УДК 621.395

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ В АСПЕКТЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ПО ВРЕМЕНИ

Г.В. Коновалов, ведущий научный сотрудник ФГУП ЦНИИС, к.т.н.; gerkon@zniis.ru
А.М. Меккель, заместитель начальника службы Центральной станции связи – филиал ОАО РЖД, к.т.н.; mekkelam@css.rzd.ru

Ключевые слова: *единое точное время, частотно-временное обеспечение сетей электросвязи, синхронизация по времени.*

Введение. Частотно-временное обеспечение (ЧВО) телекоммуникационных сетей состоит из двух компонентов: тактовой сетевой синхронизации (ТСС) и синхронизации по времени (имеется в виду Единое точное время – ЕТВ). Тактовая сетевая синхронизация является только частотным обеспечением и потому может быть не привязана к меткам времени. Временное же обеспечение, как правило, тесно связанное с частотным, требует наличия обоих компонентов. Может возникнуть вопрос: как же так, ведь доставка ЕТВ успешно осуществляется с помощью протоколов NTP или PTP в пакетных сетях, которые во многих случаях являются асинхронными и не требуют ТСС? Внесем ясность. Необходимо различать трансляцию сигналов, несущих информацию об ЕТВ через сеть потребителю (пользователю), и ЧВО самой сети.

Поскольку понятие «синхронизация сети связи» привычно ассоциируется с ТСС, то далее во избежание путаницы синхронизацию сети по времени будем называть хронированием, при этом несколько сужая значение этого нечасто употребляемого термина. Под хронированием в данной статье подразумевается не просто наличие в телекоммуникационной сети Единого точного времени (например, за счет местных автономных часов), а некий принудительный процесс обеспечения ЕТВ, аналогичный принудительной тактовой сетевой синхронизации.

В ст. 49 ФЗ «О связи» под единым учетно-отчетным временем в отечественных сетях связи подразумевается Московское время, согласованное с национальной эталонной шкалой UTC (SU). Однако в законе ничего не говорится о том, откуда и как получают это время операторы связи и их сети, а также обязательно или необязательно хронирование сетей.

Этот кардинальный вопрос и связанные с ним технологические и нормативные правовые аспекты рассматриваются в данной статье, одной из побудительных причин написания которой стало то, что процесс хронирования российских сетей с помощью систем ЕТВ и ТСС, в отличие от внедрения в прошлом только ТСС, протекает вяло. В определенных кругах до сих пор бытует мнение, что без хронирования на основе принудительной доставки к элементам сети точного времени вполне можно обойтись – связь-то и без этого работает!

Частота и время в телекоммуникациях. Задачи, связанные с частотой и временем в телекоммуникационных сетях, условно можно разделить на две группы – внешние и внутренние. К внешним задачам относится оказание услуг потребителям по обеспечению их частотно-временной информацией с оговоренной точностью. Внутренние задачи, в свою очередь, можно рассматривать применительно к функционированию самой сети связи и к работе ее подсистем и приложений (см. рисунок).

Если отвлечься от внутренних задач, то нетрудно заметить, что роль телекоммуникаций в частотно-временном обеспечении потребителей сводится к доставке сигналов частоты и времени через сеть от источника к потребителю (пользователю). При этом должна гарантироваться оговоренная точность, хотя хронирование самой сети, через которую транслируется частотно-временная информация, не всегда обязательно (например, получение точного времени через Интернет с помощью протоколов NTP, SNTP и др.).

Однако сквозная трансляция сигналов ТСС через пакетную сеть, расположенную между сетями с коммутацией каналов, требует специальных мер или же построения пакетной сети на базе синхронного Ethernet.

Что же касается внутренних задач, то степень и форма ЧВО самой сети во многом определяются используемыми технологиями. Так, ТСС цифровых сетей с коммутацией каналов является обязательной и необходимость частотного обеспечения сомнению не подлежит.

Внутренние проблемы возникают при отсутствии ЕТВ в территориально разнесенном сетевом оборудовании, на котором выполняются технологические процессы, требующие строгой последовательности во времени. В их числе, например, автоматическое изменение конфигурации сети по расписанию, заданному программным способом. Этот процесс обеспечивается согласованной во времени работой кроссовых коммутаторов (cross-connectors). Насущную потребность в хронировании испытывают и сети мобильной связи с кодовым разделением каналов (технология CDMA). Кроме того, обеспечение ЕТВ востребовано в подсистемах и приложениях, связанных с регистрацией и учетом событий, в частности в системах управления и мониторинга, биллинговых системах.

