

УДК 621.373-187.4; 621.39.072.9

В. И. ВАКАСЬ¹,

Н. В. ФЕДОРОВА²,

Д. А. ДЕМИН, О. В. СЕНЬКОВ,

¹ ПрАТ Киевстар,

² Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТОКОЛА NTP В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

В статье рассмотрен протокол NTP (Network Time Protocol), широко используемый в сетях связи для обеспечения оборудования метками точного времени. Раскрыты возможности сетевого протокола NTP, который применим также и для синхронизации оборудования. Описано планирование подсетей на основе протокола NTP. Системное планирование подсетей NTP даже для больших сетей не сложнее, чем проектирование услуг на основе других подсетей (почта или служба доменных имен). Однако в распределении времени существуют некоторые специфические особенности. Имеется несколько критериев проектирования, как правило, противоречивых: обеспечение заданной точности, устойчивый счет времени в условиях маловероятных отказов и перегрузок, минимизация зависимости от параметров и размещения серверов, простота и удобство конфигурирования клиентов.

В статье представлены также методы мониторинга качества опорных сигналов синхронизации.

Ключевые слова: NTP (Network Time Protocol); синхронизация; пакетные сети; измерение параметров стабильности; PDV (Packet Delay Variation); система мониторинга.

Введение

В телекоммуникационных системах все нормы на точность сличения времени и стабильность частоты устанавливаются по отношению к шкале и частоте UTC. Время (time) события — абстрактное понятие, служащее для упорядочения событий в некоторой заданной системе отсчета, называемой шкалой времени (time scale). Искусство счета времени заключается в том, чтобы согласовать между собой несоизмеримые интервалы времени.

Возможности протокола NTP

Ответ на вопрос о том, насколько точным может быть сличение времени по протоколу NTP, зависит от многих конкретных условий, в том числе от операционной системы и структуры сети. Абсолютную точность по отношению к UTC определить трудно даже при наличии местных прецизионных эталонных часов. Систематические погрешности обычно постоянны и неизменны во времени, так что их можно откалибровать и исключить. Этого нельзя сказать о погрешности, вызванной асимметрией задержек, когда задержки передачи в прямом и обратном направлениях значительно отличаются друг от друга. Как показывает опыт, эти задержки подвержены сильным изменениям в сети Интернет общего пользования из-за непрерывного реконфигурирования сети провайдером услуг. Поэтому в монографии [1] вопрос о том, какова ожидаемая точность в глобальной сети Интернет, назван нетривиальным, а ответы на него — неутешительными. Высказанное предположение о возможности сличения времени с точностью от нескольких миллисекунд до несколь-

ких десятков миллисекунд, а в перегруженных каналах — до 100 миллисекунд автор книги [1] называет слишком оптимистичными для глобального интернета, который, по его мнению, является «пространством штормовых статистических шумов». По самым пессимистическим оценкам в результате статистической обработки результатов исследований 1997 года максимум интегральной функции распределения расхождений времени по ансамблю клиентов составляет 686 мс, а среднее значение — 234 мс. Наилучшую оценку можно получить, если в этих данных оставить только «надежные» соединения, в которых расхождение времени менее чем 128 мс. Тогда среднее значение расхождения времени составит 28,7 мс. По другим данным среднее квадратичное отклонение расхождения времени между партнерами NTP в глобальной сети Интернет может оказаться в пределах 0,012...56,7 мс.

Весьма жесткие требования предъявляет Международная электротехническая комиссия. Так, в стандарте IEC 61850 установлены градации качества синхронизации внутристанционной автоматики предприятий энергетики по пяти классам точности от 1 мс до 1 мкс. Ценой значительных затрат, обусловленных существенными доработками серийного коммутатора Ethernet и типовых решений упрощенного NTP (SNTP), удается обеспечивать точность класса T3 — не хуже 25 мкс [2]. Это предельно достижимый для NTP результат, на который можно найти ссылку в технической периодике [3]. Указанный результат может быть повторен на реальной сети оператора связи [2; 3].

© В. И. Вакась, Н. В. Федорова, Д. А. Демин, О. В. Сеньков, 2018

До недавнього часу протокол NTP широко використовувався і для частотної синхронізації, наприклад базових станцій мобільної зв'язку в IP-середовищі [2]. В монографії [1] представлені протоколи, що дозволяють організувати опорну частоту в пакетній середі передачі. Встав питання — як оцінити стабільність такої опорної частоти? В силу наявності нової середі передачі і нових технологічних протоколів були розроблені і нові вимірювані параметри стабільності сигналів синхронізації [4; 5], що дозволяють оцінити якість стабільності в пакетній середі.

