"СЕТЬ-2030": взгляд МСЭ-Т на будущее сетей фиксированной связи

А.Росляков, д.т.н., заведующий кафедрой сетей и систем связи ПГУТИ / arosl@mail.ru

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2021.96.4.50.59

Представлен обзор результатов исследования "Сеть-2030" (Network 2030), выполненного фокус-группой МСЭ-Т FG NET-2030 по изучению возможностей и принципов построения фиксированных сетей связи на период до 2030 года и в дальнейшей перспективе. Показана эволюция концепций сетей фиксированной связи, приведены проблемы современных сетей, которые необходимо решить при построении "Сети-2030". Рассмотрены базовые принципы и архитектура "Сети-2030", а также базовые и составные услуги, которые будет поддерживать новая сетевая инфраструктура.

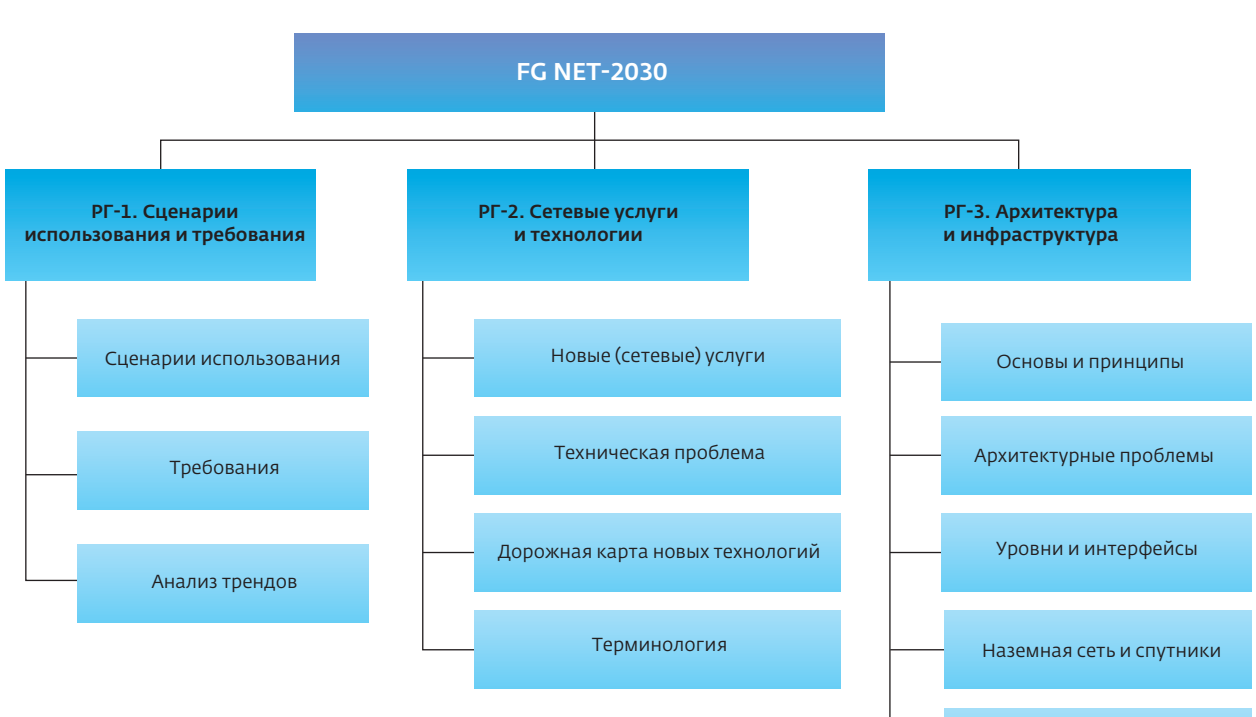
Введение

Менее чем за полвека сети мобильной связи прошли эволюцию от аналоговых с коммутацией каналов и единственной услугой телефонной связи до мультисервисных пакетных сетей поколения 5G. В последние годы ведутся активные работы по созданию новых технологий для реализации сетей следующего поколения (6G) [1]. В отличие от мобильной связи, сети фиксированной связи имеют более продолжительную историю (телеграфные и телефонные сети были созданы еще в позапрошлом веке), но они в меньшей степени претерпевали существенные преобразования.

Одной из попыток такой коренной перестройки была концепция цифровых сетей с интеграцией служб ISDN (Integrated Service Digital Networks) [2], однако по ряду причин (прежде всего – невостребованность ее услуг массовыми потребителями) она не получила широкого практического внедрения, в том числе и в нашей стране. И лишь в начале 21 века сектор стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) в серии рекомендаций Y.2000 разработал принципиально новую концепцию сетей фиксированной связи в виде мультисервисных сетей следующего поколения NGN (Next Generation Networks) [3] на базе технологии гибких коммутаторов (softswitch).