О пользе хронирования сетей, а также о неблагоприятных ситуациях, которые могут возникнуть при его отсутствии, сказано и написано немало, в том числе в [1] и [2]. Характерно, что строить системы ЕТВ в телекоммуникациях призывают в основном научные работники и производители соответствующей аппаратуры и гораздо реже представители операторов связи, отвечающие за принятие технических решений. Тем не менее некоторые российские операторы уже приступили к определенным работам по построению и развитию своих систем ЕТВ. Однако бóльшая часть технического сообщества, по-видимому, все еще сомневается.

И все-таки, почему к хронированию телекоммуникационных сетей прилип ярлык «предмет не первой необходимости» и некоторые отечественные операторы, а иногда даже представители регуляторных органов рассматривают хронирование как излишнюю роскошь?

Главные аргументы скептиков таковы:

1. Требования к точности хронирования при решении внутренних сетевых задач относительно невысоки и, как правило, незначительно превышают точность определения времени, необходимую для офисных или бытовых нужд. Такая точность может быть обеспечена обычными автономными часами с правильно установленным временем или компьютерными часами, время от времени (обычно еженедельно) корректируемыми средствами сети Интернет.

2. Потребители, нуждающиеся в высокоточном времени, могут обойтись и без сетей связи, получая его из других источников, в частности с помощью приемников спутниковых навигационных систем (ГЛОНАСС, GPS и др.). Об этом (или о незначительном количестве таких потребителей) свидетельствует низкий спрос на соответствующие услуги телекоммуникационных компаний.

3. И, наконец, самый «убедительный» довод: ведь работаем же, и ничего!

Необходимо, желательно или не нужно? Как уже говорилось, обеспечение телекоммуникаций единым точным временем для решения внутренних задач необходимо при некоторых технологических реализациях сети и для определенных систем и приложений. То, что сетевые операторы должны использовать в своей работе единое время, вряд ли у кого-нибудь вызывает сомнение. Дискуссионным является вопрос, как обеспечить это время: создавать ли специальную систему с соответствующей распределительной сетью сигналов ЕТВ (являющуюся подсистемой телекоммуникационной сети) или можно (в условиях относительно невысоких требований к точности) ограничиться автономными часами?

В поисках ответа на этот вопрос прежде всего надо отметить, что расхожее мнение о необходимости хронирования сети только при наличии высоких требований к точности обеспечения временем не соответствует действительности. В основе решения проблемы ЕТВ в телекоммуникациях должны лежать следующие положения:

- при обеспечении ЕТВ нужно исключить или хотя бы минимизировать влияние человеческого фактора;
- обеспечение ЕТВ необходимо постоянно контролировать.

Представим себе такую картину. Время во всех узлах сети устанавливается по автономным часам. При этом достаточной может быть точность обычных электронных часов или все узлы оснащены приемниками глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), по которым время устанавливается с высокой точностью. Однако в обоих этих случаях обеспечение ЕТВ не защищено от влияния человеческого фактора, которое может быть как случайным (например, персонал не заметил сбоя часов), так и намеренным (желание скрыть первопричину повреждения сети, получить выгоду при взаиморасчетах между операторами и т.п.). Более того, при автономии часов централизованный контроль, позволяющий выявить эти и другие нарушения, практически невозможен, так же как и мониторинг качества установления и поддержания точного времени в сетевом масштабе.

И напротив, хронирование сети на основе создания системы ЕТВ, принадлежащей самой сети, позволяет сделать получение точного времени в узлах сети автоматизированным, централизованно контролируемым и подверженным постоянному мониторингу с помощью соответствующих средств. Таким образом, хронирование телекоммуникационных сетей следует считать необходимым, а регуляторные органы могут и должны сделать его и обязательным.

Технологии хронирования и их внедрение при создании систем ЕТВ. К настоящему времени развитие современных технологий установления и поддержания точного времени достигло такого уровня, что операторам связи остается лишь выбрать наиболее подходящую для решения задач хронирования своих сетей.

Так, в последние годы к технологиям передачи сигналов точного времени с помощью специальных радиостанций национальных систем единого времени и посредством передачи сигналов точного времени по телевидению добавились и получили развитие технологии с использованием возможностей ГНСС (в частности, ГЛОНАСС) и сети Интернет.

