

СЕТИ 5G: распределение сигналов синхронизации на оптическом транспортном уровне

Часть 1. Общие требования к синхронизации сетей мобильной (сотовой) связи 5G

С. Коган, к.т.н., советник генерального директора компании "Т8"
по формированию технической стратегии / kogan@t8.ru

DOI: 10.22184/2070-8963.2022.104.4.50.59

Синхронизация на сетях сотовой связи позволяет гарантировать, что устройства могут беспрепятственно подключаться к базовой станции и обеспечивать плавную передачу обслуживания при перемещении пользователя из одной соты в другую. В цикле статей анализируются общие требования к синхронизации сетей мобильной связи 5G (часть 1), подробно рассматривается порядок распределения сигналов синхронизации по тактовой частоте (часть 2) и по фазе/времени (часть 3) поверх оптического транспортного уровня OTN/DWDM-сети мобильной связи 5G.

На сети мобильной связи 5G должны быть реализованы два основных компонента синхронизации:

- по тактовой частоте, для того чтобы частота местных тактовых генераторов на сети сотовой связи была такой же, как частота первичного эталонного генератора, расположенного, как правило, на уровне ядра сети (CORE), а временной интервал между синхронизирующими импульсами сохранялся одинаковым по всей сетевой инфраструктуре;
- по фазе / времени, для того чтобы синхронизирующие импульсы / метки точного времени (один импульс в секунду) поступали на все радиоблоки в одно и то же время.

ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЮ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5G

Сотовую связь, как и мобильный телефон, придумал и реализовал Мартин Купер, сотрудник

компании Motorola. Именно он сделал эпохальный звонок по мобильному в 1973 году в Нью-Йорке.

Поколения сотовой связи – это набор функциональных возможностей работы сети в рамках определенных стандартов, включая регистрацию абонента, передачу информации, шифрование, роуминг, а также набор различных услуг, предоставляемых абоненту. Каждое новое поколение мобильной связи появлялось примерно через десять лет после предыдущего: первое поколение было представлено в начале 1980-х годов, второе – в начале 1990-х, третье – в начале 2000-х и четвертое – в 2009 году. Коммерческие сети пятого поколения (5G) начнут заполнять мир в текущем десятилетии, а к внедрению сетей 6G приступят после 2030 года.

В отличие от предыдущих поколений, когда для каждого очередного поколения сетей связи (2G, 3G, 4G) разрабатывался свой радиointерфейс, в сети подвижной связи на основе технологии

Таблица 1. Эволюция сетей мобильной связи

Поколения сотовой связи	1G	2G	2,5G	3G	3,5G	4G	5G (сотовая связь нового поколения)
Стандарты сотовой связи	AMPS, TACS, NMT	TDMA, CDMA, GSM, PDC	GPRS, EDGE (2,75G), 1xRTT	WCDMA, CDMA2000, UMTS	HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+	LTE-Advanced, WiMax Release 2 (IEEE 802.16m), WirelessMAN-Advanced	
Преимущества	Аналоговый стандарт	Цифровой стандарт, поддержка СМС	Пакетная передача данных, увеличение скорости	Увеличение емкости и скорости до 2 Мбит/с	Увеличение скорости	Увеличение емкости, IP-ориентированная сеть, поддержка мультимедиа, увеличение скорости до сотен Мбит/с	Скорость от 1 Гбит/с, среднее количество одновременных пользователей – 1 млн на км ² , задержка до 1 мс, повышенная энергоэффективность
Скорость передачи данных	1,9 кбит/с	9,6–14,4 кбит/с	115 кбит/с (фаза 1), 384 кбит/с (фаза 2),	До 3,6 Мбит/с	До 42 Мбит/с	100 Мбит/с – 1 Гбит/с	От 1 Гб/с, 6,5 Гб/с
Рабочая частота (МГц)		900, 1800		900, 1800, 2100		800, 1800, 2600	

5G планируется применять как новый радиointерфейс 5G NR (New Radio согласно спецификациям 3GPP серии 38), так и усовершенствованный радиointерфейс 4G/LTE-Advanced.

Стандартизация сетей мобильной связи поколений 2, 3, 4 и 5 выполняется в рамках партнерского проекта для стандартизации систем третьего поколения (3rd Generation Partnership Project, 3GPP).

Сети мобильной связи 5G представляют собой полностью интегрированное сочетание усовершенствованных моделей беспроводных и дополнительных технологий.

