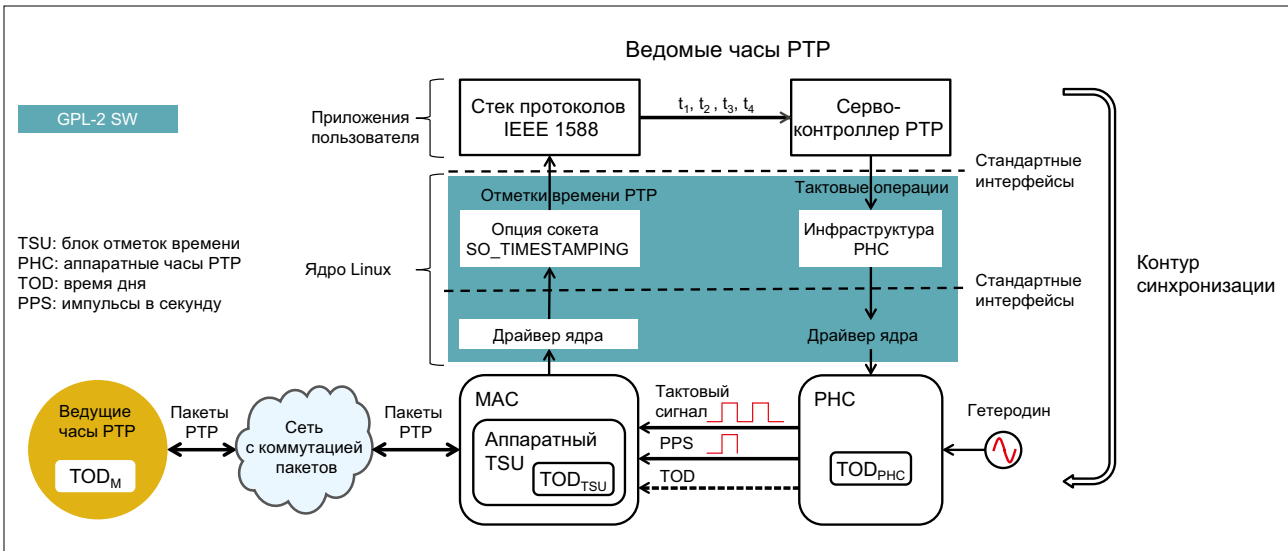


Рис. 2. Типичная реализация подчиненных часов PTP с использованием аппаратной метки времени

Поддержка ядра Linux для PTP обеспечивает прямую совместимость с новыми релизами ядра. Разработчики ядра Linux стремятся поддержать стабильные API-интерфейсы для пользовательских приложений, а поддержка драйверов устройств ядра, которые являются частью основной версии Linux, сохраняется от релиза к релизу. Кроме того, сообщество Linux и производители кремниевых устройств модернизируют драйверы.

Для реализации преимуществ поддержки PTP в Linux драйверы устройств PHS должны поддерживать инфраструктуру PHS, а драйверы TSU – опцию сокета SO_TIMESTAMPING. Ниже мы покажем, почему драйверу TSU также необходимо поддерживать инфраструктуру PHS для своего аккумулятора TOD.

Опция сокета SO_TIMESTAMPING и инфраструктура PHS имеются в наличии, начиная с Linux 3.0.

СИНХРОНИЗАЦИЯ TSU С ОТДЕЛЬНЫМ PHS

Если PHS и TSU реализуются по отдельности, системный интегратор должен синхронизировать TOD_{TSU} с TOD_{PHS} . Это достигается путем синхронизации TOD_{TSU} с теми же часами PHS и тем же сигналом PPS (PPS – импульсы в секунду), что и время TOD_{PHS} . При запуске системы появится статическое смещение между TOD_{TSU} и TOD_{PHS} . Для его устранения предлагается приложение с открытым исходным кодом ts2phc. Утилита ts2phc управляет TOD_{TSU} как PHS; обязательным условием является то, что драйвер TSU должен поддерживать инфраструктуру PHS. Любая коррекция частоты, внесенная в PHS после выравнивания двух TOD, отслеживается TSU-блоком.

РЕШЕНИЯ RENESAS ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ PTP

К семейству ClockMatrix от Renesas относится несколько продуктов, предназначенных для использования в качестве PHS (например, 8A34001/2/3/4/5 предназначены для телекоммуникационных приложений PHS). Компания Renesas создала драйвер ядра Linux для семейства ClockMatrix, который поддерживает инфраструктуру PHS Linux. Драйвер ClockMatrix предлагается как часть основной линейки Linux. Он совместим с версиями ядра Linux 3.0 и выше. В него включены стек протоколов IEEE 1588–2019 и утилиты сервоконтроллера PTP и ts2phc. Linux PTP является программным пакетом с открытым исходным кодом (GPL-2), доступным в Network Time Foundation (см. рис. 3).

При использовании с устройством ClockMatrix Linux PTP вместо программного фильтра нижних частот (ФНЧ) своего сервоконтроллера PTP использует режим фазы записи и аппаратный ФНЧ, реализованный устройствами ClockMatrix. Эта реализация сервоконтроллера подходит для приложений, в которых не приходится работать с большими вариациями задержки пакетов (PDV).