Вимірювання в пакетній середі ґрунтуються на вирахуванні всіх даних, необхідних не тільки для оцінки точності злічення часу і оцінки стабільності частоти, але і для оцінки таких параметрів мережі, як двох- і одностороння затримка пакетів, а також відхилення затримки пакетів PDV (*Packet Delay Variation*) [5]. Проще кажучи, ми маємо вбудований вимірник (датчик даних вимірювань) безпосередньо в сервері і/або клієнті для того, щоб витягти поточні результати вимірювань і відповідні *log*-файли сервера (клієнта) для вихислень показників якості і порівняння їх з нормованими межами.

При впровадженні нових технологій, зокрема LTE, не втрачають своєї актуальності питання, що стосуються до розділу частотно-часового забезпечення сеансів зв'язку, а також проблеми узгодження шкали місцевих зберігачів точного часу в територіально рознесеному інфраструктурі електричного зв'язку. В умовах активного переходу від одних технологій до мереж наступного покоління питання синхронізації виступають перед спеціалістами з усією більшою силою, так як точне слідування всесвітньому універсальному часу, в кінцевому рахунку, веде до підвищенню доступності і якості надаваних послуг.

Нині часом NTP застосовується переважно для забезпечення метками часу великої кількості обладнання на мережах мобільної зв'язку. Це і базові станції всіх типів технологій, і інтегруючі пристрої мережі IP/MPLS, і комутаційні центри всіх рівнів ієрархії, і різні виділені послуги, і, звичайно ж, вся ІТ-структура. Все це обладнання виступає в якості клієнтів NTP в структурі клієнт-сервер. Кількість таких NTP-клієнтів на мережах великих мобільних операторів досягає значущого порядку 30 000 – 40 000 одиниць.

Таким чином, протокол NTP актуальний і на сучасних мережах зв'язку.

Планування підсетей NTP

Системне планування підсетей NTP навіть для великих мереж не складніше, ніж проектування послуг на ґрунті інших підсетей (пошта або

служба доменних імен), але в розподілі часу є деякі специфічні особливості. Існують декілька критеріїв проектування, як правило, протирічливих: забезпечення заданої точності, стійкий час часу в умовах малоймовірних відмов і перевантажень, мінімізація залежності від параметрів і розміщення серверів, простота і зручність налаштування клієнтів. Як свідчить сучасний досвід експлуатації підсетей NTP, більшість серйозних порушень роботи відбувається в формі випадкових блокувань серверів з низькою продуктивністю. Наприклад, клієнт може бути сконфігурований так, щоб відправляти пакети з 1-секундним інтервалом одному виділеному серверу. Впочатку, поки кількість таких клієнтів невелика, серйозних проблем не виникає, але з розвитком сучасних мереж електричного зв'язку кількість елементів мережі з клієнтами NTP збільшується дуже швидко і сервер не встигає обробляти запити.

На Stratum 1 цієї мережі розміщені відносно малопродуктивні сервери, рівномірно розподілені по мережі. Опорними годинами для них слугують приймачі GPS. На Stratum 2 слід встановити високопродуктивні багатопотокові сервери NTP операторського класу так, щоб у конфігураційному списку кожного з них були всі сервери Stratum 1 в радіусі ~500 км. Середньоквадратичне відхилення розходження часу на цій відстані не більше 10...20 мс. Географічно розміщати сервери Stratum 2 слід таким чином, щоб з будь-якої підмережі NTP три з них були б доступні на відстані не більше 500 км. Тоді конфігураційний список клієнта NTP, вбудований в будь-яку нову вводимий елемент мережі, залежить тільки від його географічного положення і повинен містити адреси саме цих трьох серверів Stratum 2. Підмережі NTP цілком природно ізолювати географічно (з метою підвищення точності злічення часу) і/або по призначенню (з метою підвищення мережної безпеки).

Якщо хід місцевих годин повинен бути узгоджений з номінальною шкалою часу від віддаленого джерела, то слід передбачити певні засоби регулярних поправок часу і підстроєк частоти місцевих годин. Синхронізувати частоту (*synchronize frequency*) означає підстроювати частоту генератора так, щоб вона була однаковою для всіх годин, синхронізувати час (*synchronize time*) – узгодити показання годин в певні епохи з номінальною шкалою часу (як правило, це — UTC), а синхронізувати години (*synchronize clock*) означає синхронізувати і частоту, і час. Мета дистанційного злічення часу складається в тому, щоб витягти розходження шкали.

Для полноценного планирования необходимы конкретные исходные данные, для сбора которых, возможно, придется провести дополнительные исследования. Поскольку нет требований к минимальной точности сличения времени в сетях электросвязи, то можно сделать вывод о том, что в стандарте предприятия целесообразно потребовать, чтобы точность сличения времени у всех клиентов NTP была бы не хуже 100 мс относительно UTC.