В 2020 году МСЭ-Р было принято решение назвать сети сотовой связи пятого поколения IMT-2020 (International Mobile Telecommunications – 2020). 5G/IMT-2020 – это одновременно и дополнительный стандарт связи, и технологическая эволюция мобильных сетей, и новая парадигма услуг телекоммуникаций и информационных технологий.

Эволюция сетей мобильной связи в соответствии с документами 3GPP отражена в таблице [1, Стандарты и поколения сотовой связи (odbs.ru)].

Представленные ниже три сценария применения, определенные для сетей 5G/IMT-2020, оказывают существенное влияние на требования,

которые предъявляются ко всем компонентам сети в принципе и транспортной сети 5G в частности:

- eMBB (Enhanced Mobile Broadband или Extreme Mobile Broadband) – сверхширокополосная мобильная связь, или расширенная мобильная широкополосная связь, либо экстремально широкополосный мобильный доступ;
- mMTC/MIoT (Massive Machine Type Communications / Massive Internet of Things) – массовое использование устройств IoT/M2M или массовая межмашинная связь – крупномасштабные системы межмашинной связи, соединяющие большое количество движущихся объектов;
- URLLC (Ultra Reliable Low Latency Communications) – сверхнадежная передача данных с малой задержкой; накладывает существенные ограничения на задержки и предъявляет повышенные требования к пропускной способности и надежности сетевого оборудования.

Основные эксплуатационные характеристики сети мобильной связи, достижение которых позволяет отнести ее к сети пятого поколения (5G):

- увеличение пропускной способности сети (повышение скорости передачи данных в 10-100 раз в расчете на абонента) до 10 Гбит/с (DL) и до 5 Гбит/с (UL);
- обеспечение роста потребляемого трафика (в 1000 раз в расчете на абонента) до 500 Гб на пользователя в месяц;
- увеличение количества подключаемых абонентских устройств в соте в 10-100 раз до 300 тыс. на узел и до 1 млн устройств на 1 км²;
- уменьшение сквозной задержки передачи данных в сети с 10 мс до 1 мс;
- повышение спектральной эффективности радиоинтерфейса – до трех раз;
- многократное увеличение времени автономной работы абонентских устройств с небольшим энергопотреблением, таких как сенсоры IoT/M2M/D2D, – до 10 лет;
- снижение стоимости эксплуатации и энергопотребления сетей 5G/IMT-2020 – до 10 раз (по сравнению с сетью 4G).

Определения основных терминов:

- IoT (Internet of Things) – концепция сети передачи данных между физическими объектами ("вещами"), оснащенными встроенными средствами и технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой (имеется в виду взаимодействие без участия человека);
- M2M (Machine-to-Machine) – общее название технологий, которые позволяют машинам обмениваться информацией друг с другом или передавать ее в одностороннем порядке;
- D2D (Device-to-device) – связь между устройствами в сотовых сетях, реализуемая как прямая связь между двумя мобильными пользователями, минуя базовую станцию или базовую сеть.

По мнению профессора О.В.Тихвинского [Sesson_1_Tikhvinskiy_2.pdf (itu.int)], появление технологии 5G:

- должно содействовать преодолению вызовов, которые наблюдаются на мобильном рынке, а именно:
 - ▶ взрывному росту мобильного трафика передачи данных (как абонентского, так и служебного);
 - ▶ переходу от соединений, сосредоточенных на задачах обеспечения связи в цепочке человек – человек (H2H) или человек – машина (сервер) (H2M),

на соединения, нацеленные на сохранение связи в цепочке машина – машина (M2M);

- ▶ снижению затрат на развертывание сетей нового поколения (по сравнению с инвестициями в сети предыдущего поколения) и минимизации операционных затрат для повышения их экономической эффективности;
- направлено:
 - ▶ на создание ультраплотных сетей доступа на основе новых видов сигнально-кодовых конструкций, повышающих на порядок спектральную эффективность (по сравнению с сетями 4G);
 - ▶ на оптимальное управление ресурсами и на полную виртуализацию сетевых функций;
 - ▶ на применение облачных технологий, которые потребуют изменения правил регулирования в отрасли и бизнес-моделей, используемых операторами. Бизнес-модели будут строиться преимущественно на предоставлении услуг совмещенных сетей 4G/5G.

