

# ПРОТОКОЛ RTP ДЛЯ СИНХРОНИЗАЦИИ СЕТЕЙ NGN

## ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ

**В** статье рассматривается задача синхронизации сетей передачи данных следующего поколения (NGN). В качестве альтернативного метода передачи синхронизации автор предлагает использовать протокол RTP. Приведены характеристики систем синхронизации на основе протокола RTP (IEEE 1588) в сравнении с системами, использующими шину PXI, а также протокол NTP.

### ПРОБЛЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ В СЕТЯХ NGN

Развитие телекоммуникационных технологий и сетей передачи данных постепенно приводит к построению операторами связи конвергентных сетей следующего поколения (NGN – Next Generation Networks). Основное отличие таких сетей от традиционных сетей с синхронной цифровой иерархией (SDH) – в них для магистральной передачи данных наряду с обычными синхронными каналами используются такие асинхронные технологии, как Ethernet (Gigabit Ethernet, 10Gigabit Ethernet). Главным требованием операторов связи к сетям следующего поколения является одновременная передача голоса, видео и данных по единой сети.

При переходе от традиционных сетей передачи данных, основанных на временном мультиплексировании, к сетям NGN особое внимание уделяется передаче сигналов синхронизации. Синхронизация оборудования необходима в первую очередь для безошибочной передачи данных реального времени – голоса и видеозаписей. Поскольку в сетях Ethernet используется коммутация пакетов, которая в силу статистических свойств распространения пакетов данных по асинхронным каналам передачи разрушает изначально синхронизированный поток данных, передача синхронизации в сетях NGN выделяется в отдельную задачу. Для передачи синхронных данных по сетям с коммутацией пакетов, как правило, используется эмуляция каналов с временным мультиплексированием, заключающаяся в инкапсуляции синхронных данных в UDP-датаграммы и последующем их восстановлении на узле назначения [1].

Для безошибочного восстановления переданных данных на стыке асинхронного и синхронного каналов оборудование также должно получать синхросигнал. Требования к стабильности синхросигнала варьируются в зависимости от конкретного назначения сети передачи данных. Так, в операторских сетях по предоставлению услуг телефонии и доступа в Интернет требования к синхронизации являются достаточно мягкими – 50 ppb (единиц на миллион), а в сотовых сетях для бесшовного перехода мобильных абонентов от одной базовой станции к другой необходима стабильность 50 ppb (единиц на миллиард).

### СПОСОБЫ СИНХРОНИЗАЦИИ СЕТЕЙ NGN

В рекомендации ITU-T G.8261 [2] рассмотрены три основных способа восстановления синхронизации на границах транспортной среды с коммутацией пакетов при передаче в ней группового сигнала с временным мультиплексированием в виде услуги эмуляции каналов. Для этого в оконечном станционном оборудовании должны быть предусмотрены функции межсетевое взаимодействия. Все абоненты транспортной среды с коммутацией пакетов могут получать тактовую частоту от сети синхронизации посредством обычного централизованного распределения (рис.1). Если абонентское оборудование работает на собственной тактовой частоте (рис.2), то на границе сети с коммутацией пакетов ее восстанавливают различными относительными способами, например, с помощью алгоритма согласования скоростей SRTS. В обоих случаях в узле меж сетевого взаимодействия должен быть доступ к стыку с генератором первичной синхрони-

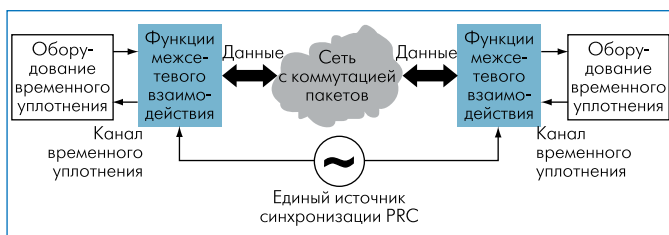


Рис. 1 Синхронизация от единого опорного источника

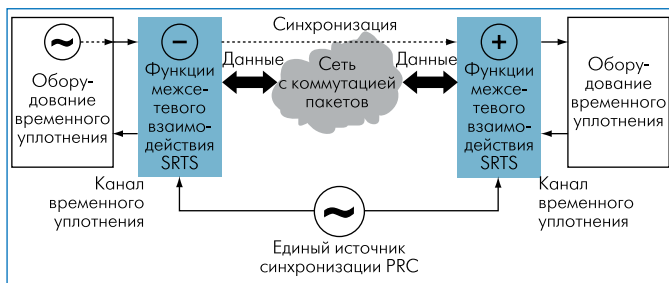


Рис.2 Синхронизация от оборудования временного уплотнения с использованием единой опорной частоты