Конструкция, показанная на рисунке 3, подходит для многих приложений PTP. Однако для приложений, требующих работу с сильно изменяющейся задержкой пакета, необходим более сложный механизм синхронизации PTP. Он реализован в пакете Renesas PTP Clock Manager, который предлагается по лицензии и подходит для любых устройств синхронизации Renesas. Диспетчер часов PTP включает в себя сервоконтрол-

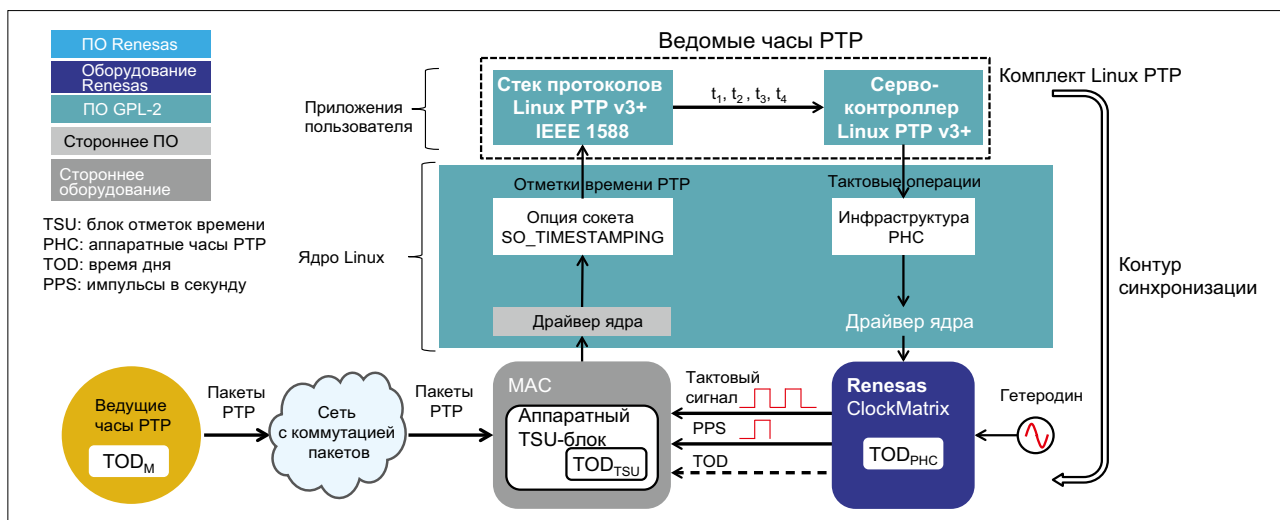


Рис. 3. Реализация ведомых часов Renesas PTP с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом

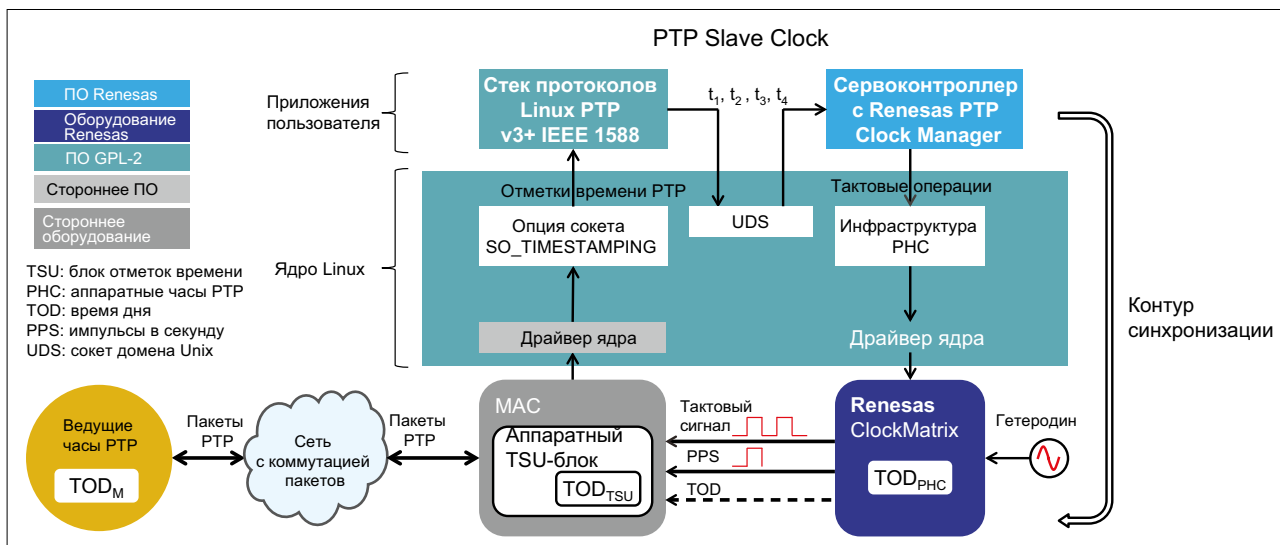


Рис. 4. Реализация подчиненных часов Renesas PTP на основе программного обеспечения Renesas PTP Clock Manager

лер часов PTP с фильтром вариаций задержки пакета и другие функциональные возможности, соответствующие глобальным рекомендациям по синхронизации ITU-T для телекоммуникационных приложений. Диспетчер часов PTP совместим с версиями Linux PTP 3.0 и выше, в частности со стеком протоколов IEEE 1588-2019.