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5G В РОССИИ

Программа и концепция создания отечественного оборудования и тестирования сетей 5G/IMT2020 в Российской Федерации отражены в следующих документах:

- программа "Цифровая экономика Российской Федерации", утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации № 1632-р от 28 июня 2017 года [2];
- паспорт Программы "Цифровая экономика Российской Федерации", утвержденный президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол № 16 от 24 декабря 2018 года);
- концепция создания и развития сетей 5G/IMT2020 в Российской Федерации, утвержденная приказом Минкомсвязи России № 923 от 27 декабря 2019 года.

Сценарии применения сетей связи 5G/IMT-2020 тестируются в рамках пилотных зон в соответствии с мероприятием 04.01.011.003.003 "Реализация проектов пилотных зон сетей 5G/IMT2020", предусмотренным паспортом федеральной программы "Информационная инфраструктура" национальной программы

"Цифровая экономика РФ", утвержденным протоколом президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности № 6 от 27 декабря 2018 года и с учетом лучших практик в области сквозных технологий.

В 2019 году в качестве стратегического инструмента государственной политики, определяющего приоритеты и перспективы развития технологии в Российской Федерации, была подготовлена и опубликована дорожная карта развития сквозной цифровой технологии "Технологии беспроводной связи". В числе ключевых решений в этом документе упомянуты сети WAN 5G, под которыми понимается пятое поколение мобильной связи, то есть следующий этап развития после LTE и 3G. В это решение включен набор технологических инструментов 5G, среди которых M-MIMO, виртуализация функций маршрутизации и т. п.

В июле того же года была достигнута договоренность между Правительством РФ, Госкорпорацией "Ростех" и ПАО "Ростелеком" о совместном развитии высокотехнологичного направления "Мобильные сети связи пятого поколения". Стороны заключили соглашение о намерениях, в соответствии с которым разработана дорожная карта и распределены зоны ответственности за развитие 5G в России. В рамках дорожной карты "Ростех" отвечает за разработку телекоммуникационной продукции для мобильных сетей связи 5G, а "Ростелеком" – за создание инфраструктуры и соответствующих сервисов, услуг и цифровых платформ.

По мере реализации дорожной карты в 2021 году "Ростелеком" и Правительство Москвы подписали соглашение о сотрудничестве в сфере развития технологии 5G. В ходе его исполнения на базе ГКБ им. С.П.Боткина открылся первый в нашей стране полигон для пилотирования цифровых проектов в сфере здравоохранения с инфраструктурой сетей связи пятого поколения. На этой площадке будут проводиться прикладные исследования, испытания прототипов и опытных образцов инновационных медицинских решений, работающих на основе сетей 5G, что позволит стартам тестировать разработки с применением технологии в реальных клинических условиях.

Согласно сообщению от 12 мая 2022 года [Криптонит: базовая станция 5G (tadviser.ru)] структура "Ростеха" создает оборудование

для сетей 5G на открытом интерфейсе. По данным "Коммерсанта", на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в рамках проекта планируется потратить 4,4 млрд руб. НПК "Криптонит" (входит в "ИКС Холдинг") за 160 млн руб. выполнила для входящего в "Ростех" ООО "Спектр" научно-исследовательскую работу (НИР) по созданию системного проекта для серийного выпуска базовых станций 5G. По данным "Ростеха", базовые станции будут работать на частотах, признанных "золотым стандартом" для 5G, а именно – 3,4–3,6 ГГц. Их можно применять на малой мощности и внутри помещения, с тем чтобы не создавать помех для другого оборудования, работающего в этом диапазоне. По оценкам госкорпорации, на разработку и организацию производства оборудования для строительства сетей связи 5G в России потребуется около 40 млрд руб. как бюджетных, так и внебюджетных средств. Развитие данной технологии позволит россиянам получать доступ в интернет на высоких скоростях, пользоваться возможностями виртуальной и дополненной реальности, а также вести видеостриминг в высоком разрешении 4K.

30 июня 2021 года крупнейший в нашей стране провайдер цифровых услуг "Ростелеком" и ведущий отечественный производитель телекоммуникационного оборудования спектрального уплотнения (DWDM) компания "Т8" подписали соглашение о сотрудничестве. В рамках реализации сквозных проектов стороны договорились заключить рамочный договор на поставку оборудования волоконно-оптической магистральной сети DWDM, созданного на отечественной электронно-компонентной базе.

9 февраля 2022 года Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ доработало положение о сквозных проектах в электронике. Ведомство ввело понятие "ключевой поставщик" (компании, товар которых внедряется якорным заказчиком), а также прописало формы его ответственности в рамках предоставленной из федерального бюджета российским компаниям субсидии на финансовое обеспечение части затрат, связанных с внедрением отечественной продукции радиоэлектронной промышленности.

