УДК 621.373-187.4; 621.39.072.9

Н.В. Федорова

*Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

# СЕТЬ СИНХРОНИЗАЦИИ И ПРОТОКОЛ ПРЕЦИЗИОННОГО ВРЕМЕНИ

*В статье рассмотрен протокол прецизионного времени (протокол PTP), используемый для реализации сети синхронизации, проведен анализ нормативной базы синхронизации сетей.*

***Ключевые слова:*** *временная синхронизация (или просто синхронизация), частотная синхронизация, протокол прецизионного времени, IP-сеть.*

## Введение

Внедрение подсети синхронизации на транспортную IP-сетьв настоящее время является практической необходимостью мобильной связи в Украине. За последние годы было реализовано несколько пилотных проектов на основе протоколов сличения времени NTP (*Network Time Protocol*) и PTP (*Precision Time Protocol или стандарт IEEE 1588v2*), а также технологии синхронного Ethernet (Sync-E).Каждый из указанных методов синхронизации имеет как преимущества, так и недостатки [1].Особенно актуальной проблемой является реализация сети синхронизации на базе протокола PTP, так как в ближайшем обозримом будущем востребовано создание полноценных сетей синхронизации для потребителей IP-сетей. Основным потребителем таких сетей являются базовые станции мобильной связи, функционирующие в транспортном окружении IP-сети.

## Основная часть

**Методы обеспечения синхронизации в транспортной IP-сети.** При выборе того или иного метода обеспечения синхронизации важно понимать их возможности и ограничения - функционирующий на физическом уровне механизм Sync-E не зависит от загрузки сети и позволяет передавать сигнал синхронизации через транзитные устройства, *но обеспечивает только частотную синхронизацию* [8]; работающий на уровне канала передачи данных протокол PTP обеспечивает как частотную, так и временную синхронизацию, *но стабильность распространяемого сигнала зависит от уровня загрузки сети, а также от расстояния между узлами сети и количества переприемов* [5-7]; работающий на прикладном уровне протокол NTP широко используется, как правило, для временной синхронизации в пакетных сетях. *Но в ряде решений различных производителей оборудования (например, базовые станции производства Ericsson), протокол NTP может быть использован также и для частотной синхронизации* [2-5].

Сличение клиента PTP с целью проверки возможности использования этого протокола для восстановления тактовой частоты на перевалочном участке транспортной IP-сети, когда речь идет о синхронизации базовой станции, дает лучшие результаты по сравнению с сервером NTP, причем с существенным технологическим запасом [5-7]. Протокол NTP может быть использован вместо PTP для синхронизации, например базовых станций мобильной связи, подключенных по IP-сети. На перевалочной транспортной сети у PTP технологический запас по показателям стабильности (как показывают измерения на сети АО "Киевстар") больше чем у NTP[5-7]. Это имеет важное значение для предоставлении некоторых услуг, таких как определение места положения абонента, что особенно актуально после ввода в действие Национальной версии 3.0 общеканальной сигнализации №7.

Таким образом, протокол PTP является на сегодняшний день наиболее оптимальным методом синхронизации в транспортной IP-сети [5-7]. Протокол PTP обеспечивает как частотную, так и временную синхронизацию при высоком качестве параметров стабильности..

**Стандартизация работ по синхронизации пакетных сетей.** На рисунке 1 показан план стандартизации работ по синхронизации IP-сетей.

| | | |
|---|---|---|
| Содержание документа | «Классическая» сеть сихронизации | Принципы синхронизации сетей с коммутацией пакетов |

