



УДК 006.92:531.76

Служба єдиного часу і еталонних частот України. Синхронізація часу з використанням Інтернет протоколів NTP і PTP: стан та перспективи розвитку

В.В. Солдатов*Національний науковий центр «Інститут метрології», вул. Мירוносицька, 42, 61002, Харків, Україна
time.metrology@ukr.net***Анотація**

Статтю присвячено розгляду питань синхронізації часу з використанням Інтернет протоколів NTP і PTP. Ці питання розглядаються на прикладі стану справ та перспектив розвитку Служби єдиного часу і еталонних частот (далі Служба часу і частоти) стосовно розповсюдження часу і частоти мережею Інтернет та підвищення надійності й завадостійкості усієї системи в цілому. У зв'язку з розвитком інформаційних технологій та систем зв'язку 3G, 4G, 5G синхронізація мереж стала більш важливою, ніж будь-коли до цього часу. Потреба в синхронізації для деяких галузей економіки впритул наблизилась до існуючих можливостей. На сьогодні в Україні існує декілька можливостей синхронізації пристроїв: мережею Інтернет, за протоколами PTP, NTP та локально за допомогою ГНСС. Останній варіант дає високу точність синхронізації до 40 нс, але має великий недолік: слабку завадостійкість. На думку деяких фахівців, наша залежність від GPS стає дуже небезпечною, з огляду на виняткову ненадійність цієї технології. Проблема в тому, що сигнал із супутника дуже слабкий, і заглушити його надзвичайно легко, якщо генерувати шум на тій же частоті. Одночасно у випадку зростання потреб пропускні спроможності наявного обладнання NTP і PTP серверів будуть не в змозі обробити усі запити. Це вимагає серйозної реорганізації та проведення організаційних заходів, таких як, по-перше: винесення вузлів синхронізації з часом UTC (UA) національним еталоном часу України; по-друге: розвиток керованих і контрольованих Службою часу і частоти України NTP і PTP серверів як альтернативи GPS синхронізації — найкращий шлях для розвитку Служби часу і частоти.

Ключові слова: контрольні-коригувальні станції; еталон часу і частоти; шкала часу; протоколи NTP і PTP; синхронізація мережі; принципи GPS; система активних перешкод GPS.

Отримано: 08.08.2019

Відредаговано: 19.09.2019

Схвалено до друку: 20.09.2019

Вступ

З моменту появи людської цивілізації питання точного часу і синхронізації різних годинників та процесів завжди було актуальним.

Щоб не запізнитися, наприклад, на зустріч або літак, людина дивиться на годинник і коригує свої дії, щоб прийти вчасно. А що буде, якщо годинник людини відстає, а у того, з ким вона зібралася зустрітися, навпаки — поспішає? Вони обоє прийдуть вчасно за своїми годинниками, але не зустрінуться, бо один прийде раніше, а інший пізніше. Раніше, щоб такого не траплялося, в містах встановлювали годинники на високих будівлях, за якими всі жителі міста могли синхронізувати свої годинники. У свою чергу, міський годинник синхронізувався зі сходом сонця або проходженням певної зірки через мітку. До певного моменту цього було достат-

ньо, і нічого точнішого не існувало. Але прогрес не стоїть на місці, і, пройшовши великі етапи розвитку (маятник Гюйгенса з напівперіодом коливань, рівним 1 с, кварцові годинники і квантові стандарти), людство створило мережу Інтернет, не використовувати можливості якої було б нерозумно. Та й сама мережа, і пристрої, які її становлять, і навіть звичайна електронна пошта вимагають точного часу. Погодьтеся, отримувати листи з датою отримання ще до їх відправлення некомфортно, та й узагалі робота мережі Інтернет вимагає синхронізації всіх потоків інформації і частот, на яких вони розходяться по світу зі щоразу більшою точністю. Розвиток Інтернету, речей, пристроїв, робота яких ґрунтується на виконанні будь-яких завдань за певним графіком, вимагає синхронізації.