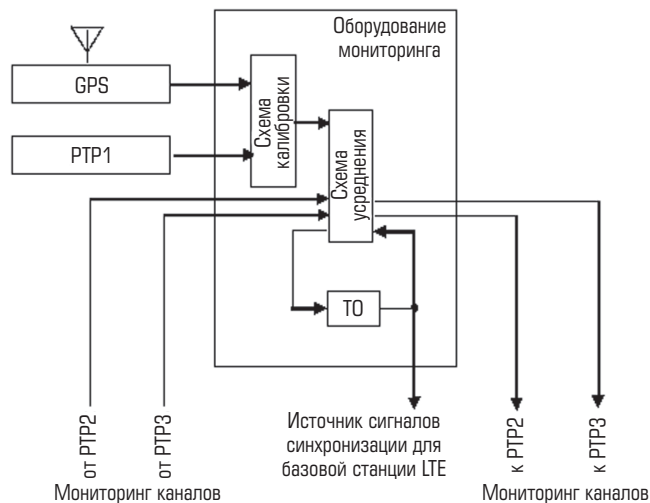
Мониторинг сигналов NTP

В [6; 7] была представлена схема мониторинга сигналов по протоколу RTP (*Precision Time Protocol*). Суть этой схемы сводится к сличению/измерению сигналов от трех источников с целью определения аварийного и эффективного переключения на резерв. Для NTP такого рода резервирование является излишним. Однако данный вид мониторинга можно применить для эффективного сличения шкал времени (что до сих пор не позволяет осуществить ни одна система управления NTP-серверами). Схема оборудования мониторинга качества опорных сигналов RTP представлена на рисунке, где имеем два местных источника, один на основе приемника GPS, а второй — на основе локального сервера RTP1. Оба подключены к схеме калибровки, выходной сигнал которой подсоединен к схеме усреднения. Мы условно можем заменить RTP-серверы на NTP. Схема служит для предварительной обработки опорных сигналов, поступивших от удаленных NTP2 и NTP3, прежде чем эти сигналы будут поданы на сеть. Сигнал калибровки используется в схеме усреднения для того, чтобы сформировать сигнал управления местным подстраиваемым генератором (ПГ). Стабильность результирующего сигнала после такой обработки оказывается не хуже кратковременной стабильности местного кварцевого генератора, средневременной стабильности локального NTP1 и долговременной стабильности приемника GPS.

Следует отметить, что для сигналов NTP, как и RTP, возможны измерения значений PDV.

При наличии нескольких NTP-серверов на сети выбор наилучшего по качеству достигается при помощи многовходовой системы фазовой автоподстройки частоты ФАПЧ с цифровым управлением подстраиваемого генератора. В такой системе один из входных сигналов от кварцевого генератора обеспечивает стабильность на кратковременных интервалах измерения. Свой вклад в стабильность результирующего выходного сигнала на средневременных интервалах вносит местный GPS-приемник, а в случае его аварии — один или два удаленных NTP-сервера. В такой многовходовой системе фазовой автоподстройки частоты стабильность результирующего сигнала на выходе оказы-

вается не хуже стабильности любого из действующих источников, и все они служат для подстройки выходного сигнала.



Мониторинг сигналов NTP

Местный кварцевый подстраиваемый генератор ПГ с лучшей кратковременной стабильностью частоты подключен непосредственно к выходу петли регулирования. Сигналы GPS и местного NTP-сервера используются для подстройки сигнала через схему калибровки, которая формирует первый опорный сигнал для схемы усреднения замкнутой петли. Постоянные времени схемы калибровки и петель регулирования выбраны так, чтобы преобладающее влияние каждого из опорных сигналов было избирательным и в целом максимизировало общую стабильность и точную метку времени выходного сигнала.

По существу, синхронизация частоты (синтонизация) базовых станций стандарта 3G/LTE — это дистанционное сличение времени по протоколу RTP в сочетании с дифференцированием погрешности времени. Что полностью может соответствовать и протоколу NTP в нашем случае. В результате получают дистанционную оценку относительной частоты. Постепенно приходят к тому, что просто освежить понятия сетей синхронизации SDH и на этой основе оценивать относительную частоту сигнала, доставляемого потребителю, как производную погрешности времени оказывается недостаточным. Следует подчеркнуть, что при внедрении сетей LTE/LTE-A возникает проблема не только синтонизации, но и синхронизации времени базовых станций. В итоге проблема отказа от старых навыков становится еще острее. Следовательно, протокол NTP может опять быть задействован для синхронизации базовых станций, но уже фазовой.