ТРЕБОВАНИЯ К СИНХРОНИЗАЦИИ НА СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5G

От качества синхронизации базовых станций (сот) мобильной связи зависит возможность

устойчивого и высококачественного предоставления услуг как на этапе первичного развертывания и поддержания работоспособности, так и при дальнейшем развитии и расширении сети мобильной связи 5G [3].

На сетях мобильной связи 2G, 3G и на первых версиях систем 4G на уровне радиодоступа используется дуплексная связь с частотным разделением (FDD), то есть с двумя отдельными частотами для восходящей (Uplink, UL) и нисходящей (Downlink, DL) связи. Синхронизация по частоте требуется в этом случае для эффективного применения доступного спектра при плотном размещении частотных несущих и для гарантии выполнения нормативных обязательств в отношении лицензий на использование частотного спектра. Наличие синхронизации по тактовой частоте в этом случае обеспечивает беспрепятственную передачу вызовов на соседние соты. Качество синхронизации по частоте, определяемое измерением разницы между фактической и желаемой частотами, представлено в виде цифры, показывающей разницу в частотах в частях на миллиард (ppb). Для сетей мобильной связи необходимо обеспечить точность порядка 50 ppb на радиointерфейсе в сети радиодоступа (Radio Access Network, RAN).

По мере эволюции к более продвинутым мобильным сетям 4G Long-Term Evolution (LTE) и 5G NR, то есть к частотному диапазону выше 2 ГГц, а также к более сложной функциональности на уровне радиодоступа, включая CoMP, MIMO, Beamforming и т. п., наблюдается переход от дуплексной передачи с частотным разделением FDD к дуплексной передаче с временным разделением (TDD). Переход к TDD обусловлен, в частности, дефицитом частотных ресурсов для предоставления услуг мобильной связи, а также необходимостью достижения более высокой спектральной эффективности. Кроме того, переход к TDD объясняется введением более строгих временных ограничений, чтобы избежать помех, связанных с использованием одной и той же радионесущей для нисходящей (DL) и восходящей (UL) линий.

По этой причине на сетях LTE и 5G NR с TDD необходимо обеспечить синхронизацию базовых станций как по частоте, так и по фазе/времени. Более того, при развертывании систем TDD, во избежание помех между соседними сотами сети мобильной связи, в дополнение к синхронизации по частоте, фазе и времени между расположенными по соседству сотами должны

использоваться совместимые значения частотных несущих, а в случае выбора одной и той же частоты необходимо предусматривать совместимую структуру цикла (кадра). На практике это означает, что операторы связи не должны допускать в соседних сотах (сетях) одновременную передачу данных по направлениям UL (например, в данной соте) и DL (например, в соседней соте). Иными словами, в любой момент времени на соседних сетях должны одновременно передаваться данные в DL либо в UL. Кроме того, для всех соседних сетей TDD необходимо использовать аналогичную структуру цикла (кадра) с единой синхронизацией начала цикла (кадра).

Во избежание помех все базовые станции на сети мобильной связи сети 5G NR TDD и LTE-TDD должны быть синхронизированы по фазе таким образом, чтобы ограничить сквозную погрешность (рассогласование) по времени при передаче сигналов от уровня ядра сети (CORE) до радиоблоков величиной 1,5 мкс. Указанная погрешность включает в себя две составляющие: 1,1 мкс как абсолютную ошибку по времени при передаче сигнала по сети мобильной связи от ядра сети (CORE) до уровня радиодоступа и 0,4 мкс – на участке радиодоступа Fronthaul, то есть непосредственно перед радиоблоками (например, в конфигурации Centralized-RAN или Cloud-RAN).

Реализация функциональности CoMP и MIMO потребует значительно более жесткой синхронизации при развертывании – погрешность (рассогласование) по времени между радиоблоками (RRU), относящимися к одному кластеру мобильной связи (например, подключенными к одному и тому же электронному блоку DU (Distributed Unit) в конфигурации Centralized-RAN или Cloud-RAN), не должна превышать ± 130 нс.

Можно использовать различные решения для синхронизации по времени. Но в любом случае необходимо обеспечить в сети синхронизацию всех радиоблоков на базовых станциях таким образом, чтобы гарантировать минимальный уровень помех.