© ННЦ «Інститут метрології», 2019

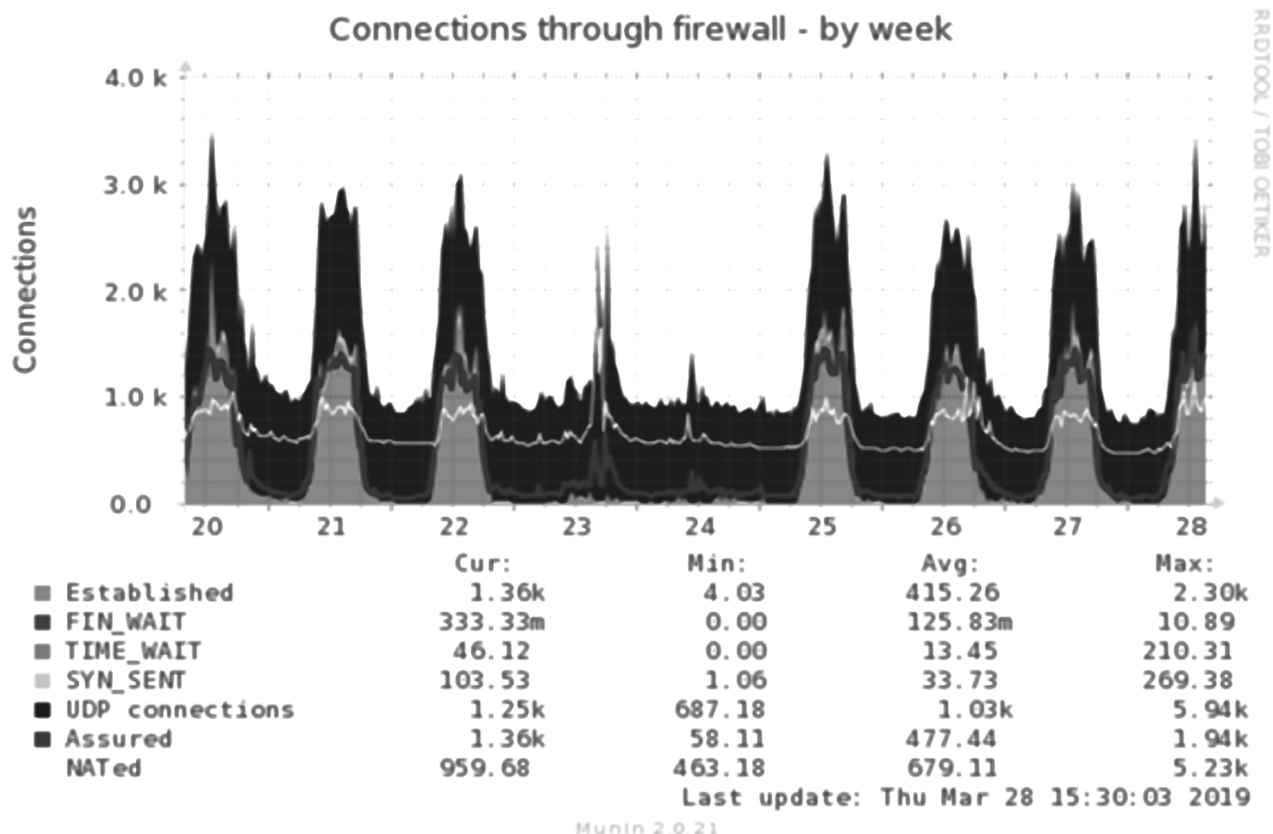


Рис. 1. Навантаження на обладнання NTP

Стан справ

Точна синхронізація мережі сьогодні стає дедалі важливішою, у міру того як усе більше людей отримують доступ до голосових, відео-та ігрових додатків у режимі реального часу. У зв'язку зі стрімким технологічним розвитком мережі Інтернет і систем зв'язку 3G, 4G, 5G вимоги до них стають усе більш суворими. Детальніше з ними можна ознайомитися в рекомендаціях ITU-T G.710, G.810, G.811, G.812, G.813, G.8275.2, G.8272 та ін. [1]. Високоточна синхронізація також необхідна в таких різних галузях, як метрологія, системи оборони й космічні технології.