Реализация концепции NGN продолжается и в настоящее время. Более того, ее развитие в виде подсистемы передачи мультимедийных сообщений IMS (IP Multimedia Subsystem), разработанной Партнерским проектом 3GPP, позволило впервые реализовать в рамках одной сетевой инфраструктуры услуги фиксированной и мобильной связи. Очевидно, что этот процесс длительный, так как очень сложно быстро заменить сети связи, охватывающие огромные территории, к которым подключено большое число абонентов. Поэтому до сих пор во многих странах мира по-прежнему работают классические телефонные сети, построенные на принципах TDM и даже коммутации аналоговых каналов, а в некоторых странах (в том числе в России) – еще и телеграфные сети.

В начале второго десятилетия 21 века МСЭ-Т в серии рекомендаций Y.3000 предложил развитие сетей NGN в виде очередной концепции – "Будущие сети" (FN, Future Networks) [4, 5] и предположил, что такие сети появятся в период 2015–2020 годов. Принципиальное отличие "будущих" сетей от сетей NGN в том, что они способны обеспечить новые инфокоммуникационные услуги, которые трудно или даже невозможно реализовать с использованием имеющихся сетевых технологий. А главными социально-экономическими задачами сетей будущего являются расширение возможностей доступа в интернет, преодоление цифрового



Источник: МСЭ-Т

Рис.1. Структура фокус-группы FG NET-2030

неравенства и увеличение степени проникновения инфокоммуникационных услуг. Указанный выше период завершился и можно с уверенностью сказать, что многие технологии будущих сетей FN (виртуализация сетевых ресурсов, программное управление и конфигурирование сетевых узлов, умное (smart) поведение, обработка Больших данных и др.) реализованы на практике, хотя и не все и не в той мере, как планировалось.

В последнее время появилось много инфокоммуникационных приложений, сетей и систем (Интернет вещей (IoT), промышленный Интернет вещей (IIoT), тактильный интернет, киберфизические системы, беспилотный транспорт, сети 5G и др.), выдвигающих более жесткие требования к услугам передачи данных (ультранизкая задержка, сверхвысокая надежность, широкая полоса пропускания и др.), которые не всегда могут быть реализованы существующей проводной сетевой инфраструктурой. Кроме того, телекоммуникационные сети всегда должны быть рассчитаны на удовлетворение коммуникационных потребностей общества на ближайшую перспективу.

В качестве отправной точки такого перспективного периода МСЭ-Т выбрал 2030 год и провел исследование под названием "Сеть-2030" (Network-2030). В данной статье дается краткий обзор аналитических материалов МСЭ-Т [6–12], разработанных в результате проведенного исследования по изучению возможностей и принципов построения фиксированных сетей связи на период до 2030 года и в дальнейшей перспективе.

Исследование МСЭ-Т "СЕТЬ-2030"

В 2018 году 13-й Исследовательской комиссией (ИК-13) МСЭ-Т была создана фокус-группа технологий Network 2030 (FG NET-2030). В группе были представители из нескольких стран – США (от Verizon), Южной Кореи (SK Telecom), Китая (ChinaTelecom), Великобритании (National Physical Laboratory) и России (ПАО "Ростелеком"). В рамках FG NET-2030 были созданы три рабочие группы (РГ) (рис.1). Состоялось семь семинаров фокус-группы, причем четвертый семинар проходил в Санкт-Петербурге на базе СПбГУТ. Фокус-группа завершила свою работу в июле 2020 года.

"Сеть-2030" – это собирательное название исследования МСЭ-Т, направленного на определение путей создания новых и на развитие существующих сетей передачи данных фиксированной (немобильной) связи (LAN, MAN, WAN, спутниковые сети), при

этом существенное внимание уделялось увязыванию между собой разнотипных сетей.

В задачи фокус-группы входили:

- изучение, анализ и исследование существующих технологий, платформ и стандартов для выявления пробелов и проблем на пути к "Сети-2030", которые не поддерживаются существующими фиксированными сетями и сетями ближайшего будущего;
- формулировка различных аспектов "Сети-2030", включая общее видение, требования, архитектуру, новые варианты использования, методологию оценки и т.д.;
- предоставление рекомендаций по дорожной карте стандартизации.

Группа изучила возможности фиксированных сетей связи на период до 2030 года и далее, когда ожидается, что они будут поддерживать новые перспективные сетевые возможности, такие как связь голографического типа, чрезвычайно быстрое реагирование в критических ситуациях и возникающие потребности в высокоточной связи в появляющихся рыночных вертикалях. Исследования группы были направлены на то, чтобы ответить на конкретные вопросы о том, какие виды сетевой архитектуры и механизмы обеспечения подходят для таких новых возможностей.

Исследования реализованы путем изучения новых коммуникационных механизмов с широкой точки зрения и не ограничивались существующими понятиями сетевых парадигм или какими-либо конкретными существующими технологиями. Предполагалось, что "Сеть-2030" может быть построена на новой или усовершенствованной сетевой архитектуре для передачи информации способом, который может развиваться из современных сетей или сильно отличаться от них. Тем не менее, системы связи на базе "Сети-2030" должны обеспечивать полную обратную совместимость, поддерживая как существующие, так и новые приложения.

