

УДК 621.373-187.4; 621.39.072.9

ЕЛИССАВИ КАМАЛЬ КХАЛИФА А.,

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

**ПРИНЦИПЫ СЕТЕВОЙ синхронизации В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ МАКРОСЕТЯХ**

**Рассмотрены принципы распределения сетевой синхронизации в мультисервисной макросети мобильного оператора. Указаны основные, а также дополнительные способы синхронизации в мультисервисной макросети мобильного оператора. Представлены базовые конфигурации сетей синхронизации с использованием протокола PTP.**

**Ключевые слова:** мультисервисная макросеть; сетевая синхронизация; принципы сетевой синхронизации; сетевые элементы; конфигурация сетей.

**Введение**

Проблема перехода от традиционных сетей с коммутацией каналов к сетям с коммутацией пакетов является одной из наиболее актуальных для операторов связи. Перспективные разработки в области IP-коммуникаций касаются прежде всего поиска комплексных решений, позволяющих при развитии сетей следующего поколения сохранять существующие подключения и обеспечивать бесперебойную работу в любой сети доступа: на инфраструктуре медных пар, по оптическим каналам, в беспроводной (WiMAX, Wi-Fi) и проводной (ETTN, PLC) сетях [1].

**Основная часть**

Прозрачная интеграция существующих и новых технологий будет способствовать обогащению пользовательского опыта и появлению целого ряда новых услуг. Активное развитие и функционирование технологий, объединяющих общество в едином пространстве, способствуют созданию мультисервисной макросети оператора [1; 2].

Для мультисервисной макросети требования к синхронизации достаточно высоки (до 500 нс). Принципы распределения сетевой синхронизации в мультисервисной макросети мобильного оператора иллюстрирует рис. 1.

Для синхронизации в мультисервисной макросети мобильного оператора используются два метода синхронизации: частотная синхронизация и фазовая/временная синхронизация. Выбор метода синхронизации зависит от типа системы.

В сетях синхронной цифровой иерархии (СЦИ) для обеспечения нормальной передачи услуг используется частотная синхронизация, предполагающая синхронизацию частот между различными сетевыми элементами. В базовых станциях (БС) для обеспечения нормальной работы радиointерфейсов используется фазовая/временная синхронизация, когда речь идет о синхронизации времени между соседними БС [3].

Для выполнения в сетях 4G сетевых операций, связанных с синхронизацией, необходимо, чтобы eNodeB (см. рис. 1) имел не только стабильную опорную частоту, но также фазовую синхронизацию и определенное время выдачи данных. Мультисервисная макросеть мобильного оператора, как правило, предоставляет источники, передающие опорные сигналы синхронизации для беспроводных БС.

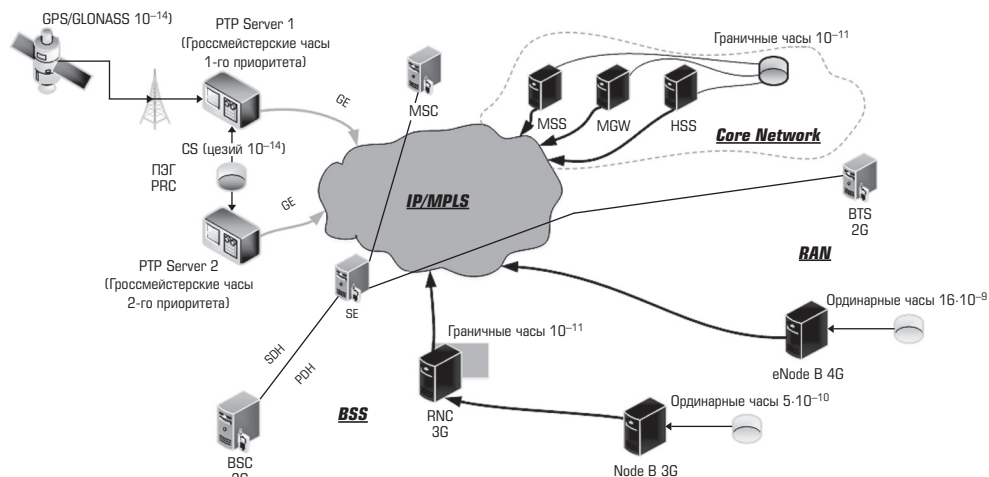


Рис. 1. Принципы распределения сетевой синхронизации в мультисервисной макросети мобильного оператора

© Елиссави Камаль Кхалифа А., 2018

При переході к технологиям 3G и 4G временная синхронизация постепенно становится основным методом синхронизации, что ведет к появлению определенных требований к мультисервисной макросети мобильного оператора в целом.

