УДК 621.373-187.4; 621.39.072.9

В.И. Вакась[1], Н.В. Федорова[2]

[1]*АО «Киевстар», Киев*
[2]*Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ОПОРНЫХ СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ В IP-СЕТЯХ. РЕАЛИЗАЦИЯ ПО ПРОТОКОЛУ PTP

В статье рассмотрены вопросы организации сети синхронизации в транспортном окружении IP/MPLS, представлен анализ возможностей для протокола PTP, проанализированы параметры стабильности опорных сигналов синхронизации в IP-сетях и возможности их измерений.

Ключевые слова: *синхронизация, транспортное окружение IP/MPLS, протокол PTP, параметры стабильности сигналов синхронизации.*

Введение

Внедрение подсетей синхронизации на транспортной сети IP/MPLS в настоящее время является практической необходимостью мобильной связи в Украине. За последние годы было реализовано несколько 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.

На данном этапе также становиться актуальным вопрос проведения измерений параметров стабильности сигналов синхронизации в транспортном окружении IP/MPLS. Также на передний план выходит и функция контроля этих показателей в режиме реального времени.

Основная часть

Концепция синхронизации в транспортном окружении IP/MPLS. Вопросы синхронизации жизненно необходимы для современных транспортных сетей IP/MPLS [2 - 7]. Поэтому современной тенденцией в развитии первичной сети является повышение роли сети синхронизации и эта тенденция сохранится в ближайшем будущем [2 - 7]. Более того, проблемы синхронизации не ограничиваются только первичной сетью, но имеют важное значение при построении сетей доступа с учетом различных технологий и протоколов, реализованных в конкретной IP/MPLS-сети [2 - 4]. Однако, при увеличении количества устройств (например, базовых станций мобильной связи [3 - 7]), подключаемых по IP-сети, проблемы синхронизации уже не могут быть рассмотрены в частном порядке и должны рассматриваться системно. С этим связана определенная локальная революция в подходе: появление определенной "критической массы" потребителей сигналов синхронизации на IP/MPLS-сети приводит к необходимости рассматривать систему синхронизации как отдельную составную часть системы электросвязи. С дальнейшим увеличением количества цифровых устройств начинают меняться концепции построения сети синхронизации и принципы управления нею. Более детально концепция синхронизации в транспортном окружении IP/MPLS изложена в публикациях [3 - 7].

Методы обеспечения синхронизации в транспортном окружении IP/MPLS. При выборе того или иного метода обеспечения синхронизации важно понимать их возможности и ограничения. А именно:

- 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. Кроме того переход на технологию Sync-E предусматривает полную замену оборудования IP/MPLS-сети или его существенное обновление [8];
- работающий на уровне канала передачи данных протокол PTP обеспечивает как частотную, так и временную (фазовую) 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 (фазовой) 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].

Детально принципы синхронизации в пакетных сетях и отличия в работе протоколов сличения времени были представлены в публикациях [2 - 8]. На сети АО "Киевстар" были реализованы ряд пилотных проектов для синхронизации базовых станций с целью определения оптимального метода синхронизации. Детально результаты этих проектов изложены в публикациях [5 - 8].

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 предоставления некоторых услуг, таких, как определение места положения абонента, что особенно актуально после ввода в действие Национальной версии 3.0 общеканальной сигнализации № 7.

Также на опытном участке сети АО "Киевстар" был развернут сегмент с организацией синхронизации по технологии синхронного Ethernet (Sync-E) [6; 8]. В целом на уровне основной сети (Core Network) наиболее оптимальной является именно реализация синхронизации на технологии Sync-E [8]. Это обусловлено сравнительно небольшими затратами на замену/обновление оборудования только на магистральном уровне и обеспечением гарантированно качественной передачи сигнала синхронизации на большие расстояния. Развертывание сетей синхронизации на уровне магистрального синхронного Ethernet приносит пользу операторам тем, что распределение тактовой частоты происходит без влияния вариаций задержки пакетов. Благодаря характеристикам устройств синхронизации можно, в общем, руководствоваться существующими правилами планирования и системного проектирования, что в значительной степени упрощает совмещение техники синхронного Ethernet со стандартной сетью синхронизации традиционного SONET/SDH. Однако в процессе развития сети оператор будет иметь дело с неоднородным оборудованием Ethernet, в котором могут быть, а могут и не быть средства синхронного Ethernet (что предусматривает значительные капиталовложения). Также потребуется дополнительный этап планирования сети просто для того, чтобы убедиться, что в составе выбранной цепочки синхронизации каналы Ethernet построены на оборудовании, в котором есть соответствующие функции синхронного Ethernet. В этом отличие от традиционных сетей SDH/SONET, в которых по определению любой узел обязан быть элементом сети синхронизации.