Для визначення точності або значущості того чи іншого NTP сервера використовують параметр stratum (стратум) — ціле число від 1 до 16. Стратум 1 відповідає серверам, які мають безпосередньо зв'язок з еталоном часу, стратум 2 — сервер, який отримує відомості про час від серверів першого рівня стратума і т. д. При побудові ланцюжка зв'язків значення стратума збільшується на 1.

На сьогодні в Службі єдиного часу і еталонних частот України існують два сервери NTP рівня stratum 1 і вони обробляють понад 86 мільйонів запитів на добу, або більш ніж 1000 на секунду (рис. 1), як від систем обліку електроенергії, так і від інших споживачів, що наочно показує велику потребу в синхронізації та стабільному за-

безпеченні потреб країни в синхронізації з NTP сервером UTC (UA) Служби часу і частоти і роботи цієї служби в цілому.

Всього в Україні в пулі NTP є 58 серверів різних рівнів: stratum 1 — 8 адрес, stratum 2 — 5 адрес, інші — з більш низьким рівнем синхронізації [2]. Тільки 2 сервери stratum 1 отримують дані від квантових стандартів, інші — від приймачів GPS сигналів, що залежать від заводої обстановки. Рис. 2 відображає як просто відсутність сеансів зв'язку, так і зміщення часу за всіма частотами GPS. Також різні організації у своєму складі мають власні сервери, які синхронізуються з сервером UTC (UA) і мають локальні реалізації своїх шкал.

Для порівняння, в Німеччині 787 серверів NTP [2], а в Україні — 58 серверів, що є недостатнім. Сервери необхідні для коректної роботи “Держаероруху”. Управління повітряним рухом було одним із перших додатків для NTP, єдиного енергетичного ринку України, систем зв'язку та будь-яких систем, що вимагають тактування.

Служба часу і частоти ННЦ “Інститут метрології” має два сервери NTP рівня stratum 1:
 ntp.metrology.kharkov.ua;
 ntp1.metrology.kharkov.ua
 (Symmetricom SyncServer S250i).

Списки серверів класу stratum 1 і stratum 2 України наведено в табл. 1 і 2.