зации (PRC). Для этого оператор сети NGN должен либо строить отдельную сеть синхронизации, либо арендовать ее у существующих операторов транспортной сети SDH.

Существует множество примеров локальной синхронизации оборудования. Так, например, в стационарном помещении размещают недорогой источник первичной синхронизации (PRS) на основе GPS и распределяют от него тактовую частоту с помощью беспроводных технологий или по обычным выделенным кабелям, в физической среде Ethernet, а также с помощью других оригинальных схем [3]. Если построение сети синхронизации (или использование стыков синхронизации) невозможно или нежелательно, то применяют самый простой, но проблематичный из соображений стабильности адаптивный способ согласования скоростей приема и передачи (рис.3).

Результаты проведенных исследований [4] показывают, что адаптивный способ можно применять, если абонент не предъявляет строгих требований к стабильности своей тактовой частоты, в противном случае необходимо дополнительное аппаратное сглаживание восстановленного синхросигнала. Альтернативой адаптивному методу является использование протокола RTP при инкапсуляции данных с временным мультиплексированием в пакеты асинхронных данных (рис.4). Как показали эксперименты, в данном случае при высокой стабильности восстановленного синхросигнала оборудование оказывается слабочувствительным к изменению частоты на источнике синхронизации, что является необходимым, например, в сотовых сетях при переходе на резервный синхросигнал.

## ПРОТОКОЛ RTP

Следующей ступенью развития, по-видимому, станет отдельная передача сигналов синхронизации сети с коммутацией пакетов с

помощью специально разработанных протоколов (рис.5). На данный момент таковыми являются протоколы NTP [5] и PTP [6]. Эти протоколы изначально создавались для синхронизации времени в различных устройствах сети, но в случае успешной синхронизации часов также становится возможной реализация алгоритмов синхронизации тактовых частот для восстановления данных реального времени. Протокол NTP (Network Time Protocol) широко используется для синхронизации текущего времени на прикладном уровне. В отличие от него, протокол "точного времени" PTP (Precision Time Protocol) действует на втором уровне модели взаимодействия открытых систем (OSI). Протокол PTP описан в стандарте IEEE 1588. Ожидается, что в дальнейшем PTP может быть использован как для высокоточной синхронизации текущего времени, так и для тактовой синхронизации оборудования. Рассмотрим данный протокол более подробно.

Стандарт IEEE 1588 предполагает, что протокол PTP предоставляет стандартный метод синхронизации устройств в сети с точностью выше 1 мкс (до 10 нс). Данный протокол обеспечивает синхронизацию ведомых устройств от ведущего, удостоверяясь, что события и временные метки на всех устройствах используют одну и ту же временную базу. В протоколе предусмотрены две ступени для синхронизации устройств: определе-