Таким образом, протокол PTP является на сегодняшний день наиболее оптимальным методом синхронизации в транспортном окружении IP/MPLS [5 - 7]. Протокол PTP обеспечивает как частотную, так и временную синхронизацию при высоком качестве параметров стабильности. При этом следует помнить, как было указано выше, о том, что стабильность распространяемого сигнала зависит от уровня загрузки сети, а также от расстояния между узлами сети и количества переприемов, - что следует учитывать на этапе планирования такой сети.

Реализация сети синхронизации на протоколе PTP. Протокол прецизионного времени (Precision Time 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 транспортном окружении IP/MPLS [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 1:

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 T_4.

Как видно на рисунке 1, 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 ***Delay Req*** от ведомых часов;

T_3 – время приема сообщения ***Delay Req*** гроссмейстерскими часами.

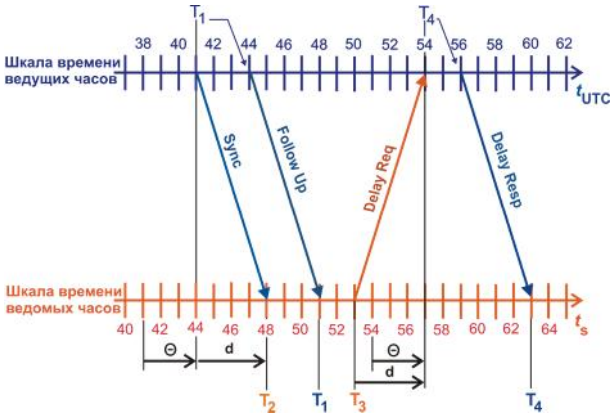

Рис. 1. Диаграмма использования сообщений в PTP протоколе

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 τ :

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

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:

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

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 2, 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

$$\tau_i = d_i - (T_{2i} - T_{1i}), \; i = 1,\ldots,30, \qquad (3)$$

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

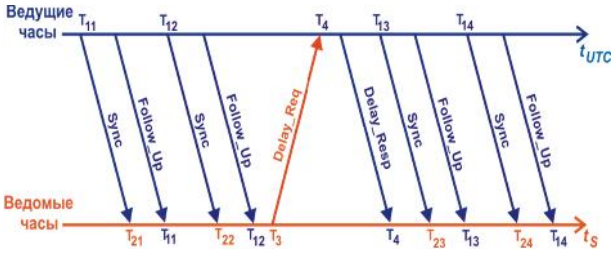

Рис. 2. Обмен сообщениями ***Delay Resp*** и ***Delay Req***, ***Sync*** и ***Follow Up*** в PTP протоколе

Измерения параметров стабильности. Единственной возможностью адекватно оценить сигнал синхронизации является измерение параметров стабильности [10, 11]. Непосредственно измеряется только функция ошибки временного интервала (Time Interval Error – TIE): разность между измеренным значением временного интервала, производимого задающим генератором, и измеренным значением того же самого временного интервала, производимого эталонным задающим генератором. Затем, на основе полученного массива TIE можно произвести расчет максимальной ошибки временного интервала - (Maximum Time Interval Error - MTIE): максимальное значение размаха изменения задержки данного сигнала тактовой синхронизации по отношению к идеальному сигналу тактовой синхронизации в течение времени наблюдения для всех значений времени наблюдения, длительность которых находится в пределах периода измерения. Кроме того, производится расчет девиации временного интервала (Time Deviation - TDEV): измеренное значение ожидаемого изменения временного интервала сигнала, как функция времени интеграции. TDEV может также обеспечивать информацией о спектральных

составляющих фазового (или временного) шума сигнала.

MTIE - показатель, который позволяет обнаруживать скачки фазы в сигнале синхронизации, так как по определению равен размаху изменений фазы в течение определенного периода времени. Однако из-за своей чувствительности к скачкам фазы он не адекватен для оценки "фонового" шума сигнала синхронизации. TDEV - показатель, который позволяет оценить средний квадрат мощности, поэтому при вычислении TDEV скачки фазы в сигнале синхронизации скрадываются и фактически получают оценку "фонового" шума сигнала синхронизации [1; 3; 10].

Измерения можно проводить как цифровых портах оконечного оборудования (на трибутарном потоке E1), так и непосредственно по Ethernet-порту (для этого в последнее время были разработаны специализированные приборы: STA-61 (Spectracom), серия Paragon-M/X (Calnex)).