Операторы мобильной связи уже используют в своих транспортных сетях протоколы сетевой синхронизации, а именно:

- протокол **NTP** (*Network Time Protocol*), который работает на прикладном уровне и широко используется, как правило, для временной синхронизации в пакетных сетях. Но в ряде решений разных производителей оборудования (например, БС производства Ericsson) протокол NTP может быть применен и для частотной синхронизации [4];

- протокол **PTP** (*Precision Time Protocol*), согласно которому используются пакеты, помеченные временными метками. Последние служат для распространения частоты и времени/фазы, а также для обмена протоколами. Но, к сожалению, протокол PTP предназначен лишь для распространения частоты, но не решает задачу синхронизации фазы и времени. Трудность возникает из-за того, что временная информация заключена в стандартных IP пакетах и передается между узлами сети. Вариации задержек пакетов **PDV** (*Packet Delay Variation*) приводят к дрожаниям в пакетных сетях, вызывая временные неточности при восстановлении синхронизации, которое весьма проблематично, так как протокол PTP работает на том принципе, что задержка между сетевыми узлами фиксирована и симметрична, а это является редкостью в реальной мультисервисной макросети [4; 5].

Проблема более серьезна, если для транзитного соединения используются радиорелейные линии, где в отличие от проводных сетей задержки могут динамически изменяться в зависимости от типа используемой модуляции и атмосферных явлений.

Для решения проблемы определены два дополнительных типа синхронизации: сетевой граничный коммутатор PTP с часами и несколькими PTP портами — *Boundary Clock* (BC) и сетевой прозрачный коммутатор с несколькими PTP портами — *Transparent Clock* (TC).

Узел, реализующий BC, восстанавливает синхронизацию, основываясь на получаемых им временных метках. В дополнение к временным меткам BC узел требует их коррекции и надежного алгоритма фильтрации. Один из его портов функционирует в режиме Slave Clock, и от него синхронизируются часы коммутатора. Остальные порты работают в режиме Master Clock, и через них по сети от часов коммутатора синхронизируются оконечные устройства PTP или коммутаторы PTP следующего уровня. Boundary Clock не передает с одного порта на другой свой порт PTP пакеты: каждый порт коммутатора для PTP пакетов является оконечным устройством. Для прочих Ethernet пакетов он работает как стандартный сетевой коммутатор. Это означает, что реализация узла BC требует очень точного генератора цифровой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Узел BC является дорогим и сложным в реализации решением, но может выполнять точное восстановление временных меток, что необходимо для удовлетворительной синхронизации в 4G.

Узлы TC проще и дешевле реализовать, поскольку они просто переадресовывают входящие временные метки после коррекции ошибок в узле. TC не содержит часов. Для всех пакетов он работает как стандартный сетевой коммутатор. Но для PTP пакета коммутатор, кроме того, измеряет задержку передачи пакета с порта на порт и добавляет ее значение в специальное поле «Correction» этого PTP пакета. Указанная задержка учитывается устройствами Slave Clock [5].

Узел TC может повторно использовать физический уровень или переключиться на него, т. е. TC имеет дополнительную логику для поддержки точности временных меток и механизмов коррекции временной метки. Узел TC, являясь наиболее экономически эффективным решением, сводит к минимуму количество узлов BC в сети.

Сети поколения 4G заметно увеличивают использование микросот и фемтосот для обеспечения покрытия и производительности, поэтому TC здесь играет достаточно важную роль. В частности, TC хорошо подходит для синхронизации в пикосоте при уличных условиях и для синхронизации в фемтосоте в многоэтажных закрытых сооружениях.

Для пикосот TC может быть перенесен на сверхвысокие частоты (СВЧ) и миллиметровые диапазоны волн, чтобы удовлетворить требованиям 4G. Проще говоря, TC устройство соответствует модели мелкосотовой BC с минимальной стоимостью и низким энергопотреблением. Низкое энергопотребление особенно важно для операторов, предоставляющих доступ к 4G на высоких частотах с ограниченной зоной покрытия внутри помещения.

