

# МЕХАНИЗМ СИНХРОНИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ PLC/RF-МОДЕМОВ

**КИРИЛЛ КАРЕЕВ**, инженер-программист, отдел разработки программного обеспечения ЦП РЭА, АО «ПКК Миландр», [kareev.k@milandr.ru](mailto:kareev.k@milandr.ru)

*Во время работы системы АСКУЭ возникает потребность в синхронизации времени на устройствах – поставщиках данных (т.е. счетчиках) со временем на устройстве сбора и передачи данных (УСПД). Так, точная синхронизация времени на всех счетчиках электроэнергии в доме позволит строить профили потребления электроэнергии; синхронизация времени счетчиков импульсов со временем УСПД уменьшает их простой в режиме приема и, следовательно, увеличивает их время работы.*

## ОСОБЕННОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ

Связь в системе АСКУЭ имеет следующие особенности.

- Большие масштабы сети, а также особенности протоколов связи не позволяют получать какие-либо гарантии относительно времени доставки данных из одной точки дома в другую. Данные при передаче легко портятся и теряются, в результате чего прямой маршрут между модемами становится асимметричным с постоянно изменяющейся задержкой передачи.
- Связь между модемами осуществляется по принципу ячеистой сети, в результате чего сложно предсказать количество модемов, через которые пройдет пакет данных на пути от УСПД к счетчику. С учетом ощутимой вероятности ошибки (потери пакета) это делает маршрут между УСПД и счетчиком еще более асимметричным.
- Малая скорость наряду с большим объемом данных, передаваемых счетчиком УСПД, не позволяет обслуживающим протоколам использовать большую часть пропускной способности канала связи.
- Большинство устройств в системе не имеет какого-либо значимого функционала синхронизации времени кроме возможности установки времени через модем, что требует оснащения модема алгоритмом синхронизации.

Таким образом, большая асимметричность маршрутов сети, заметная вероятность потери пакетов и требования

к совместимости с устройствами сбора информации (счетчиками) делает разработку метода синхронизации интересной задачей.

## МЕХАНИЗМ СИНХРОНИЗАЦИИ

За основу был взят протокол точного времени (стандарт IEEE 1588–2008). В системе с синхронизацией времени существует понятие *часов* – некоторых устройств, выполняющих функцию отсчета времени. Соответственно, часы могут быть ведущими (с которыми синхронизируется некоторое подмножество

часов из всей системы) и ведомыми (которые синхронизируют свое время с одними или несколькими ведущими часами).

Механизм синхронизации подразумевает разделение протокола на три части.

- Поставщик времени (Clock master, CM) – часть протокола, которая генерирует сообщения синхронизации. При этом в качестве источника времени для генерации таких сообщений могут выступать и собственные часы, и сообщения синхронизации от друго-