В Интернете синхронизация по времени компьютерных часов осуществляется на основе появившегося более 15 лет назад и постоянно совершенствуемого протокола сетевого времени, известного как NTP (Network Time Protocol) [3]. По сути, под NTP понимается ряд протоколов и алгоритмов синхронизации компьютерных часов с использованием двусторонней передачи сигналов (меток) времени с целью согласования сравниваемых временны́х шкал. Этот метод, известный в англоязычной литературе как TWTT (Two Way Time Transfer) давно и успешно применяется метрологами для сравнения шкал эталонов времени и частоты. В рамках NTP этот метод развит, конкретизирован и дополнен соответствующими алгоритмами, чтобы обеспечить приемлемую синхронизацию по времени не очень стабильных компьютерных часов, смягчив при этом нежелательное влияние существенных задержек меток времени по мере их прохождения в пакетной сети Интернет, причем по различным путям от разных серверов времени.

Однако отечественный и зарубежный опыт применения технологий NTP свидетельствует не только о возможности достичь на их основе миллисекундной и даже микросекундной точности синхронизации по времени, но и о том, что дальнейшее повышение точности в пакетной среде на основе протокола IP весьма затруднительно, если вообще возможно.

Поэтому в ожидании повышения требований к точности обеспечения единства времени в сетях связи специалисты (пока, правда, преимущественно за рубежом) все чаще обращают внимание на возможности, предоставляемые протоколом прецизионного времени (Precision Time Protocol – PTP) [4] для синхронизации часов-хранителей времени в элементах сетей электросвязи. Причем не только в самих сетях, но и в относящихся к ним программно-технических комплексах (управления непосредственно сетями, управления ТСС, управления распределением ЕТВ и т.п.).

Это обусловлено тем, что, хотя в основе PTP лежит все тот же способ двусторонней передачи меток времени (TWTT), протоколы и алгоритмы, объединяемые понятием PTP, существенно отличаются от аналогичных компонентов NTP. Во-первых, при PTP больше разного рода меток времени [3–5]; во-вторых, обмен информацией о времени с их помощью осуществляется на уровне, наиболее близком к физическому. Иерархические древовидные структуры элементов сети ЕТВ с использованием PTP и NTP тоже различны. В результате, используя имеющиеся данные о применении современных средств, реализующих PTP в конкретных сетях ЕТВ, можно добиться очень высокой точности согласования шкал времени (с ошибкой в десятки и даже единицы наносекунд).

По данным, опубликованным, в частности, в [6–8] в России в последние годы проводились эксперименты по передаче сигналов ЕТВ на большие расстояния по волоконно-оптическим системам связи, построенным по технологиям СЦИ/SDH, с помощью специально разработанной для этой цели отечественной аппаратуры распределения сигналов времени (АРСВ). Результаты экспериментов подтвердили возможность высокоточного согласования по времени синхронизируемых шкал – ошибки не превышали десятков наносекунд. И это при том же самом порядке асимметрии времени прохождения сигнала (меток времени) в прямом и обратном направлениях передачи. К сожалению, аппаратура АРСВ в существующем ее виде не адаптирована к бурно развивающимся сегодня пакетным сетям и системам передачи.

Отметим, что помимо перечисленных технологий существуют еще технологии распределения сигналов времени в формате IRIG (Inter Range Instrumentation Group) [9], где передача осуществляется по выделенным физическим линиям, получившим распространение в специализированных сетях предприятий, производство в которых требует точных данных о текущем времени. Можно отметить также технологии стандарта LXI (Line Extension for Instrumentation), получающие все большее распространение в современных измерительных приборах. Кстати, в технологиях стандарта LXI, обеспечивающих привязку к единому времени комплексов измерительных приборов [10], используются правила, методы и алгоритмы, присущие протоколу PTP.

Таким образом, значительное развитие за последние годы технологий обеспечения единого времени и возможность их сочетания открывают перед операторами связи перспективы хронирования своих сетей с высокой точностью на современном технологическом уровне. Некоторые российские операторы уже приступили к решению этой задачи, но пока, насколько известно авторам, в основном путем внедрения сетей ЕТВ с использованием средств, поддерживающих определенные разновидности протокола NTP. Соответственно, серверы времени отечественного производства поддерживают этот протокол и обычно обеспечивают возможности распределения информации о времени в формате IRIG, а также с помощью протокола SNTP (Simple Network Time Protocol). Этот протокол является упрощенным вариантом NTP и в отличие от последнего обеспечивает не двустороннюю, а одностороннюю передачу меток времени.