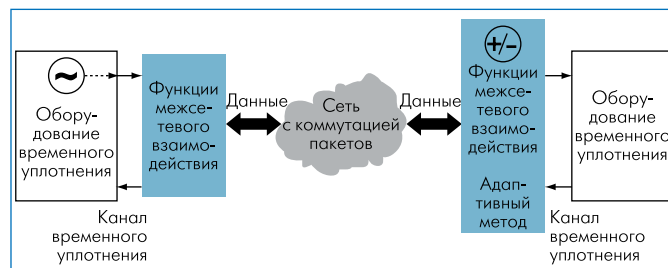


Рис.3 Адаптивная синхронизация

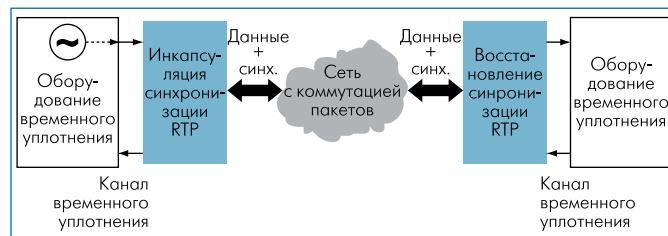


Рис.4 Передача синхронизации с помощью RTP

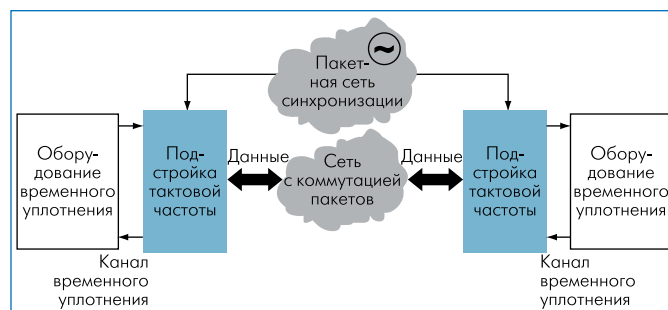


Рис.5 Передача синхронизации с помощью PTP

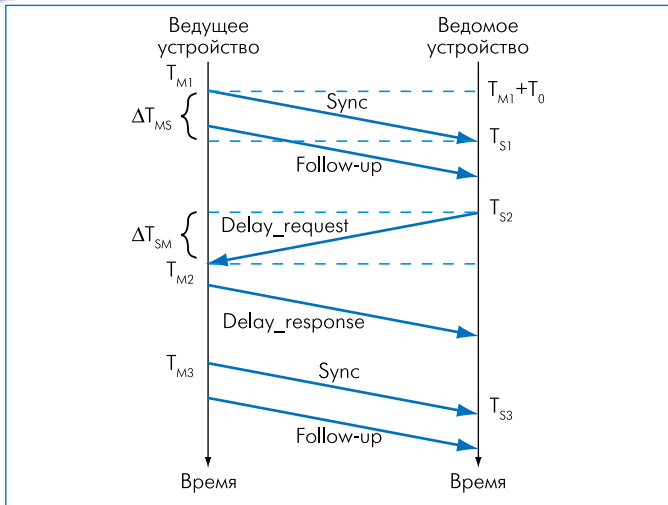


Рис. 6 Алгоритм работы PTP

ние ведущего устройства (1) и коррекция разбега во времени, вызванного смещением отсчета часов в каждом устройстве и задержками в передаче данных по сети (2). При инициализации системы протокол PTP использует алгоритм "наилучших ведущих часов" для определения самого точного источника синхронизации в сети. Такое устройство становится ведущим, а все остальные устройства в сети – ведомые и подстраивают свои часы по ведущему устройству.

Разница во времени между ведущим и ведомым устройствами является комбинацией смещения отсчета часов и задержки передачи синхронизирующего сообщения. Поэтому коррекция временного сдвига должна выполняться в два этапа: вычисление задержек передачи и сдвига, а затем их коррекция. Рассмотрим последовательность синхронизации часов двух устройств (рис.6).

Ведущее устройство начинает коррекцию сдвига часов, используя сообщения Sync и Follow-up. В сообщении Follow-up указывается время отправления сообщения Sync ( $T_{M1}$ ), измеренное наиболее близко к среде передачи для минимизации ошибки во времени опорного источника. После того, как ведомое устройство получает первые сообщения Sync и Follow-up, оно использует свои часы для отметки времени прибытия сообщения Sync ( $T_{S1}$ ) и сравнивает данную отметку с той, что пришла от ведущего устройства в сообщении Follow-up. Разница между этими двумя метками отражает сдвиг часов  $T_0$  плюс задержку передачи сообщения от ведущего устройства к ведомому  $\Delta T_{MS}$ :  $T_{S1} - T_{M1} = T_0 + \Delta T_{MS}$ .