Синхронизация по тактовой частоте на сетях 5G NR TDD должна:

- соответствовать требованиям 3GPP по точности тактовой частоты на радиointерфейсе порядка 50 ppb;
- обеспечить минимизацию помех на радиointерфейсе, чтобы пользователи могли переключаться между сотовыми станциями;

Таблица 2. Основные требования к синхронизации сетей LTE и 5G NR

Радиотехнология	Требования к радиointерфейсу			Требования к сетевому интерфейсу		
	Частота	Фаза	Документ 3GPP	Частота	Время	Документ МСЭ-Т
LTE (FDD)	+/- 50 ppb (wide area); +/- 50 ppb (local area); +/- 50 ppb (home BS).	N/A	Частота: 36.104, sect. 6.5.1	+/- 16 ppb	N/A	G.8261.1
LTE (TDD)	+/- 50 ppb	10 мкс (≥ 3 км сота) 3 мкс (≤ 3 км сота)	Фаза: 36.133, sect. 7.4.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
LTE-A MBSFN	+/- 50 ppb	5 мкс	Фаза: 36.133, sect. 7.25.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
LTE-A CA	+/- 50 ppb	260 нс	Фаза: 36.104, sect. 6.5.3.1	Несущие всегда передаются с одного и того же сайта; отдельная сетевая синхронизация не требуется		
5G NR (FDD)	+/- 50 ppb	N/A	Частота: 38.104, sect. 6.5.1	+/- 16 ppb	N/A	G.8261.1
5G NR (TDD)	+/- 50 ppb	3 мкс	Фаза: 38.133, sect. 7.4.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
Synchronous EN-DC (LTE-5G DC)	+/- 50 ppb	3 мкс (бюджет радиointерфейса)	Фаза: 38.133, sect. 7.6.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
5G NR inter-band CA	+/- 50 ppb	3 мкс	Фаза: 38.104, sect. 9.6.3.2	+/- 16 ppb	+/- 1.1 мкс	G.8271.1
5G NR intra-band CA	+/- 50 ppb	260 нс	Фаза: 38.104, sect. 9.6.3.2	+/- 16 ppb	+/- 100 нс (в стадии изучения)	G.8271.1 (в стадии изучения)
5G NR MIMO	+/- 50 ppb	65 нс	Фаза: 38.104, sect. 9.6.3.2	Предполагается совместное расположение антенн; отдельная сетевая синхронизация не требуется		

- соответствовать строгим нормативным требованиям, связанным с наличием лицензий на использование частот.

Синхронизация по фазе/времени на сетях 5G NR TDD должна:

- свести к минимуму количество защитных частотных полос для систем TDD;

- предотвратить интерференционные помехи внутри и между сотами сети мобильной связи;

- оптимизировать использование пропускной способности сети 5G.

В табл.2 представлены основные требования к синхронизации сетей LTE и 5G NR.

ФОРМИРОВАНИЕ И ДОСТАВКА СИГНАЛОВ СИНХРОНИЗАЦИИ ДО РАДИОБЛОКОВ НА СЕТЯХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Методы распределения сигналов синхронизации на сети оператора мобильной связи

Основные варианты доставки информации синхронизации в мобильных сетях к радиоблокам базовой станции заключаются в следующем [4]:

- сигналы синхронизации от глобальной навигационной спутниковой системы GNSS (Global Navigation Satellite System), такой как американская система глобального позиционирования (GPS), европейская Galileo, российская глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) или китайская навигационная спутниковая система BeiDou, доставляются напрямую в каждое место, требующее синхронизации, например, к радиоблокам базовой станции;
- из ключевых централизованных точек в сети (где установлены приемники GNSS) сигналы синхронизации доставляются по транзитной/транспортной сети в другие места, требующие синхронизации, например, к радиоблокам базовой станции;
- сигналы синхронизации могут быть доставлены до радиоблоков по транспортной сети либо через полностью выделенную сеть. Оба подхода обеспечивают оператору нужный уровень параметров, но реализация синхронизации поверх оптической транспортной сети дает возможность значительно улучшить общую экономическую эффективность и живучесть сети. Везде, где это возможно, операторы мобильных сетей обычно используют доставку сигналов синхронизации поверх оптоволоконной транспортной сети, поскольку в этом случае обеспечивается наиболее высокий уровень параметров синхронизации.

Для каждого варианта характерны преимущества и недостатки. Операторы сетей связи по всему миру разработали стратегии синхронизации, которые лучше всего подходят для их сетей.

Доставка сигналов синхронизации от системы GNSS напрямую к радиоблокам базовой станции

Спутниковая система навигации GNSS предназначена для определения местоположения

(географических координат) наземных, водных и воздушных объектов, а также низкоорбитальных космических аппаратов.