Менеджер часов Renesas PTP синхронизирует TOD_{TSU} с TOD_{PHC} , используя собственную альтернативу утилиты ts2phc. При синхронизации TOD_{TSU} с TOD_{PHC} диспетчер часов PTP управляет TOD_{TSU} как PHC. Обязательным условием является поддержка драйвером TSU инфраструктуры PHC.

На рисунке 4 показана конструкция ведомых часов PTP, в которой используется программное обеспечение Renesas PTP Clock Manager. Часы этой структуры подходят для приложений, в которых необходимо управлять высоким уровнем вариации задержки пакета, а также для приложений, которые должны соответствовать глобальной рекомендации ITU-T по синхронизации для телекоммуникационных приложений.

ВЫВОДЫ

Аппаратная временная метка сообщений о событиях PTP обеспечивает наносекундную точность синхронизации для ведомых часов PTP. Аппаратная временная метка реализована с помощью аппаратных блоков отметок времени. Они синхронизируются по тактовым сигналам, генерируемым PHC. Аппаратные блоки временной отметки часто интегрируются с физическим или канальным уровнем PHY и MAC.


Логические функции PHC и TSU можно реализовать в одном кремниевом устройстве или в отдельных устройствах. Отдельное устройство синхронизации имеет преимущества в качестве центрального ресурса для генерации и управления тактовыми сигналами, которые совместно используются

блоками отметки времени в нескольких устройствах. По этой причине функция PHC часто реализуется в специальном устройстве синхронизации.

Ядро Linux реализует встроенную поддержку аппаратной отметки времени сообщений о событиях PTP. Поддержка состоит из инфраструктуры PHC и опции сокета SO_TIMESTAMPING. Эти средства ядра предоставляют стандартизованные API пользовательского пространства для функций PHC и TSU, а также стандартизованные интерфейсы для драйверов устройств PHC и TSU. Конечным результатом для системных интеграторов является повышение доступности драйверов устройств и упрощение системной интеграции, что позволяет сократить затраты на разработку и время выхода на рынок.

Как уже упоминалось, драйверы устройств PHC должны поддерживать инфраструктуру PHC, а драйверы TSU – опцию сокета SO_TIMESTAMPING. Кроме того, драйвер TSU должен поддерживать инфраструктуру PHC для своего аккумулятора TOD.

ПО Renesas PTP Clock Manager реализует сервоконтроллер часов PTP с фильтром PDV и другими функциональными возможностями, которые соответствуют глобальным рекомендациям по синхронизации ITU-T для телекоммуникационных приложений. Диспетчер часов PTP совместим с инфраструктурой PHC Linux.

Стандартизованная инфраструктура PHC и API-интерфейсы опции сокета SO_TIMESTAMPING обеспечивают модульность функций PTP. Например, диспетчер часов Renesas PTP можно заменить сервоконтроллером Linux PTP для приложений, требующих фильтрации различий задержки пакетов. Аналогично, аппаратный ФНЧ в устройствах ClockMatrix можно заменить программным ФНЧ сервоконтроллера Linux PTP. 

RA2A1 – Arm®Cortex®-M23 микроконтроллеры 48 МГц с 24-битным сигма-дельта АЦП

Одной из основных особенностей RA2A1 является высокопроизводительное ядро, 16-разрядный SAR АЦП, 24-разрядный сигма-дельта АЦП, компараторы, операционные усилители и ЦАП для преобразования и измерения сигналов. Микроконтроллер поддерживает широкий диапазон рабочего напряжения от 1.6 В до 5.5 В.

Области применения: промышленная автоматизация/ автоматизация зданий/ бытовая техника/ здравоохранение.

Отладочный комплект EK-RA2A1

P/N: RTK7EKA2A1S000018U

- Встроенный отладчик
- Дизайн-пакет EK-RA2A1

- Arm®Cortex®-M23, 48МГц.
- 256 КБ памяти и 32 КБ SRAM.
- 8 КБ Data Flash для хранения данных (EEPROM).
- Масштабируемость от 32-выводного до 64-выводного корпусов.
- Емкостный сенсорный блок.
- 16-битный АЦП SAR, 24-битный АЦП SD ($\Sigma\Delta$).
- 12-битный D/A, 8-битный D/A.
- OPAMP (3 канала), компараторы ACMP-HS/LP.
- SCI (UART, SPI, I²C).
- USB 2.0.
- CAN 2.0.



RENESAS

 Сканту

Официальный дистрибьютор: www.scanti.ru
Заказ тестовых образцов/отладочных плат: renesas@scanti.ru