Для вычисления времени задержки передачи сообщения и сдвига отсчета часов ведомое устройство отправляет сообщение Delay\_request со своим временем  $T_{S2}$ . Ведущее устройство отмечает прибытие данного сообщения и отправляет в ответ сообщение Delay\_response меткой  $T_{M2}$ . Разница между двумя метками – это задержка передачи от ведомого устройства к ведущему  $\Delta T_{SM}$  минус сдвиг в отсчете ведомого устройства:  $T_{M2} - T_{S2} = \Delta T_{SM} - T_0$ .

При вычислении задержки передачи сообщения принимается, что средняя задержка передачи данных в канале рав-

на среднему арифметическому задержек распространения в разные стороны канала:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{MS} + \Delta T_{SM}}{2}$$

Зная времена  $T_{S1}$ ,  $T_{M1}$ ,  $T_{M2}$  и  $T_{S2}$ , ведомое устройство вычисляет усредненную задержку распространения в канале передачи данных:

$$\Delta T = \frac{(T_{S1} - T_{M1}) + (T_{M2} - T_{S2})}{2}$$

Финальная синхронизация часов выполняется после отправки ведущим устройством второго набора сообщений Sync ( $T_{S3}$ ) и Follow-up ( $T_{M3}$ ). Ведомое устройство вычисляет сдвиг своих часов по формуле  $T_0 = T_{S3} - T_{M3} - \Delta T$ .

После этого ведомое устройство подстраивает свои часы в соответствии с вычисленными значениями. Поскольку опорные источники синхронизации в каждом устройстве нестабильны, а задержки в канале могут меняться со временем, необходимо периодически повторять коррекцию часов ведомого устройства.

### ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОТОКОЛА PTP

Большинство реализаций PTP имеют отклонение меньше 1 мкс, однако реальная точность работы зависит от приложения. Протокол PTP в устройствах реализуют тремя способами: программным, программно-аппаратным и аппаратным. Программные реализации PTP позволяют передавать сигналы синхронизации с точностью порядка 100 мкс. Чтобы достичь более высокой точности, необходимо использовать аппаратные средства. Каждый компонент, который обрабатывает пакет PTP после его получения из физической среды передачи, увеличивает ошибку синхронизации. Программная часть вносит наибольшую ошибку, поскольку загрузка процессора и задержка, связанная с обработкой прерывания, влияют на скорость обработки запроса синхронизации.

При программно-аппаратной реализации наиболее чувствительные функции протокола, такие как запись временной метки PTP-пакета, реализуются на физическом уровне Ethernet [7], например, в отдельной микросхеме программируемой логики. Такие методы сегодня наиболее оптимальны, так как требуют не слишком много ресурсов и времени на разработку устройства, позволяя добиться точности порядка 20 нс. В случае же полной аппаратной реализации [8] протокола PTP достижима точность порядка 10 нс.

Кроме способа реализации на точность работы протокола PTP влияет ряд других факторов. Например, стандарт IEEE 1588 не специфицирует частоту синхронизации ведущего и ведомого устройств. В результате синхросигналы с более низкой частотой будут иметь менее точное временное разрешение, приводящее к менее точным временным меткам в синхронизирующих сообщениях. Стабильность частоты опорных генераторов также влияет на качество реализации протокола. Синхросигналы, полученные при использовании термостатированных и термокомпенсированных кварцевых генераторов, будут более стабильны (от-

клонение в миллиардные доли), нежели кварцевые генераторы без термостабилизации (отклонение в миллионные доли).

На качество синхронизации устройств влияет также топология сети и равномерность трафика. В сети с большим числом устройств и высокой загрузкой каналов передачи данных точность трансляции синхронизации будет хуже. Поэтому для передачи сигналов синхронизации предпочтительно использовать отдельную сеть передачи данных.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ

Рассмотрим характеристики систем синхронизации, использующих протокол РТР, в сравнении с системами с синхронизацией по шине РХI (физическая линия синхронизации) и по протоколу NTP (см. таблицу). В отличие от систем с физической линией синхронизации, где точность событий определяется точностью синхросигнала, в протоколе РТР определяющим фактором является дрожание фазы (джиттер), связанное со случайным изменением межпакетных интервалов. Большинство реализаций протокола РТР обеспечивает точность менее 1 мкс.