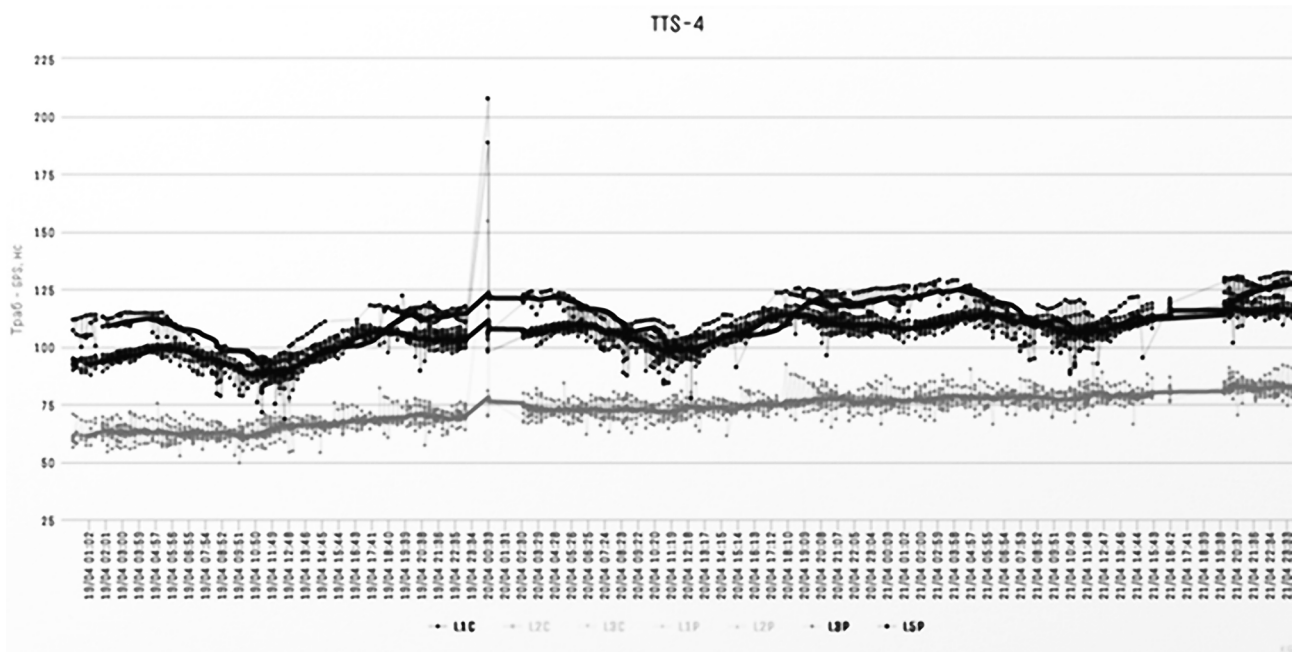


Рис. 2. Контроль радіолокаційного поля GPS

Таблиця 1

Список серверів класу stratum 1 України [2]

UA	Ukraine, Kharkiv, str. Mironositska, 42	Service of Universal Time and Reference Frequencies, Ukraine	Ukraine	Відкритий доступ	Yes	2019-02-19T19:50: 27Z
UA	ISP ColoCall, DC Bunker, Kyiv		Central and Eastern Europe	Open Access	Yes	2011-08-26T10:37: 27Z
UA	Kyiv, Ukraine	SELF	World wide	Open Access	Yes	2017-07-02T21:58: 36Z
UA	Odessa, Ukraine		Ukraine	Open Access	No	2016-03-17T11:22: 17Z
UA	Odessa, Ukraine		Central and Eastern Europe	Open Access	Yes	2016-03-14T13:49: 18Z
UA	Ukraine, Kharkiv, str. Mironositska, 42	Service of Universal Time and Reference Frequencies, Ukraine	Ukraine	Open Access	Yes	2019-02-19T20:15: 41Z
UA	ISP ColoCall, Kyiv, Ukraine		Central and Eastern Europe	Open Access	Yes	2011-08-27T20:08: 11Z

Таблиця 2

Список серверів класу stratum 2 України [2]

UA	Kotsybinske	PE Lysenko	Ukraine	OpenAccess	Yes	2017-07-03T08:55: 6Z
UA	Rivne, Ukraine	Campus Networks	UA, RU, PL	OpenAccess	No	2013-04-26T13:35: 04Z
UA	Rivne, Ukraine	Campus Networks	UA, RU, PL	OpenAccess	No	2013-04-26T13:35: 30Z
UA	Vinnitsia	IP- Connect LLC	Worldwide	OpenAccess	Yes	2019-03-24T16:42: 09Z
UA	Hetzner DE		Hetzner DE	OpenAccess	Yes	2017-10-28T00:44: 58Z

Протокол NTP (RFC 1305) передбачає передачу UDP-повідомлення, що містить 64-бітові тимчасові мітки, здатний досягти точності 10 мс (1/100 с) при роботі через Інтернет і до 0,2 мс (1/5000 с) і краще в локальних мережах.

Перспективи

Державний первинний еталон одиниць часу і частоти постійно оновлюється і технічно пере-

оснащується, і це не данина моді, а нагальна потреба, від якої залежить можливість країни розвиватися і рухатися в ногу з часом. Тому потреба в синхронізації буде тільки рости.

Виходячи з вищенаведеного, можна зробити висновок, що і далі в осяжному майбутньому синхронізація часу через мережу Інтернет буде відігравати значну роль для забезпечення надійної, безпечної і простої в застосуванні системи синхронізації часу, яка при цьому не вимагає окремо-

го каналу зв'язку по кабелю, тобто скорочуються витрати і не потрібна організація окремої мережі синхронізації часу на великі відстані. Протокол NTP буде затребуваний як наявним, так і перспективним обладнанням. Зі зростанням потреби в точності на заміну приходять більш точний протокол РТР IEEE 1588–2008 для забезпечення точним часом споживачів, потреби яких не покриває протокол NTP.