В помещении сеть доступа способна генерировать синхронизацию. В некоторых случаях GPS антенна на крыше здания генерирует пакеты для сервисов синхронизации внутри здания. При этом BC узлы должны быть стратегически развернуты по всей сети, чтобы снизить нагрузку на источник синхронизации Master Clock.

Master Clock содержит встроенные часы и PTP порт. От часов Master Clock синхронизируются другие устройства. Если время должно быть синхронизировано со всемирным временем (UTC), то часы Master Clock получают синхронизацию непосредственно от GPS (ГЛОНАСС) или атомных часов, и такое устройство называется Grandmaster [5].

**Конфигурации сетей с PTP.** В простейшей конфигурации сеть включает в себя два устройства: *Grandmaster* и *Slave* (рис. 2).

Сервер PTP Grandmaster синхронизируется по сигналу GPS (ГЛОНАСС), а к его PTP порту подключается единственный клиент PTP Slave. Часы клиента синхронизируются с мировым временем UTC с погрешностью  $\pm 100$  нс, а частота опорного генератора 10 МГц клиента устанавливается с погрешностью до  $\pm 1e-12$ . Для контроля синхронизации Master и Slave имеют выходы сигналов 1PPS и 10 МГц. Стабильность синхронизации может быть проверена измерителем вандера или оценена по фазам импульсов 1PPS при помощи осциллографа.

При большем количестве клиентов возможно разделение нагрузки дополнительным коммутатором Boundary Clock. Аналогично могут быть построены сети и с более сложной топологией (рис. 3).

### Выводы

1. Активное эволюционное развитие технологий ведет к созданию мультисервисных макросетей, целью которых является решение принципиально новых задач. Согласно концепции «неразрушающего» перехода от традиционных сетей с коммутацией каналов к сетям с коммутацией пакетов подобные решения должны позволять точно переводить отдельные сегменты на новые технологии без кардинальной смены всей структуры сети.

2. Для мультисервисной макросети требования к синхронизации достаточно высоки. Для синхронизации в мультисервисной макросети мобильного оператора используются два метода синхронизации: частотная синхронизация и фазовая/временная синхронизация.

3. При ограниченных капитальных вложениях мобильные операторы мультисервисной макросети могут применять эффективные и менее дорогостоящие сетевые элементы, которые используют ТС узлы. Этот стратегический подход к сетевой синхронизации позволит быстро организовать малые соты, улучшающие покрытие и емкость экономически эффективным образом.

4. Наиболее экономически выгодной стратегией для мультисервисных макросетей является развертывание распределенных узлов ТС и ВС (только в случае необходимости). Использование ТС увеличивает точность синхронизации в наносекундном диапазоне.

### Список использованной литературы

1. Федорова Н. В., Пирогова Н. В. Макросеть как объединение технологий 2G, 3G, 4G и 5G / Региональный семинар МСЭ для стран СНГ и Грузии «Тенденции развития конвергентных сетей: потс NGN, 4G и 5G»: материалы конф. (17–18 ноября 2016). Киев, 2016. С. 137–138.

2. Дмитрий Чижиков. Мультисервисные сети следующего поколения: потребности рынка, принципы, мониторинг [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iksmedia.ru>.

3. Вакась В. И., Федорова Н. В. Практическая реализация синхронизации на сетях IP/MPLS. // Зв'язок. 2013. № 1. С. 23–27.

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

5. Вакась В. И., Федорова, Н. В. Методы обеспечения синхронизацией базовых станций от разных иерархических уровней сети с коммутацией пакетов // Вісник ДУІКТ. 2012. Т. 10, № 4. С. 91–96.

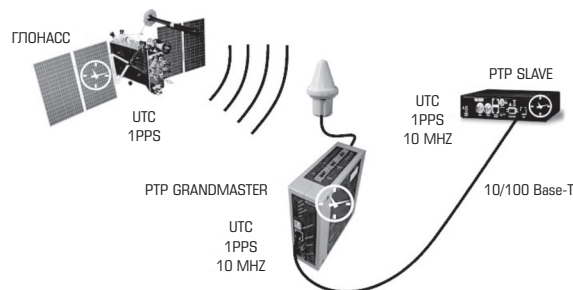


Рис. 2. Принцип простейшей конфигурации сетевой синхронизации

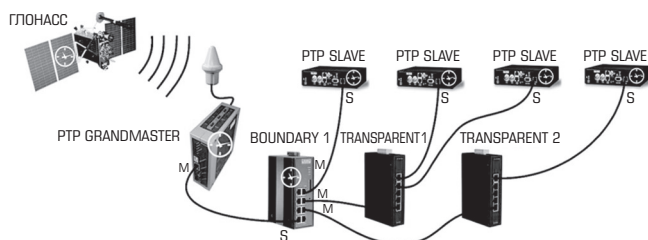


Рис. 3. Принцип конфигурации сетевой синхронизации для сложных сетевых топологий

Рецензент: доктор техн. наук Н. В. Федорова, Государственный университет телекоммуникаций, Київ.