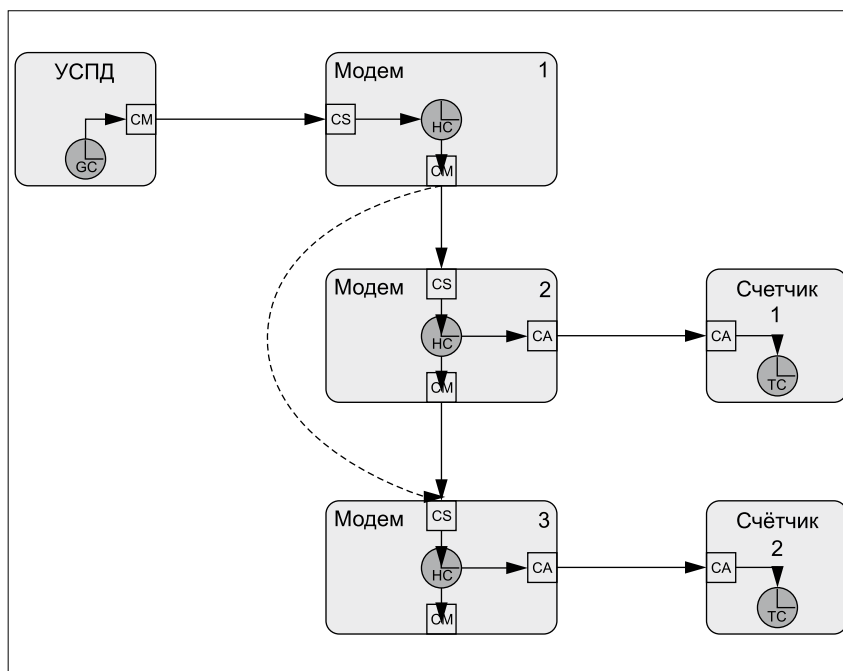


Рис. 1. Схема системы синхронизации времени

го поставщика (в этом случае собственные часы не требуются). Заметим, что сообщения синхронизации распространяются по сети по принципу *групповой передачи*, т.е. всем устройствам в пределах сегмента сети.

- Потребитель времени (Clock slave, CS) – часть протокола, которая собирает сообщения синхронизации из своего сегмента сети (от одного или нескольких поставщиков), выбирает среди них наилучшие (по точности и стабильности времени соответствующего поставщика) и выполняет по ним синхронизацию собственных часов либо передает их другому устройству/сегменту сети.
- Адаптер времени (Clock adapter, CA) – особая часть протокола для счетчиков. Она поставляет время счетчику в понятном ему формате (в виде команд установки времени).

В нашей системе все устройства-участники протокола имеют часы одного из следующих типов.

- Главные часы (Grandmaster clock, GC), с которыми синхронизируется весь сегмент системы. Такие часы, в частности, предоставляет УСПД.
- Целевые часы (Target clock, TC), которые необходимо синхронизовать с главными. В рассматриваемой системе они являются источником времени в измерительных устройствах (счетчиках).
- Гибридные часы (Hybrid clock, HC) – часы на промежуточных устройствах, которые, с одной стороны, синхронизируются с другими часами GC и HC, а с другой – выступают в качестве источника времени для других HC и TC. Часы такого типа предоставляются модемами.

Примерная схема распространения времени в системе представлена на рисунке 1.

На этой схеме имеется УСПД, предоставляющий опорное время своих системных часов модему 1. Этот модем синхронизирует свои часы с часами УСПД и генерирует сообщения синхронизации для модемов 2 и 3. Модем 2 выбирает в качестве источника времени модем 1, т.к. он имеет наиболее близкое к опорному времени (ближе всех к УСПД), синхронизирует свои часы с ним, генерирует сообщения синхронизации для модема 3 (модем 1 не синхронизирует время по внешней опоре) и поставляет время на подключенный к нему счетчик 1 в виде команд установки времени. Модем 3 выбирает сообщения от модема 2 в качестве источника, т.к. связь с ним устойчивее, чем с модемом 1 (он находится ближе), генерирует сообщения синхронизации и поставляет время на счетчик 2.

### ПРОТОКОЛ СИНХРОНИЗАЦИИ

Синхронизация времени в системе осуществляется путем обмена сообщениями (пакетами) с помощью гетерогенных модемов. Протокол синхронизации использует следующие пакеты.

- Sync – начало синхронизации. Отправляется поставщиком времени потребителю. Не содержит информации о времени. После отправки поставщик времени сохраняет отметку времени окончания передачи пакета ( $T_1$ ). По приему пакета потребитель также сохраняет время приема пакета ( $T_1'$ ).
- Follow-Up – продолжение синхронизации. Отправляется поставщиком времени потребителю. Содержит отметку времени окончания передачи пакета Sync ( $T_1$ ).
- Delay-Request – запрос на выполнение процедуры измерения задержки. Отправляется поставщику времени потребителем. Не содержит информации о времени. После передачи пакета потребитель сохраняет отметку времени передачи пакета ( $T_2$ ). После приема этого пакета поставщик сохраняет отметку времени приема ( $T_2'$ ).
- Delay-Response – ответ процедуры измерения задержки. Отправляется поставщиком времени потребителю.