Одночасно з технічними проблемами синхронізації виникають організаційні проблеми. Україна — досить велика країна: від Харкова до Львова більше 1000 км і більше 20 проміжних пунктів посилення і ретрансляції мережі, що вносять затримки, які мають коваріації, плаваючі залежності від часу доби та безліч інших факторів. Зростання потреб уже зараз перевищує пропускну спроможність наявного обладнання і вимагає серйозної реорганізації та проведення організаційних заходів, таких як винесення вузлів синхронізації керованих і контрольованих Службою єдиного часу і еталонних частот України NTP і РТР серверів.

Давайте розглянемо декілька варіантів. Створення мережі серверів NTP РТР із синхронізацією по GPS — цей варіант дає високу точність синхронізації.

На борту супутників “Галілео” встановлені квантові годинники, вони дорогі й винятково точні. Кожний супутник має по 4 квантові годинники, щоб можна було гарантувати, що у всякому разі хоча б один працює обов'язково. Цей підхід дозволяє супутникам “Галілео” продовжувати працювати. На 18 супутниках, які вже на орбіті, 9 пристроїв відліку часу припинили роботу. Три з них традиційні — рубідієві годинники; шість інших більш точні — водневі мазери, які були розроблені для того, щоб дати системі “Галілео” поліпшену точність у порівнянні з американською системою GPS.

За оцінкою журналу GPS World, зараз у світі перебувають у використанні понад мільярд приймачів GPS, і більше 90 % з них використовуються тільки для отримання сигналів точного часу [3]. Попри високу точність, ці системи мають великий недолік, такий як незахищеність навіть від слабких перешкод. У січні 2007 року в Сан-Дієго почали відбуватися дивні події: перестали працювати банкомати, пропав стільниковий зв'язок, порушилася робота системи моніторингу рейсів в аеропорту тощо. Хаос тривав дві години, поки не з'ясувалася причина: біля узбережжя стояли два військові кораблі ВМС США, які здійснювали навчальні відпрацювання дій в умовах втрати зв'язку. Для цього було активовано систему активних перешкод GPS. Помилково сигнали супутникового зв'язку заглушили не тільки на кораблях, а й у місті в цивільних осіб. Той випадок показав, наскільки важливою є GPS для

працездатності різних служб. Вежі стільникового зв'язку, електричні мережі, інформаційні банківські системи і навіть фондова біржа — всі вони покладаються на сигнали точного часу з супутників GPS [3].

На думку деяких фахівців, наша залежність від GPS стає дуже небезпечною, з огляду на виняткову ненадійність цієї технології. Проблема в тому, що сигнал із супутника дуже слабкий, і заглушити його надзвичайно легко, якщо генерувати шум на тій же частоті. Сигнал можна заглушити примітивним пристроєм (рис. 3) [3].



Рис. 3. Пристрій генерування завад

Зразки нового покоління таких пристроїв здатні не просто глушити, а і спотворювати сигнали GPS. Шахраї можуть використовувати це з метою здійснення деяких великих афер (наприклад, усі заявки на фондовій біржі маркуються сигналами точного часу, так що саботаж у мережі конкурента дозволить маніпулювати котируваннями акцій або просто блокувати відправку пошти).

Результуюча похибка GPS визначається сумою похибок від різних джерел. Внесок кожного з них варіюється залежно від атмосферних умов і якості обладнання. Крім того, точність може бути цілеспрямовано знижена Міністерством оборони США в результаті установки на супутниках GPS так званого режиму S/A (“Selective Availability” — обмежений доступ) [4]. Цей режим розроблено для того, щоб не дати можливому противнику тактичної переваги у визначенні місця розташування за допомогою GPS. Коли і якщо цей режим встановлено, він створює найбільш сутєву компоненту сумарної похибки GPS. Усе вищеперелічене щодо синхронізації з використанням ГНСС створює ряд труднощів, неприйнятних для незалежної держави.