Elissawi Kamal Khalifa A.

### ПРИНЦИПИ МЕРЕЖНОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МАКРОМЕРЕЖАХ

Розглянуто принципи здійснення мережної синхронізації в мультисервісній макромережі мобільного оператора. Визначено основні та додаткові способи синхронізації в зазначеній мережі. Наведено базові конфігурації мереж синхронізації з використанням протоколу PTP.

**Ключові слова:** мультисервісна макромережа; мережна синхронізація; принципи мережної синхронізації; мережні елементи; конфігурація мереж.

Elissawi Kamal Khalifa A.

### PRINCIPLES OF NETWORK SYNCHRONIZATION IN MULTISERVICE MACRO NETWORKS

The principles of the distribution of network synchronization in the multiservice macro network of the mobile operator are considered. The main methods of network synchronization are indicated. Additional types of synchronization in the multi-service macros-network of the mobile operator are given. Basic configurations of synchronization networks using PTP are shown.

**Keywords:** multiservice macro network; network synchronization; principles of network synchronization; network elements; network configuration.

УДК 621.398.96

Є. О. ЛОСЄВ, аспірант,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИНТЕЗОВАНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ КОНКРЕТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглянуто методику розрахунку завадостійкості синтезованого алгоритму для конкретних систем при використанні багатопозиційних сигналів.

Запропонований алгоритм когерентної обробки багатопозиційних АФМ сигналів особливо зручний для багатоканальних (багаточастотних) систем з ортогональними каналними сигналами, оскільки в цих системах для розділення ортогональних сигналів використовуються відомі процедури обчислення проєкцій прийнятого сигналу на два взаємно ортогональні опорні коливання з довільною початковою фазою.

Активне становлення цифрових мереж як альтернативи існуючим аналоговим каналам зв'язку має на меті забезпечення техніко-технологічного розвитку телекомунікацій. Статтю присвячено дослідженню та розробці методів оптимального прийому багатопозиційних сигналів демодуляторами багатоканальних модемів, котрі сприяють поліпшенню показників якості передавання інформації в цифровій формі каналами зв'язку різних типів.

**Ключові слова:** завадостійкість систем; багатопозиційні сигнали; ансамблі дискретних сигналів; ансамблі двовимірних сигналів; відношення сигнал/шум; коефіцієнт завадостійкості; рівномірні сигнали; імовірність помилки.

### Вступ

Оцінюючи нинішній стан телекомунікаційних мереж України, доходимо незаперечного висновку: перспективи розвитку галузі визначаються тим, наскільки продумано й зважено вдасться об'єднати наявні можливості традиційних мереж із перспективними можливостями телекомунікацій на базі новітніх технологій. Вивчення досвіду провідних країн дає змогу вдосконалити системи управління та інформаційного забезпечення всіх галузей народного господарства країни.

Вітчизняна галузь зв'язку останніми роками суттєво змінила структуру і зміст розв'язуваних завдань. Складність сучасних проблем полягає в стрімкому зростанні обсягів інформації, що підлягає аналізу та обробці, коли йдеться про задово-

лення нагальних потреб щодо своєчасного, повного й достовірного прийняття рішення в небагато стислі терміни. Для вирішення проблем розвитку та вдосконалення єдиної національної системи зв'язку необхідною умовою є сучасна телекомунікаційна мережа, в архітектурі якої вирішальну роль відіграє комп'ютер, а невід'ємною частиною комунікаційного обладнання є модем.

Одним із найважливіших питань різномірної телекомунікаційної мережі є цифровізація місцевих (міських і сільських) мереж зв'язку. Саме багатоканальні модеми за своїми параметрами найбільш адекватні реальним каналам цих мереж.

### Основна частина

У сучасних системах передавання інформації використовуються різноманітні ансамблі дискрет-

© Є. О. Лосєв, 2018