Еще одна важная величина, отличающая разные способы синхронизации, – время ожидания синхронизирующего события. Это время между отправкой события ведущим устройством и получением его ведомым. Поскольку протоколы РТР и NTP для передачи синхронизирующих сообщений используют пакеты данных, ожидание события определяется временем ожидания пакета плюс время передачи и обработки заголовка пакета и, как правило, составляет несколько миллисекунд. В отличие от них системы с физической линией синхронизации ожидают синхронизирующего события в течение нескольких наносекунд. Время ожидания синхронизирующего события определяет такую характеристику, как максимально возможная частота подстройки синхросигнала.

Системы синхронизации с единой шиной синхронизации, такие как РХI, идеально подходят для высокоточного и скоростного восстановления синхронизации и могут быть расширены на расстояния до сотен метров с помощью специальных модулей синхронизации, размещаемых в кассетах. Стандартная синхронизация по сети Ethernet с помощью NTP предоставляет миллисекундную синхронизацию, подходящую для низкоскоростных приложений, не очень критичных к качеству синхронизации. Протокол же РТР представляет собой хоро-

Сравнительные характеристики систем синхронизации

	Шина РХI	Синхронизирующие модули на шинах РХI	Протокол РТР	Протокол NTP
Временное разрешение событий, нс	~0,01	~50	~50	<1·10 <sup>7</sup>
Время ожидания события	~1 нс	~500 нс	~10 мс	~10 мс
Частота подстройки	~100 МГц	~100 МГц	<100 кГц	<10 Гц

шую альтернативу для синхронизации распределенных систем с субмикросекундной точностью.

Таким образом, протокол РТР является альтернативным способом синхронизации сетей, который может получить распространение в сетях NGN. По сравнению с используемыми в настоящее время средствами синхронизации, данный метод обладает рядом преимуществ:

- не требуется доступ оборудования напрямую к стыку синхронизации РРС, что позволит операторам оптимизировать затраты на построение сети. При этом протокол РТР может обеспечить передачу синхронизации с субмикросекундной точностью, а значит, достижима стабильность лучше, чем 1 ppm;
- в отличие от адаптивного метода, для восстановления синхронизации необходим высокостабильный опорный генератор только в ведущем устройстве;
- для задач синхронизации можно использовать асинхронный канал со сравнительно небольшой пропускной способностью, что значительно уменьшает стоимость реализации. Предпочтительно, чтобы этот канал был выделенным.

Принимая во внимание простоту развертывания сетей Ethernet, субмикросекундную точность и функционирование с минимальными затратами на обработку сообщений, протокол РТР все чаще используется во многих отраслях, особенно в промышленной автоматике, в метрологии и т.п. Ожидается, что в будущем возможности протокола РТР расширят его применение и в телекоммуникациях для синхронизации устройств по сетям с коммутацией пакетов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Stein Y., Schwartz E.** Circuit Extension over IP: The Evolutionary Approach to Transporting Voice and Legacy Data over IP Networks. – RAD Data Communications, 2002.
2. ITU-T G.8261/Y.1361 Timing and synchronization aspects in packet networks. – ITU\_T, April 2008.
3. **Rodrigues S.** Technology options for sync delivery in Next Generation Networks. – 3rd International Telecom Sync Forum, 17–19 October 2005.
4. **Телегин С.А.** Применение TDMoIP мультиплексирования для передачи данных в транспортных сетях GSM. – Нелинейный мир, 2007, т.5, №5, с. 270–271.
5. IEEE Std. 1588–2008 IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. – IEEE, July 2008.
6. IETF RFC1305 Network Time Protocol (Version 3). Specification, Implementation and Analysis. – IETF, March 1992.
7. **Tan E.** IEEE 1588 Precision Time Protocol Time Synchronization Performance. Application Note 1728. – National Semiconductor, October 2007.
8. **Hamdi M. Neagoe T.** A Hardware IEEE-1588 Implementation with Processor Frequency Control. – Arrow Electronics, August 2006.