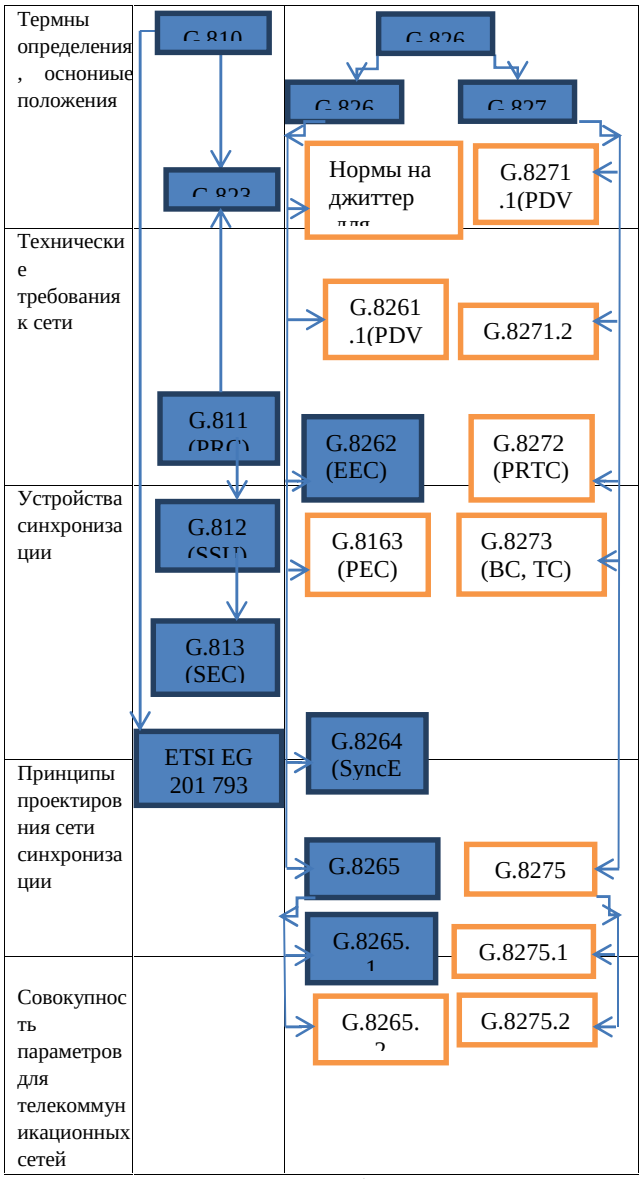


Рис. 1. План стандартизации работ по синхронизации IP-сетей

Этот план сопоставлен с пакетом Рекомендаций для «классической» сети синхронизации (PRC - первичный эталонный генератор, SSU – вторичный задающий генератор, SEC – генератор оборудования элемента сети SDH, EEC – сети Ethernet, PEC – сети с коммутацией пакетов, PRTC – первичный опорный генератор шкалы времени, PTP – протокол прецизионного времени, BC – граничные часы, TC - прозрачные часы, PDV – девиация задержки пакетов, SyncE– синхронный Ethernet).

Рисунок 1 представляет собой таблицу, в которой показаны уже опубликованные Рекомендации:G.8261, G8261.1, G.8261, G.8264, G.8265, G.8265.1, G.8271 (закрашенные клетки), а также пустые клетки - запланированные Рекомендации:G.8263, G.8265.2,G.8271.1, G.8271.2, G.8272, G.8273, G.8275, G.8275.1, G.8275.2.

Таким образом, не стандартизированными остаются условия эксплуатации ведомых устройств синхронизации BC и TC. Также не вполне оптимальны методы проведения измерений PDV, что, в свою очередь, вызывает определенный "хаос" в вычисления нормативных параметров стабильности на джиттер особенно на блуждание вазы (вандэр). В условиях не завершенного процесса стандартизации процессы планирования и эксплуатацииIP-сетей синхронизации в настоящее время значительно усложнены.

**Основные причины сложного становления синхронного Ethernet:**

1. Стабильность тактовой частоты не зависит от вариации задержки пакетов (PDV) в сети с коммутацией пакетов.

2. Все без исключения элементы сети должны обладать стандартными функциями синхронногоEthernet.

3. По своей природе синхронныйEthernet обеспечивает только синтонизацию.

4. Эксплуатационные расходы на обслуживание синхронного Ethernet выше, чем на распределенные PRCв виде приемниковGPS, или на обслуживание посети синтонизации поPTP стандарта IEEE 1588-2008.

5. Планирование сети синтонизации на основеEthernet значительно сложнее, чем сети синтонизации или подсети синтонизации по PTP стандарта IEEE 1588-2008.

6. Сеть синтонизации на основе синхронного Ethernet можно реализовать только в пределах доменаодного оператора, так как на границах между доменами разных операторов имеют место изменения формата сообщений.

Из шести перечисленных особенностей лишь (1) представляет собой безусловное преимущество, остальные можно классифицировать как недостатки в сравнении с другими способами.

В этих условиях в ITU-Твыбрали стратегию – оставить внедрение синхронного Ethernet на отдаленную перспективу, а на начальном этапе развертывания IP -сетей отдать предпочтение протоколу прецизионного времени поPTP стандарта IEEE 1588-2008.