Выводы

Для того чтобы существующий опыт применить в перспективе и преодолеть ложные представления на основе неверных предположений, каждая

компанія повинна осознати свої потреби і розробити власні методики вимірювань, обґрунтувати норми і граничні співвідношення. Наприклад, на основі викладеного раніше цілеспрямовано розробити ведомственої методики оцінки якості NTP-клієнтів базових станцій, проаналізовані різні варіанти методів просторового резервування розподілених NTP-серверів. В результаті була запропонована оригінальна схема з трьох NTP-серверів, що містить найменш надійний елемент – механізм переключення резерву. Ця схема є найбільш оптимальною для побудови мереж синхронізації на основі технології LTE. В цій схемі досягається максимальна ефективність використання NTP-серверів, кожен з яких не тільки знаходиться в «гарячому резерві», а є діючим і вносить безпосередній внесок в стабільність опорних сигналів. Таким чином, була розроблена методика взаємного моніторингу розподілених первинних пристроїв синхронізації з метою їх ефективного використання при умові комбінованого застосування вбудованих і виділених мереж синхронізації.

Список использованной литературы

1. Mills D. L. Computer network time synchronization: the network time protocol. CRC Press, 2006 (Имеется перевод на

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

3. Савчук А., Шапошников В., Черняк И. Синхронизация текущего времени: протокол сетевого времени. Зв'язок, № 6, 2007. С. 10–15.

4. Fedorova N. V., Diomin D. A. Parameters of Synchronization Signals in IP/MPLS networks // Наук. записки УНДІЗ. 2016 р. №1 (41). С. 44–51.

5. Вакась В. И., Федорова Н. В., Демин Д. А. Измерения параметров стабильности сигналов синхронизации в пакетных сетях // Зв'язок. 2016 р. №1. С. 40–43.

6. Vakas V. I., Domin D. A., Manko O. O., Kulinskyi O. O. Evolution of Stability of Synchronization Parameters in Packet Networks / 2017 IEEE First Ukraine Conference on electrical and computer engineering (UKRCON) May 29 – June 2, 2017, Proceedings. Kyiv, Ukraine, 2017. P. 886–889.

7. Vakas V. I., Domin D. A., Kulinskyi O. O. Monitoring of stability of synchronization parameters in LTE network / 2th international conference on Advanced information and communication technologies – 2017 (AICT - 2107) 4–7 July, 2017, Proceedings. L'viv, Ukraine, 2017. P. 201–204.

Рецензент: доктор техн. наук, ст. науч. сотрудник Ю. В. Мельник, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.

V. I. Vakas, N. V. Fedorova, D. O. Diomin, O. V. Senkov

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ NTP У СУЧАСНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

У статті розглянуто протокол NTP (Network Time Protocol), який широко використовується на мережах зв'язку для забезпечення обладнання мітками точного часу. Наведено можливості мережного протоколу NTP, який можливо застосувати також і для синхронізації обладнання. Розглянуто планування підмереж на основі протоколу NTP. Системне планування підмереж NTP, навіть для великих мереж, не складніше, ніж проектування послуг на основі інших підмереж (пошта або служба доменних імен), але в розподілі часу є деякі специфічні особливості. Є кілька критеріїв проектування, як правило, суперечливих: забезпечення заданої точності, стійкий рахунок часу в умовах малоімовірних відмов і перевантажень, мінімізація залежності від параметрів і розміщення серверів, простота і зручність конфігурації клієнтів.

У статті наведено також методи моніторингу якості опорних сигналів синхронізації.

Ключові слова: NTP (Network Time Protocol); синхронізація; пакетні мережі; вимірювання параметрів стабільності; PDV (Packet Delay Variation); система моніторингу.

V. I. Vakas, N. V. Fedorova, D. O. Diomin, O. V. Senkov

PROSPECTS OF USING NTP PROTOCOL IN MODERN COMMUNICATIONS NETWORKS

In article the NTP protocol (Network Time Protocol) which is widely used on communication networks for providing the equipment with tags of the exact time is considered. Possibilities of the network NTP protocol which is possible for applying as well to synchronization of the equipment are given. Planning of subnets on the basis of the NTP protocol is considered. System planning of subnets of NTP is not even more difficult for big networks, than design of services on the basis of other subnets (mail or service of domain names), but in distribution of time there are some specific features. There are several design criteria, as a rule, of contradictory: ensuring the set accuracy, the steady account of time in the conditions of improbable refusals and overloads, minimization of dependence on parameters and placement of servers, simplicity and convenience of configuration of clients. Also methods of monitoring of quality of basic signals of synchronization are presented.

The original scheme consisting of three PTP servers, which does not contain the most unreliable element — the mechanism for switching to the reserve proposed in the article. The proposed scheme is the most optimal for building synchronization networks for 4G technology. Maximum efficiency of using PTP servers achieved in this scheme. Each of the servers is not just in «hot standby», but is active and it contributes directly to the stability of the reference signals.

The method of mutual monitoring of the distributed primary devices of synchronization with the purpose of their effective use on condition of the combined use of the built-in and allocated networks of synchronization is developed.

Keywords: NTP (Network Time Protocol); synchronization; packet networks; measurement of stability parameters; PDV (Packet Delay Variation); monitoring system.