Альтернативою GPS синхронізації і найкращим шляхом для розвитку Служби єдиного часу і еталонних частот є створення комплексу синхронізації та розвитку мережі NTP (Network Time Protocol) і РТР серверів із провідними серверами, синхронізованими з часом UTC (UA) національним еталоном часу України.

Зрозуміло, що ні DAYTIME, ні TIME не можуть забезпечити необхідну точність синхронізації часу. У зв'язку з цим у 1985 р. Девідом Л. Міллом з університету Делавера було розроблено мережевий протокол синхронізації часу NTP, точніше його початкову, пізніше названу нульовою (NTPv0) версію, описану в RFC 958 [5].

Протокол NTP використовує алгоритм Марзулло (запропонований Кейтом Марзулло з Університету Каліфорнії, Сан-Дієго), включаючи таку особливість, як облік часу передачі. Версія 4 протоколу здатна досягати точності 10 мс при роботі через Інтернет і до 0,2 мс — всередині локальних мереж.

Протокол NTP удосконалювався неодноразово: NTPv2 (RFC 1119, 1989 р.) [6], NTPv3 (RFC 1305, 1992 р.) [7], NTPv4 (RFC 2030, 1996 р.) [8].

Робота алгоритму NTP досить проста і може бути проілюстрована задачею Реймонда М. Смалліана (1978 р.) [9]:

У одного чоловіка не було наручного годинника, але зате вдома висів точний настінний годинник, який він іноді забував заводити. Одного разу, забувши вчоргове завести годинник, він пішов у гості до свого друга, провів у того вечір, а повернувшись додому, зумів правильно поставити годинник. Яким чином йому вдалося це зробити, якщо час у дорозі заздалегідь відомий не був?

Відповідь така: *виходячи з дому, чоловік заводить годинник і запам'ятовує, в якій позиції перебувають стрілки. Прийшовши до друга і йдучи з гостей, він відзначає час свого приходу і відходу. Це дозволяє йому дізнатися, скільки він перебував у гостях. Повернувшись додому і глянувши на годинник, чоловік визначає тривалість своєї відсутності. Віднімаючи від цього часу той час, який він провів у гостях, чоловік дізнається час, витрачений на дорогу туди і назад. Додавши до часу виходу з гостей половину часу, витраченого на дорогу, він отримує можливість дізнатися час приходу додому і перевести відповідним чином стрілки свого годинника.*

Таким чином, за чотирма даними: часом відправлення запиту (за годинником клієнта); часом отримання запиту сервером (за годинником сервера); часом відправлення відповіді сервером (за годинником сервера); часом отримання відповіді (за годинником клієнта) можна знайти час запиту в дорозі туди і назад, а потім — відкоригувати локальний час.

При цих розрахунках ми користуємося трьома важливими припущеннями:

1. Пакет проходить шлях від клієнта до сервера і назад за рівний час.
2. Швидкість ходу годинників клієнта і сервера однакова.
3. На обчислення нового локального часу не йде додатковий час.

Насправді всі ці припущення, суворо кажучи, невірні, й отримати точне значення серверного часу за допомогою одного NTP запиту неможливо. Тому для синхронізації годинників зазвичай використовується кілька NTP серверів, на які постійно надсилаються запити. Накопичуючи статистику за тривалий час, математичними методами можна визначити точність показань кожного з серверів, швидкість ходу годинника на кожному з них і т. п. величини, використовуючи які, можна домогтися математично доказової точності синхронізації. Конкретні використовувані методи описані в RFC і надзвичайно складні. До речі, через третє припущення, використання синхронізації по NTP за несиметричними каналами зв'язку (супутниковими тощо) є неправомірним.

Крім власне обміну показами часу, в NTP, починаючи з версії 2, включено механізм обміну метаінформацією у вигляді “керуючих повідомлень” NTP. Формат самих керуючих повідомлень не задано в RFC, але існуючий стандарт де-факто дозволяє з їх допомогою запитувати у NTP сервера такі параметри, як адреси всіх його клієнтів і вищих серверів, затримку до кожного з них і т. п. [2].