Содержит отметку времени приема пакета Delay-Request ( $T_2'$ ).

Пакеты Sync/Follow-Up отправляются часто (раз в 30–60 с) с помощью групповой передачи. Обмен пакетами Delay-Request/Delay-Response происходит реже (раз в 120–300 с) с использованием одноадресной передачи. Примерная схема обмена пакетами представлена на рисунках 2–3.

Коррекция времени происходит следующим образом:

- поставщик помещает в очередь передачи пакет Sync (адрес назначения – группа передачи для сервиса точного времени);
- пакет Sync передается, поставщик запоминает  $T_1$ ;
- потребитель принимает пакет Sync и запоминает  $T_1'$ ;
- поставщик помещает в очередь передачи пакет Follow-Up с  $T_1$  в качестве полезной нагрузки (адрес назначения – группа передачи для сервиса точного времени);
- пакет Follow-Up передается;
- пакет Follow-Up принимается и помещается в очередь приема;
- обладая значениями  $T_1$  и  $T_1'$ , а также зная  $T_D$  с предыдущего раунда определения задержки ( $T_D = 0$ , если процедура выполнения задержки еще не выполнялась) потреби-

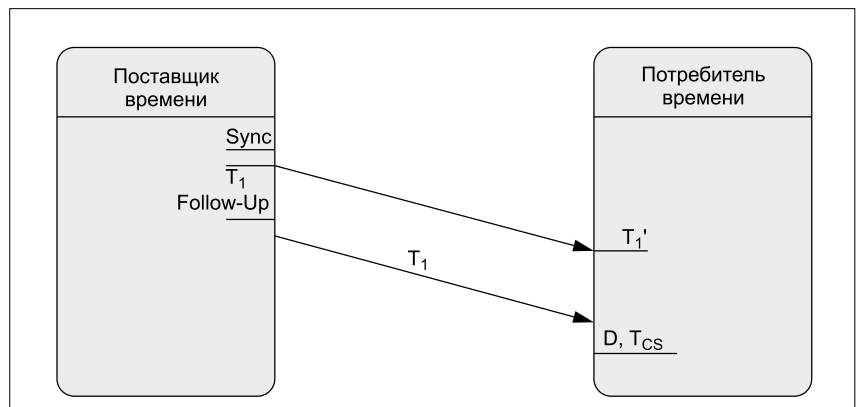


Рис. 2. Коррекция времени

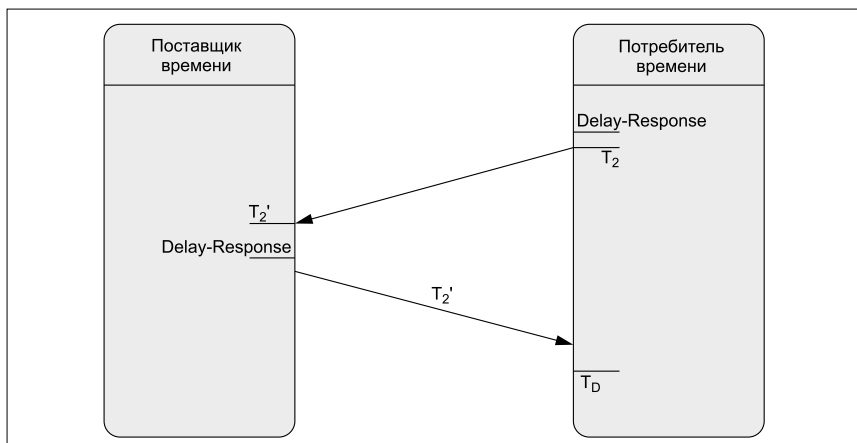


Рис. 3. Определение задержки

тель вычисляет отставание часов  $D = T_1' - T_1$  и устанавливает на часах новое время  $T_{CS}^n = T_{CS}^{n-1} - D$ .