**Реализация сети синхронизации на протоколе PTP.** Протокол прецизионного времени (PrecisionTime Protocol – PTP) разработан в виде стандарта IEEE 1588 для синхронизации роботов на автосборочных предприятиях в локальных сетях с коммутацией пакетов, но привлек внимание инженеров связи, столкнувшихся с проблемой распространения сигналов синхронизации в транспортной IP-сети [9]. С другой стороны, высокое качество сличения времени на основе PTP в

локальных сетях существенно ухудшается при попытках применения его, например, в городской сети общего пользования. Это послужило стимулом для разработки PTP в виде IEEE 1588 v.2, предназначенного специально для сетей электросвязи. В отличие от протокола NTP, по которому обмен пронумерованными метками времени происходит одновременно с многими серверами и, как правило, в режиме равноправного обмена (peer-to-peer), в протоколе PTP встречный метод сличения шкал времени существенно доработан, - предусмотрена жесткая иерархия первичных и ведомых часов [5-6;9]. Первая особенность PTP состоит в том, что для доставки ведомым часам четырех меток времени используют не два, а четыре сообщения – см. рисунок 2:

сообщение ***Sync*** (синхронизация) – многоадресная рассылка от гросмейстерских часов через каждые 2 с по умолчанию;

сообщение ***Follow Up*** (напоминание) – многоадресная рассылка метки времени $T_1$;

сообщение ***Delay Req*** (запрос задержки) – от ведомых часов гроссмейстерским;

сообщение ***Delay Resp*** (отклик задержки) – передача времени T4.

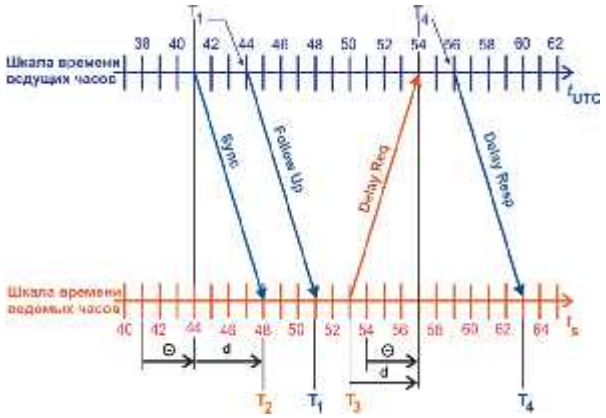


Рис. 2. Диаграмма использования сообщений в PTP протоколе

Как видно на рисунке 2, где для наглядности на шкале времени $t_{UTC}$ ведущих и на шкале времени $t_s$ ведомых часов отмечены секундные метки, в результате обработки этих четырех сообщений ведомые часы получают четыре метки времени:

$T_1$ – время отправки сообщения ***Sync*** от гроссмейстерских часов;

$T_2$ – время приема сообщения ***Sync*** ведомыми часами;

$T_3$ – время отправки сообщения ***DelayReq*** от ведомых часов;

$T_3$ – время приема сообщения ***DelayReq*** гроссмейстерскими часами.

Остается вычислить одностороннюю задержку передачи $d$ в предположении, что задержки в обоих направлениях обратимы:

$$d = \frac{(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)}{2}, \qquad (1)$$

и расхождение времени Θ:

$$\Theta = (T_2 - T_1) - d = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2}. \qquad (2)$$

Для примера, вне рисунка 1, где ведомые часы опережают ведущие на 4 секунды, односторонняя задержка составляет

$$d = \frac{(48-41)+(54-53)}{2} = \frac{7+1}{2} = 4 \text{ секунды},$$

а расхождение времени равно:

$$\Theta = (48 - 41) - 4 = 7 - 4 = 3 \text{ секунды}.$$

Вторая особенность PTP состоит в том, что обмен сообщениями ***Delay Resp***и ***Delay Req*** происходит нерегулярно – приблизительно один раз за 4 – 60 с, в то время как многоадресная рассылка пары сообщений ***Sync*** и ***Follow Up*** происходит периодически – по умолчанию каждые 2 с. Как показано на рисунке 3, ведущие часы передают их значительно чаще, чем обмениваются с ведомыми часами сообщениями ***Delay Resp***и ***Delay Req***. Из уравнения (2) следует, что большую часть времени ведомые часы получают регулярную поправку

$$(\Theta + d)_i = (T_{2i} - T_{1i}), \; i = 1,\ldots,30, \qquad (3)$$

где $i$– номер следующих друг за другом пар сообщений ***Sync*** и ***Follow Up***.

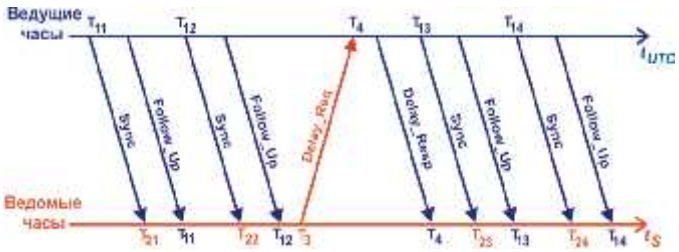


Рис. 3. Обмен сообщениями ***Delay Resp*** и ***Delay Req***, ***Sync*** и ***Follow Up*** в PTP-протоколе

## Выводы

1. Протокол PTP является на сегодняшний день наиболее оптимальным методом синхронизации втранспортной IP-сети. Протокол PTP обеспечивает как частотную, так и временную синхронизацию при высоком качестве параметров стабильности [10].