NTP протокол дозволяє домогтися високоточної синхронізації часу. В мережі синхронізуються сервери, кожен з яких отримує свідчення з декількох джерел, обробляє їх і передає далі. Він застосовується лише всередині невеликих локальних мереж і мереж із малими затримками пакетів; в Інтернеті він практично непридатний через велику (і, що важливо, випадкову) затримку пакетів, яка на порядки перевершує різниці в показах годинників клієнта і сервера. Така NTP мережа характеризується масштабністю і стійкістю до збоїв — навіть у разі відмови годинника одного з серверів інші негайно це помітять і перестануть використовувати його свідчення.

Принцип, подібний до NTP, використовує і протокол РТР, тільки з більш високими вимогами до точності. Для забезпечення можливості синхронізації часу в мікросекундному діапазоні РТР спирається на проставлення міток часу на апаратному рівні [10].

Висновки

Альтернативою GPS синхронізації і найкращим шляхом для розвитку Служби єдиного часу і еталонних частот, для забезпечення країни часочастотними даними необхідно створення комплексу контрольно-коригувальних станцій синхронізації, розвиток мережі NTP (Network Time Protocol) і РТР серверів із провідними серверами, синхронізованими з часом UTC (UA) національним еталоном одиниці часу України з точністю не нижче за stratum 1.

Служба единого времени и эталонных частот Украины. Синхронизация времени с использованием Интернет протоколов NTP и PTP: состояние и перспективы развития

В. В. Солдатов

Национальний научний центр "Інститут метрології", ул. Миросицька, 42, 61002, Харків, Україна
time.metrology@ukr.net

Аннотация

Статья посвящена рассмотрению вопросов синхронизации времени с использованием Интернет протоколов NTP и PTP. Эти вопросы рассматриваются на примере положения дел и перспектив развития Службы единого времени и эталонных частот (далее Служба времени и частоты) в части распространения времени и частоты по сети Интернет и повышения надежности и помехоустойчивости всей системы в целом. В связи с развитием информационных технологий и систем связи 3G, 4G, 5G синхронизация сетей стала более важной, чем когда-либо до сих пор. Потребность в синхронизации отраслей экономики вплотную подошла к существующим возможностям. На сегодняшний день в Украине существует несколько возможностей синхронизации устройства: по сети Интернет, по протоколам PTP, NTP и локально с помощью ГНСС. Последний вариант дает высокую точность синхронизации до 40 нс, но имеет большой недостаток: слабую помехоустойчивость. По мнению некоторых специалистов, наша зависимость от GPS становится очень опасной, учитывая исключительную ненадежность этой технологии. Проблема в том, что сигнал со спутника очень слаб, и заглушить его чрезвычайно легко, если генерировать шум на той же частоте. Одновременно в случае роста потребностей пропускные способности существующего оборудования NTP и PTP серверов будут не в состоянии обработать все запросы. Это требует серьезной реорганизации и проведения организационных мероприятий, таких как: вынесение узлов синхронизации со временем UTC (UA) национальным эталоном времени Украины; развитие управляемых и контролируемых Службой времени и частоты Украины NTP и PTP серверов как альтернативы GPS.

Ключевые слова: контрольно-корректирующие станции; эталон времени и частоты; шкала времени; протоколы NTP и PTP; синхронизация сетей; принципы GPS; система активных помех GPS.

The Service of Universal Time and Reference Frequencies of Ukraine. Time synchronization with the use of the Internet NTP and PTP: state and development prospects

V. Soldatov

National Scientific Centre "Institute of Metrology", Myronosytska Str., 42, Kharkiv, 61002, Ukraine
time.metrology@ukr.net