Что касается отечественных производителей аппаратуры, поддерживающей протокол PTP, то они пока не проявили себя на российском рынке, уступая его производителям из дальнего и ближнего зарубежья.

Нормативная правовая база. Для того чтобы задачи синхронизации по времени сетей операторов связи решались не так стихийно и вяло, как это происходит сейчас, необходима отечественная нормативная правовая база. А ее у операторов, по сути, нет. Считать нормативной базой весьма ценные, но по большей части англоязычные рекомендации МСЭ, стандарты ETSI и уж тем более американские стандарты IEEE вряд ли возможно.

По своей структуре и форме упомянутые документы не могут заменить нормативные правовые акты, поскольку не содержат директивных указаний, не всегда однозначны, нередко имеют несколько рекомендуемых вариантов и изобилуют многочисленными ссылками на другие документы.

Нельзя также считать общероссийской нормативной базой несколько разработанных в ЦНИИС стандартов организации, регламентирующих работы по созданию систем ЕТВ у ряда операторов (МГТС, «Уралсвязьинформ», «ВымпелКом» и др.). Да и эти стандарты, утвержденные в 2006–2007 гг., в условиях быстрого развития технологий обеспечения ЕТВ значительно устарели, а их обновление пока никто не заказывает. В первую очередь в обновлении нуждаются:

- Правила применения оборудования тактовой сетевой синхронизации (утверждены 07.12.2006 г. Приказом Мининформсвязи России № 161);
- Требования к построению сети связи общего пользования в части обеспечения тактовой сетевой синхронизации (утверждены 02.03.2009 г. Приказом Минкомсвязи России № 31).

С этими документами можно ознакомиться на сайте Минкомсвязи и, сопоставив их с современным состоянием рекомендаций МСЭ и стандартов ETSI, понять, насколько данные нормативные документы сохраняют свою актуальность и полезность.

Что касается еще более ранних нормативных документов, то они хорошо известны операторам, успешно сыграли свою роль при создании систем ТСС в нашей стране и, поскольку не отменены, до сих пор используются по мере их пригодности как справочный материал. Вот перечень этих документов:

- РД 45.230-2001. Аудит системы тактовой сетевой синхронизации (утвержден Минсвязи России 28.01.2002 г. Введен в действие информационным письмом № 448 от 28.01.2002 г.).
- РД 45.09-2001. Присоединение сетей операторов связи к базовой сети тактовой сетевой синхронизации (утвержден Минсвязи России 05.11.2001 г. Введен в действие информационным письмом № 7923 от 05.11.2001 г.).
- Р 45.12-2001. Эксплуатация первичных эталонных генераторов на взаимоувязанной сети связи Российской Федерации.
- Р 45.08-2001. Использование международных и междугородных коммутационных станций в системе ТСС ВСС России (утверждена Минсвязи России 05.11.2001 г.; введена в действие информационным письмом № 7923 от 05.11.2001 г.).
- Руководящий технический материал (РТМ) по построению ТСС на цифровой сети связи РФ, ЦНИИС, 1995 г.
- Рекомендации по метрологическому обеспечению системы ТСС на цифровой сети общего пользования (1-е дополнение к РТМ), ЦНИИС, 1998 г.
- Создание и развитие систем управления ТСС (2-е дополнение к РТМ), ЦНИИС, 2001 г.
- Инструкция по проектированию ТСС для использования в проектных организациях, 2001 г. (временная).

Существует также рекомендательный документ Регионального содружества в области связи (РСС) – Концепция развития и совершенствования цифровых сетей связи стран СНГ, в которой рассмотрен широкий спектр вопросов, относящихся к ТСС. Причем эти вопросы рассмотрены как в самом документе (1-я книга), так и (подчас подробнее) в Приложениях к нему (2-я и 3-я книги). Данная Концепция, хотя и остается действующим документом, но, будучи датированной 2004 г., естественно, уже не отражает должным образом современных реалий. Необходимость разработки нового рекомендательного документа РСС довольно подробно обоснована в [11]. Но будут ли эти предложения приняты и дойдет ли дело до разработки нового документа и его утверждения в РСС, пока неясно.