Глобальные спутниковые системы навигации также позволяют получить значение скорости и направления движения приемника сигнала, сигналы точного времени.

Такие системы состоят из космического оборудования и наземного сегмента (систем управления). В настоящее время только две спутниковые системы обеспечивают полное покрытие и бесперебойную работу для всего земного шара – GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия).

В сотовых сетях 3G и 4G спутниковые приемники встроены в узлы базовых станций NodeB и eNodeB (BBU). Контроллеры этих узлов принимают сообщения о времени суток ToD (метки времени Time of Day), то есть получают каждую секунду импульс синхронизации (1 PPS) и используют его для синхронизации частот всех базовых станций сотовой связи. Затем контроллеры передают их далее по радиоканалу на оборудование пользователя UE (User Equipment, например, мобильные телефоны).

Сети 3G и 4G нуждаются в прямой связи только с одним спутником для частотной синхронизации.

В сотовых сетях 5G используются те же спутники GPS (до 32 спутников по всему миру в зависимости от их общего количества), что и в сетях 3G и 4G, однако немного по-другому. Для этого типа синхронизации требуется прямая видимость нескольких спутников.

Чтобы правильно использовать сигнал ToD/PPS, получаемый от спутникового приемника, необходимо иметь возможность компенсировать задержку между моментом, когда спутник отправляет метку (сообщение) ToD/PPS, и моментом, когда данное сообщение поступает на спутниковый приемник. Справиться с этой задачей непросто, поскольку спутники не находятся над сетью неподвижно. После расчета точного положения спутникового приемника можно определить задержку сигнала между спутниками и спутниковым приемником, чтобы "скорректировать" значение ToD, в которое сообщение было получено. В расчетах необходимо учитывать четыре переменные – долготу, широту, высоту и время, а для такого расчета потребуются минимум четыре спутника.

Чем больше времени отводится для опроса спутников, тем точнее определяется позиция

спутника по отношению к спутниковому приемнику. Чем точнее установлено положение спутникового приемника, тем меньше будет ошибка по времени между сотами сети мобильной связи и ниже вероятность того, что перекрывающиеся ячейки будут создавать взаимные помехи в результате интерференции.

Уязвимость системы GNSS (например, GPS или ГЛОНАСС) связана со следующими обстоятельствами:

- использование радиочастотного интерфейса;
- вредоносные атаки, например, глушилки высокой мощности, спуфинг (подмена, при которой один человек или программа успешно маскируется под другую путем фальсификации данных);
- окружающая среда, например, трудности с установкой на сайтах базовых станций, проблемы с размещением антенн, солнечные лучи, повреждения от молний и т. п.

В последние годы участились случаи как преднамеренных, так и непреднамеренных взломов, глушения GNSS, что связано с использованием дешевых нелегальных глушителей GNSS. В некоторых странах даже тестировалось глушение и/или спуфинг GNSS в связи с военными действиями. Возникающие новые обстоятельства вынуждают некоторые страны вводить законодательство,

обеспечивающее защиту и надежность сетей синхронизации.

Приемники GNSS можно защитить от некоторых указанных помех, но принимаемые для этого меры увеличивают затраты на содержание сети. Кроме того, операторы мобильной связи должны учитывать, что при переходе к сетям 5G быстро увеличится количество сайтов сотовой связи, в том числе в тех местах, где использование спутниковых приемников GNSS затруднительно. Например, в условиях плотной городской застройки для развития сетей 5G и предоставления услуг широкополосной связи на более коротком расстоянии потребуются небольшие соты с использованием радиоспектра миллиметрового диапазона. Такие соты могут быть развернуты в труднодоступных местах, например, в глубине торговых центров, на разных этажах многоквартирных домов и т. п.

Доставка сигналов синхронизации от центрального задающего генератора к радиоблокам базовой станции с использованием средств сетевой синхронизации

По изложенным выше причинам все больше операторов, которые ранее ориентировались на спутниковые приемники GNSS, теперь планируют использовать преимущественно средства сетевой

Таблица 3. Рекомендации МСЭ-Т по сетевой синхронизации

Тема \ Тип сети	TDM	OTN	SyncE	Пакетные сети	
				Частотная синхронизация	Временная синхронизация
Определения	G.810		G.8260		
Архитектура	G.803	G.8251	G.8261	G.8265	G.8275
Базовые аспекты	G.823/4/5	G.8251	G.8261	G.8261.1	G.8271
Функциональная модель	G.871, G.873	G.8251	G.8264, G.871	G.8261	G.8271
Профиль				G.8265.1	G.8275.1
Характеристика генераторов	G.811/2/3	G.8251	G.8262	G.8263	G.8272, G.8273.n
Тестовое оборудование	0.171/2	0.173	0.174		

синхронизации. Синхронизация различных узлов в сети означает распределение данных о времени и частоте от первичного генератора ко многим вторичным источникам тактовой частоты и меток времени, разбросанным по всей сети мобильной связи. GNSS, имеющая защиту от отключения и/или глушения сигналов, может служить в этом случае резервной системой.