Abstract

The article deals with the issues of time synchronization using the Internet protocols NTP and PTP. These issues are considered as an example of the state of affairs and the prospects of development of the Service of Universal Time and Reference Frequencies (hereinafter referred to as the Time and Frequency Service) in terms of the dissemination of time and frequency via the Internet and increase of the reliability and immunity of the entire system as a whole. With the development of information technology and communication systems 3G, 4G, 5G, network synchronization has become more important than ever before. The need for synchronization for some sectors of the economy has come close to existing possibilities. Today, there are several options for device synchronization in Ukraine: via the Internet, using PTP, NTP, and locally using GNSS. The latter option provides high-precision synchronization up to 40 ns, but has a major disadvantage: poor noise immunity. According to some experts, our dependence on GPS is becoming very dangerous, given the extreme

unreliability of this technology. The problem is that the signal from the satellite is very weak, and it is extremely easy to muffle it with generating noise at the same frequency. At the same time, as the needs increase, the bandwidth of existing NTP and PTP servers will not be able to process all requests. This requires a major reorganization and implementation of organizational measures, such as: firstly, the rendering of the nodes of time synchronization with UTC (UA) by Ukraine's national measurement standard of time, and secondly, the development of NTP and PTP servers controlled by the Time and Frequency Service of Ukraine as an alternative to GPS synchronization, that is the best way to develop the Time and Frequency Service.

Keywords: control and correction stations; measurement standard of time and frequency; time scale; NTP and PTP protocols; network synchronization; GPS principles; GPS active interference system.

Список літератури

1. Recommendation ITU. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.810/en> (дата звернення: 05.08.19).
2. The NTP.Servers Web. URL: <http://support.ntp.org/bin/view/Servers/WebHome> (дата звернення: 05.08.19).
3. Алізар А. Чим небезпечні дешеві GPS-глушилки. URL: https://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=auto&tl=uk&u=https://habr.com/ru/post/115148/ (дата звернення: 05.08.19).
4. GPS Overview. URL: <http://geodesy.hartrao.ac.za/site/en/resources/gps-overview.html> (дата звернення: 05.08.19).
5. RFC 958. Network Time Protocol (NTP). URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc958> (дата звернення: 05.08.19).
6. RFC 1119. Специфікація протоколу мережевого часу (версія 2). URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1119> (дата звернення: 05.08.19).
7. RFC 1305. Специфікація протоколу мережі (версія 3). Специфікація, Impl. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1305> (дата звернення: 05.08.19).
8. RFC 2030. Простий протокол мережевого протоколу (SNTP). Версія 4 для IPv. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2030> (дата звернення: 05.08.19).
9. Смаллиан Р.М. Как же называется эта книга? Москва: Наука, 1978. С. 9–14.
10. IEEE 1588. Precision Time Protocol (PTP). URL: <https://habr.com/ru/post/163253/> (дата звернення: 05.08.19).

References

1. Recommendation ITU. Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.810/en> (accessed 05.08.19).
2. The NTP.Servers Web. Available at: <http://support.ntp.org/bin/view/Servers/WebHome> (accessed 05.08.19).
3. Alizar A. Chym nebezpechni deshevi GPS-hlushylky [What is dangerous about cheap GPS jammers]. Available at: https://translate.google.com/translate?hl=ru&prev=_t&sl=auto&tl=uk&u=https://habr.com/ru/post/115148/ (accessed 05.08.19).
4. GPS Overview. Available at: <http://geodesy.hartrao.ac.za/site/en/resources/gps-overview.html> (accessed 05.08.19).
5. RFC 958. Network Time Protocol (NTP). Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc958> (accessed 05.08.19).
6. RFC 1119. Network Time Protocol Specification (Version 2). Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc1119> (accessed 05.08.19).
7. RFC 1305. Network Protocol Specification (Version 3). Specification, Impl. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc1305> (accessed 05.08.19).
8. RFC 2030. Simple Network Protocol (SNTP). Protocol Version 4 for IPv. Available at: <https://tools.ietf.org/html/rfc2030> (accessed 05.08.19).
9. Smullyan R.M. Kak zhe nazyivaetsya eta kniga? [What is the name of this book?] Moscow, Nauka Publ., 1978, pp. 9–14 (in Russian).
10. IEEE 1588. Precision Time Protocol (PTP). Available at: <https://habr.com/ru/post/163253/> (accessed 05.08.19).