2. Основными особенностямиреализации сети синхронизации на протоколе PTP является то, что:

- для доставки ведомым часам четырех меток времени используют не два, а четыре сообщения (DelayResp,DelayReq,Sync, FollowUp);

- обмен сообщениями DelayResp и DelayReq происходит нерегулярно – приблизительно один раз за 4 – 60 с, в то время как многоадресная рассылка пары сообщений Sync и FollowUp происходит периодически – по умолчанию каждые 2 с.

Данный вывод говорит о том, что главное преимущество протокола PTP - обеспечение более стабильного сигнала и его надежная передача в IP-среде [10].

3. Стандартизация протокола PTP не завершена. Прежде всего это касается ведомых устройств синхронизации и оптимизация измеряемых параметров стабильности сигналов синхронизации в IP-сетях.

4. Особое внимание, в будущем,также должно быть уделено вопросам фазовой (временной) синхронизации, что значительно упростит планирование сети синхронизации IP-сетей.

## Список литературы

*1. Сличение времени в компьютерных сетях: протокол сетевоговремени на Земле и в космосе. / Миллс, Д. [пер. с англ. под ред. А.В. Савчука,] – К.:WIRCOM. – 2011. – 464 с.*

*2. А.В. Рыжков, А.В. Савчук. Способы синхронизации сетей электросвязи в условиях перезагрузки нормативной базы // Сети связи. – 2012. - №9. – С. 37 -41.*

*3. Синхронизация базовых станций при внедрении технологий IP-сетей / В. И. Вакась, И. П. Черняк // 21-я Междунар. Крым.конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2011): материалы конф. (Севастополь, 12 -16 сент. 2011 г.). – Севастополь: Вебер, 2011. - С.374 -375.*

*4. Синхронизация базовых станций мобильной связи в транспортном окружении сети IP/MPLS В. И. Вакась, И. П. Черняк // 20-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010): материалы конф. (Севастополь, 13 -17 сент. 2010 г.). – Севастополь: Вебер, 2010. - С.335 -336.*

*5. В. И. Вакась, Н. В. Федорова. Методыобеспечениясинхронизацией базовых станций от разныхиерархическихуровней сети с коммутациейпакетов // Вісник ДУІКТ. – 2012. – Т. 10, №4. – С.91-96.*

*6. Вакась В.И., Федорова Н.В. Практическая реализация синхронизации на сетях IP/MPLS. // Зв'язок. – 2013 р., №1 – С.23-27 .*

*7. Комбинирование методов обеспечения синхронизацией базовых станций от разных иерархических уровней сети с коммутацией пакетов / В. И. Вакась, Н.В. Федорова //22-я Междунар. Крым.конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2012): материалы конф. (Севастополь, 10 -14 сент. 2012 г.). – Севастополь: Вебер, 2012. - С.320 -321.*

*8. Федорова Н.В. СинхронныйEthernet, как среда передачи синхронизации в сетях с коммутацией пакетов. // Вісник ДУІКТ. – 2013 р. – №2. – С.45-49.*

*9. Савчук А.В., Шапошников В.Н., Черняк И.П.Синхронизация текущего времени: Протокол сетевого времени// Зв'язок №6. – 2007. - С. 10 – 15*

*10. Контроль и измерение параметров сигналов синхронизации в IP/MPLS-сети / В. И. Вакась, Н.В. Федорова //23-я Междунар. Крым.конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2013): материалы конф. (Севастополь, 09 -13 сент. 2013 г.). – Севастополь: Вебер, 2012. - С.273 -274.*

*Поступила в редколлегию 16.11.2014*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.О. Манько, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

**МЕРЕЖА СИНХРОНІЗАЦІЇТА ПРОТОКОЛ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЧАСУ**

Н.В. Федорова

*У статті розглянуто протокол прецизійного часу (протокол PTP), що використовується для реалізації мережі синхронізації, проведено аналіз нормативної бази синхронізації мереж.*

***Ключові слова:*** *синхронізація за часом (або просто синхронізація), частотна синхронізація, протокол прецизійного часу, IP-мережа.*

**NETWORK OF SYNCHRONIZATION AND PRECISION TIME PROTOCOL**

N.V. Fedorova

*The Precision Time Protocol (protocol of PTP), used for realization of network of synchronization, is considered in the article, the analysis of normative base of synchronization of networks is conducted.*

***Keywords:*** *temporal synchronization (or simply synchronization), frequency synchronization, Precision Time Protocol, IP-network.*