Возвращаясь к вопросу о задачах развития отечественной нормативной правовой базы по частотно-временному обеспечению, следует отметить, что в части отражения в ней тематики обеспечения синхронизации по времени необходимо:

- сформулировать наиболее важные требования, касающиеся синхронизации по времени сетей операторов связи;
- на основе имеющегося отечественного опыта и существующей мировой практики хронирования сетей разработать рекомендации по применению соответствующих технических средств;
- разработать комплекс общенациональных нормативных документов по ЧВО сетей электросвязи.

Однако от важного, но все же формального вопроса нормативной базы перейдем к связанному с ним вопросу определения хотя бы самых общих требований к осуществлению синхронизации по времени сетей электросвязи в рамках их частотно-временного обеспечения.

Заключение. Часть требований к хронированию сетей электросвязи была сформулирована выше. В частности, отмечалось, что хронирование сетей в рамках их ЧВО должно обеспечить и облегчить централизованный контроль и мониторинг.

В числе других общих требований, вытекающих из постановки внутренних и внешних задач, следующие:

- хронированию должны подлежать все нуждающиеся в нем сетевые часы. Под сетевыми часами (часами сетевых элементов) здесь подразумеваются функциональные части оборудования, способные принимать, обрабатывать, хранить и транслировать сигналы (метки) времени;
- система синхронизации по времени в рамках ЧВО должна быть построена таким образом, чтобы обеспечить возможность расширения по мере роста сетей связи;
- эта же система должна обеспечивать возможность развития в части повышения точности по мере технологического развития сетей связи и/или ужесточения требований, предъявляемых потребителями (пользователями).

В связи с этим возникает ряд технических проблем, которым сегодня уделяется недостаточно внимания и которые требуют проработки. В их числе:

- разработка основных положений системы управления, контроля и мониторинга как системы синхронизации по времени, так и системы ЧВО телекоммуникационных сетей в целом;
- разработка унифицированного интерфейса пользователя (потребителя ЕТВ) с системой ЧВО телекоммуникационных сетей.

Есть все основания полагать, что скорейшее обращение к этим проблемам с целью их разрешения будет способствовать прогрессу в области частотно-временного обеспечения телекоммуникационных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рыжков А.В.** Частота и время в телекоммуникациях XXI века. – МАС, 2006.
2. **Васильев Д.Н.** Опыт построения системы точного времени на сети оператора электросвязи // Современные проблемы частотно-временного обеспечения сетей электросвязи. Сб. трудов международных научно-технических конференций. – М.: ФГУП ЦНИИС, 2010. – С. 206–219.
3. **Mills D.L.** Network Time Protocol Version 4. Reference and Implementation Guide NTP Working Group Technical Report 06-6-1, 2006.
4. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, IEEE New York, 2008.
5. **Коновалов Г.В., Новожилов Е.О.** Моделирование способов передачи сигналов времени при частотно-временном обеспечении телекоммуникаций // Материалы V Международной научно-технической школы-конференции «Молодые ученые-2008». Ч. 4. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – С. 205–208.
6. **Рыжков А.В.** Опорная сеть системы единого и точного времени на основе волоконно-оптических линий передачи// Электросвязь. – 2008. – № 10. – С. 54–56.
7. **Рыжков А.В., Иванов А.В., Новожилов Е.О.** Способы передачи сигналов времени по волоконно-оптическим линиям // Электросвязь. – 2009. – № 9. – С. 35–38.
8. **Рыжков А.В., Донченко С.И., Иванов А.В. и др.** Передача времени по сети связи общего пользования// Электросвязь. – 2010. – № 12. – С. 42–47.
9. IRIG Standard 200-04 IRIG Serial Time Code Formats / Secretariat Range Commanders Council (http://jcs.mil/RCC.
10. Концепция Agilent Open. Временная синхронизация в соответствии с IEEE 1588 // Каталог фирмы Agilent Technologies. 2011. – С. 368–369.
11. **Бирюков Н.Л., Коновалов Г.В., Триска Н.Р.** Задачи совершенствования частотно-временного обеспечения сетей электросвязи стран СНГ и их отражение в нормативных и рекомендательных документах // Электросвязь. – 2010. – № 12. – С. 47–49.

Получено 24.05.11