Перспективные сети связи требуют синхронизации оборудования в узлах сети, чтобы была возможность правильно демодулировать сигналы, передаваемые через эти узлы. На сети мобильной связи приемник не имеет предварительных сведений об используемом физическом беспроводном канале или о задержке распространения, связанной с передаваемым сигналом. Обычно приемники данных оснащены недорогими задающими генераторами, чтобы поддерживать приемлемую стоимость устройств. Для этих генераторов характерен некоторый дрейф. Поэтому необходимо обеспечить подстройку частоты и фазы местного задающего генератора к принятому по сети сигналу, чтобы его правильно демодулировать или передать дальше по сети. Кроме того,

для синхронизации по времени потребуются средства определения правильного временного положения сигнала и при необходимости коррекции временного положения сигнала перед его отправкой из одного узла к следующему.

Приняты следующие группы рекомендаций МСЭ-Т по сетевой синхронизации:

- G.826x – распределение сигналов тактовой синхронизации;
- G.827x – распределение сигналов фаза/время;
- G.781, G.781.1 – общие рекомендации по функциям уровня синхронизации (Sync Layer Functions).

В группу ранее принятых рекомендаций входят G.803, G.810, G.811, G.812, G.813, G.823, G.824, G.825.

Рекомендации МСЭ-Т по сетевой синхронизации с учетом типа сети представлены в табл.3.

Требования к сетевым характеристикам для распределения сигналов синхронизации по тактовой частоте (см. плоскость распределения сигналов тактовой синхронизации), а также времени и фазе (см. плоскость распределения сигналов время/фаза на сетях 5G) в соответствии с документами МСЭ-Т отражены на рис.1.