В процессе развертывания и эксплуатации сети синхронизации на транспортной сети IP/MPLS возникает необходимость в создании системы мониторинга сигналов синхронизации. Эта система не должна зависеть от количества поставщиков оборудования и количества источников сигнала синхронизации. Предлагается постоянно проводить измерение значений TIE для сигналов от нескольких первичных источников относительно друг друга и на основе постепенно накапливаемых данных вычислять значения MTIE и TDEV в заранее определенные промежутки времени. Число сравниваемых сигналов должно быть не менее трех, что даст возможность по мажоритарному правилу определить аварийный сигнал. Для этих целей создаются аппаратно-программные измерительные комплексы [11], которые являются основой системы мониторинга. Измерителями в данном случае могут быть упомянутые выше измерительные приборы нового поколения, которые устанавливаются на сети стационарно. В отличие от синхронизации цифровой классической сети, места контрольных измерительных точек на IP/MPLS-сети могут варьироваться более свободно, что обусловлено гибкостью конфигурации по IP [1; 10].

Таким образом, на основе постоянного мониторинга можно принять решение о том, какой из трех сигналов вышел за нормы, которые определены масками G.811. Для вычислений MTIE и TDEV необходимо накопить массивы данных TIE и затем в определенные интервалы времени производится выдача результата.

Следует также упомянуть еще один параметр, оценивающий качество синхронизации. Девиация задержки пакетов (Packet Delay Variation - PDV): характеризует уровень загрузки IP/MPLS-сети в зависимости от задержки пакетов. В классической цифровой сети этот параметр отсутствует в силу ее природы. PDV не должен превышать 50 мс, в противном случае параметры стабильности сигналов синхронизации выйдут за нормы, которые определены масками G.811 [1; 3; 10]. Этот факт подтверждается измерениями MTIE и TDEV на пилотном участке сети синхронизации на IP/MPLS-сети [5 - 7]. PDV также измеряется упомянутыми выше измерительными приборами и может быть эксплуатационным параметром в проектируемой системе мониторинга сети синхронизации в транспортной IP/MPLS-сети.

Выводы

1. Протокол PTP является на сегодняшний день наиболее оптимальным методом синхронизации в транспортном окружении IP/MPLS. Протокол PTP обеспечивает как частотную, так и временную синхронизацию при высоком качестве параметров стабильности.

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

- для доставки ведомым часам четырех меток времени используют не два, а четыре сообщения (Delay Resp, Delay Req, Sync, Follow Up);
- 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.

3. Единственной возможностью адекватно оценить сигнал синхронизации является измерение параметров стабильности, причем измеряется только функция ошибки временного интервала (Time Interval Error – TIE) или параметр, оценивающий качество синхронизации по задержкам пакетов (Packet Delay Variation - PDV): характеризует уровень загрузки IP/MPLS-сети в зависимости от задержки пакетов.

4. В процессе развертывания и эксплуатации сети синхронизации на транспортной сети IP/MPLS возникает необходимость в создании системы мониторинга сигналов синхронизации. Эта система не должна зависеть от количества поставщиков оборудования и количества источников сигнала синхронизации.

Список литературы

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

2011. – 464 с.

2. Сравнительный анализ протоколов временной синхронизации для сетей нового поколения (NGN) / В. И. Вакась, И. П. Черняк // 19-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2009): материалы конф. (Севастополь, 14-18 сент. 2009 г.). – Севастополь: Вебер, 2009. - С.289-290.

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. Методы обеспечения синхронизацией базовых станций от разных иерархических уровней сети с коммутацией пакетов // 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. Синхронный Ethernet, 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.

11. Кравченко Ю.В. Метод поетапного зменшення потужності бази матроіда в задачах побудови топології системи зв'язку і автоматизації управління військами / Кравченко Ю.В., Микусь С.А. // Системи озброєння і військова техніка. – Харків.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2013. – № 4(36). – С. 74–78.

Поступила в редколлегию 16.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.В. Кравченко, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ОПОРОНИХ СИГНАЛІВ СИНХРОНЗАЦІЇ В IP-МЕРЕЖАХ. РЕАЛІЗАЦІЯ ЗА ПРОТОКОЛОМ PTP.

В.І. Вакась, Н.В. Федорова

У статті розглянуто питання організації мережі синхронізації в транспортному колі IP/MPLS, проведено аналіз можливостей протоколу PTP, проаналізовано параметри стабільності опорних сигналів синхронізації в IP-мережах та можливість їх вимірювань.

Ключові слова: *синхронізація, транспортне коло IP/MPLS, протокол PTP, параметри стабільності сигналів синхронізації.*

DISTRIBUTION OF REFERENCE SIGNALS OF SYNCHRONIZATION IN IP-NETWORKS. REALIZATION ON PTP PROTOCOL.

V.I. Vakas, N.V. Fedorova

In the article the questions of organization of network of synchronization are considered in transport surroundings of IP/MPLS, the analysis of possibilities is presented for PTP protocol, the parameters of stability of supporting signals of synchronization are analyzed in IP-networks and possibility of their measuring.

Keywords: *synchronization, transport of IP/MPLS, PTP protocol, parameters of stability signals of synchronization.*