Определение задержки выполняется следующим образом:

- потребитель помещает в очередь передачи пакет Delay-Request (адрес назначения – избранный поставщик времени);
- пакет Delay-Request передается, потребитель запоминает  $T_2$ ;
- поставщик времени принимает пакет Delay-Request и запоминает  $T_2'$ ;
- поставщик времени помещает в очередь передачи пакет Delay-Response с  $T_2'$  в качестве полезной нагрузки (адрес назначения – потребитель времени, от которого пришел Delay-Request);
- пакет Delay-Response передается;
- пакет Delay-Response принимается и помещается в очередь приема;
- с учетом значений  $T_2$  и  $T_2'$ , а также  $T_1$  и  $T_1'$ , полученных в предыдущей коррекции времени (которая проводится хотя бы один раз перед определением задержки), потребитель вычисляет задержку передачи  $T_D$ :

$$T_D = \frac{T_1' - T_1 + T_2' - T_2}{2}$$

Протокол синхронизации времени использует уровень адаптации IPv6 (6LoWPAN, ячеистая сеть), настроенный над G3-PLC и RF868 в пределах модема. УСПД общается с модемом посредством специального протокола, который позволяет использовать УСПД все преимущества IPv6. На УСПД (которое, напомним, работает под управлением ОС Debian) запущен сервис точного времени, являющийся поставщиком времени Главных часов. Этот сервис синхронизирует время гибридных часов (которые управляются сервисом синхронизации времени по адресу FE80::181) на своем модеме. В свою очередь, модем УСПД (а также остальные модемы в сети), выполняет процесс коррекции времени, рассылая пакеты Sync/Follow-Up на групповой адрес FF00::181 с настраиваемым периодом (по умолчанию – 30 с). Как только подключенный к счетчику модем определит, что его время синхронизовано (т.е. два смежных раунда коррекции времени дают отставание часов меньше 1 с, этот параметр тоже настраивается), он начинает отправлять на счетчик команды установки времени (тоже с настраиваемым периодом). Определение задержки выполняется с настраиваемым периодом (по умолчанию – 120 с). Процедура выбора

поставщика времени использует рассылаемые при подключении модемов к сети параметры качества часов (т.е. количества модемов-посредников, осуществляющих маршрутизацию пакетов между выбранным модемом и модемом на УСПД), обновляемые с определенным периодом (по умолчанию – 15 мин) параметры стабильности и разброса часов и таблицы соседей с уровня адаптации.

### Выводы

Таким образом, для решения задачи синхронизации времени в системе АСКУЭ был адаптирован протокол точного времени. Проблема асимметрии маршрутов, ненадежности связи на дальних дистанциях, а также проблема отсутствия требуемого функционала синхронизации на устройствах сбора информации (счетчиках) решается путем реализации механизма синхронизации и ведения времени непосредственно на устройствах связи (т.е. модемах). Собственно, протокол был выбран таким образом, чтобы минимизировать нагрузку на сеть. Кроме того, механизм синхронизации использует уже существующие возможности уровня адаптации IPv6 для обеспечения точности времени, достаточной для выполнения поставленных задач. —

**РОССИЙСКИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ, ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ**  
**РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО**



**МИЛАНДР**  
ГРУППА КОМПАНИЙ



**СЛОТС**

**Сложные организационно-технические системы**



Приборы и системы учета энергоресурсов



Прикладное и системное ПО



**РЭА**

**Радиоэлектронная аппаратура**



Аппаратура связи



Вычислительные кластеры



**ИС**

**Интегральные микросхемы**

**Производство интегральных микросхем и приборов**



**1000 м<sup>2</sup>** чистых производственных помещений



**573 единицы** высокопроизводительного технологического оборудования

**WWW.MILANDR.RU**

124498, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5