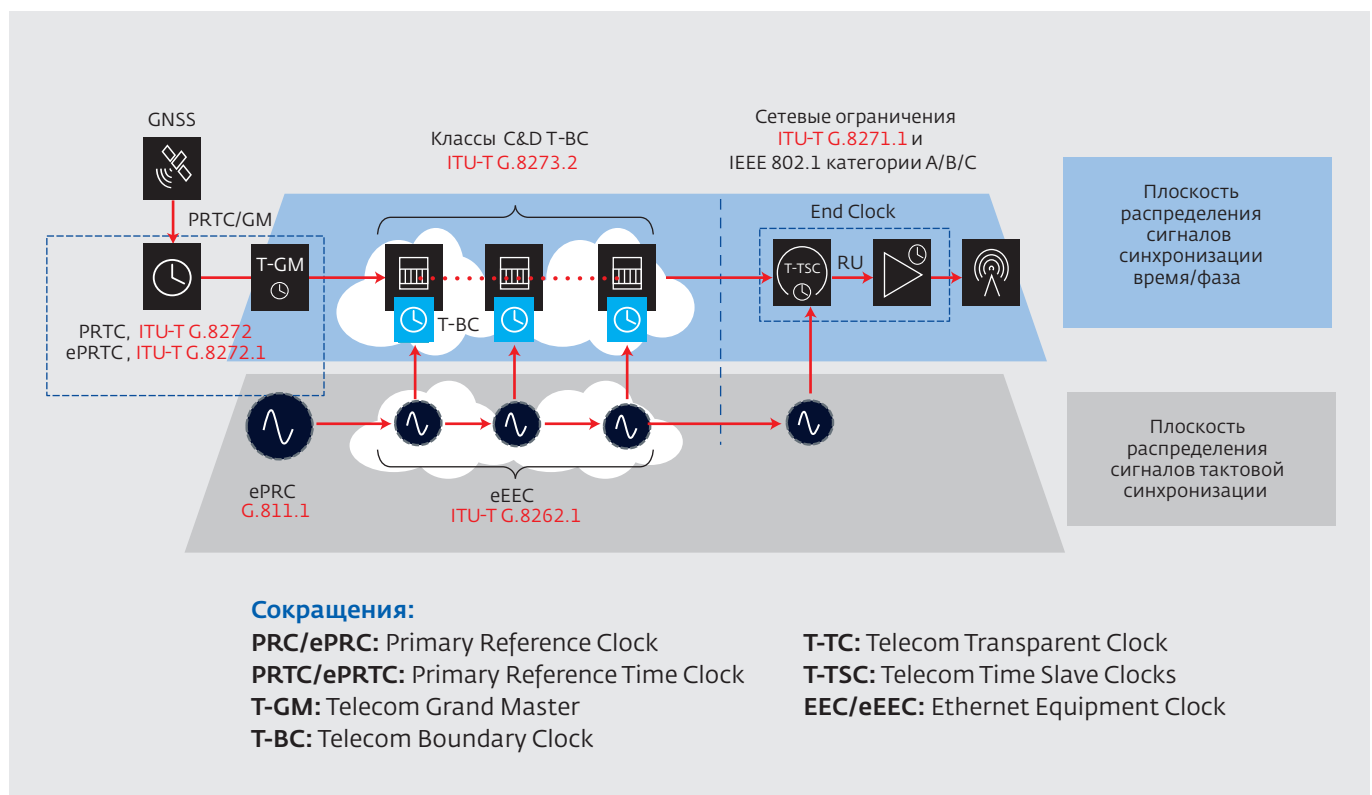


Рис.1. Требования к сетевым характеристикам для распределения сигналов синхронизации по тактовой частоте, времени и фазе

Роль сетевого транспортного уровня в развитии технологии мобильной связи 5G

Переход к стандарту 5G приводит к изменениям следующих составляющих сетей мобильной связи:

- радиодоступ (Radio Access Network, RAN);
- ядро (Core);
- цифровые платформы (ЦП) виртуализации и управления;
- транспортная сеть, обеспечивающая соединение всех компонентов в единое комплексное решение.

К оборудованию транспортного уровня сети в структуре высокотехнологичного направления 5G/IMT2020 можно отнести сетевое и коммутационное оборудование:

- уровня доступа;
- уровня агрегации;
- уровня ядра сети;
- с многоканальным мультиплексированием и разделением оптических каналов по длине волны оптического излучения (DWDM, CWDM).

Основу сквозной сети мобильной сети составляет транспортная сеть, организуемая поверх оптоволоконной среды с использованием технологии многоканального мультиплексирования

и передачи с разделением оптических каналов по длине волны оптического излучения (Wavelength Division Multiplexing, WDM). Эволюция к сетям 5G обусловлена необходимостью не только повысить производительность, связность и гибкость узлов транспортной сети, но и обеспечить высокую пропускную способность и низкую задержку для сервисных соединений, организуемых поверх транспортного уровня сети.

Следует также учитывать, что по мере перехода к централизованному (Centralized-RAN) и ориентированному на облачные решения (Cloud-RAN) радиодоступу оптоволоконные транспортные решения все шире используются на всех уровнях сети радиодоступа xHaul/AnyHaul, включая Fronthaul/Midhaul/Backhaul.

Для обеспечения гарантированного исполнения соглашений по качеству предоставляемых на сети 5G разнообразных услуг/соединений (SLA) все чаще применяются программно-определяемые решения SDN и функциональность сегментации сети, в том числе ее транспортной составляющей, с разделением сети на слои (slicing/segmentation), в которых наилучшим образом учитываются требования, предъявляемые к разнообразным услугам связи. ■



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Самохин А.Б.

ОБЪЕМНЫЕ СИНГУЛЯРНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 218 с. ISBN 978-5-94836-618-0.

Цена 840 руб.

В книге с помощью сингулярных интегральных уравнений рассматриваются различные классы задач электродинамики. Монография состоит из двух частей. В первой части вводятся объемные сингулярные интегральные уравнения, описывающие задачи рассеяния электромагнитных волн на трехмерных неоднородных и анизотропных структурах, а также сингулярные уравнения с запаздыванием по времени, описывающие задачи взаимодействия нестационарного поля с ограниченной материальной средой. С использованием полученных уравнений доказываются теоремы существования и единственности решения различных классов задач рассеяния волн. Во второй части излагаются итерационные методы для решения уравнений, математически строго обосновывается применение метода Галеркина и метода коллокации для численного решения уравнений, описывающих задачи рассеяния волн на трехмерных неоднородных и анизотропных структурах. Предлагаются эффективные алгоритмы численного решения сингулярных уравнений.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: knigi@technosfera.ru; sales@technosfera.ru