Следует отметить, что в результате проведенных исследований фокус-группа опубликовала на своем сайте ряд технических отчетов и аналитических обзоров, но никаких проектов рекомендаций МСЭ-Т или дорожных карт разработано не было.

Недостатки современных фиксированных сетей

Фокус-группа МСЭ-Т FG NET-2030 выделяет несколько важных проблем современных фиксированных сетей связи, которые необходимо решить при построении "Сети-2030" [6]:

- отсутствие взаимодействия между услугами и сетью – традиционно сети связи обеспечивают лишь коммуникации для конечного пользователя и разработчики сетевых приложений не имеют необходимых интерфейсов для настройки поведения приложения в сети;
- неготовность к голографическим и мультисенсорным медиа, когда скорость передачи данных может приближаться к величинам Гбит/с и должна поддерживаться высокая надежность и своевременность доставки информации для большого числа пользователей;
- необходимость в передаче информации в строго определенное время с высокой точностью временной синхронизации, что особенно важно в системах промышленной автоматизации;
- необходимость в расширении сети доступа – использование мощных вычислительных и коммуникационных ресурсов на "границе" сети для преобразования сети доступа в многофункциональную платформу предоставления услуг и доступа;
- необходимость в новом качестве обслуживания QoS – реализация строгих гарантий своевременной доставки, как в отношении границ сквозной задержки, так и джиттера;
- множество сетей с точки зрения используемых технологий, форм владения и участия конечных пользователей требует бесшовного сосуществования разнородных сетевых инфраструктур для согласованного решения одной общей задачи – передачи пакетов по этим различным сетям с соблюдением заданных требований по качеству сквозного обслуживания (e2e, из конца в конец).

Базовые принципы "Сети-2030"

Фокус-группа FG NET-2030 определила три базовых принципа реализации "Сети-2030" (рис.2) [11]:

1. Новые сетевые услуги BBE&HPC (Beyond Best Effort and High-Precision Communications – коммуникации с качеством лучше Best Effort и высокоточные), которые описываются следующими характеристиками:
   - передача данных без потерь;
   - гарантия полосы пропускания;
   - гарантия задержек;
   - гарантия согласованной передачи данных;
   - новый интерфейс "пользователь – сеть".
2. Новые медиа VLV&TIC (Very Large Volume & Tiny Instant Communications – коммуникации с очень большими объемами передаваемых данных и очень маленькие мгновенные коммуникации), которые включают следующие медиа:
   - расширенная дополненная/виртуальная реальности;

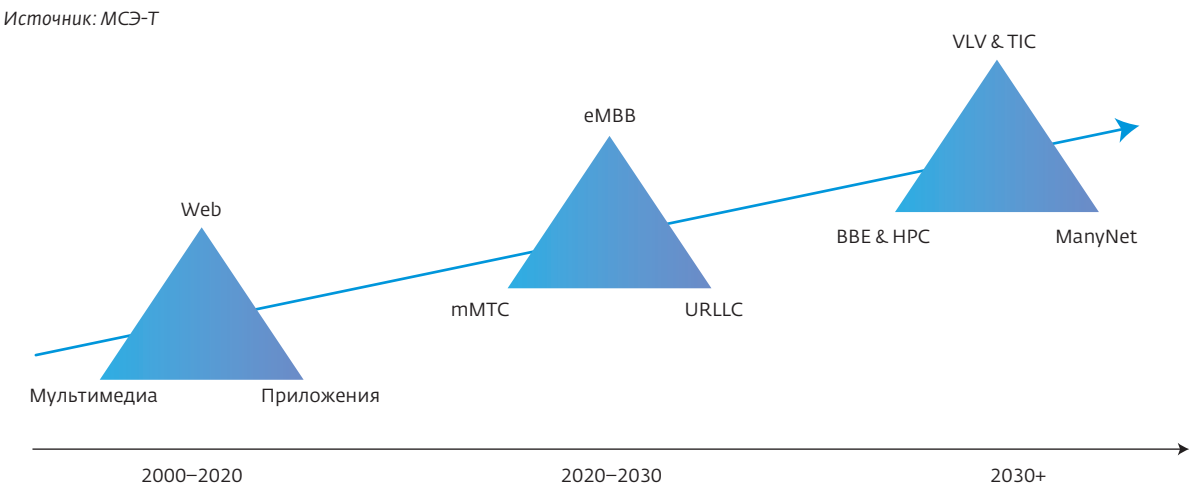


Рис.2. Эволюция базовых принципов сетей

- коммуникации голографического типа;
- очень высокая полоса пропускания (>Тбит/с);
- голографическая телепортация (задержки < 5 мс);
- цифровые сенсоры;
- качественные коммуникации;
- координированная передача потоков.

3. Новая сетевая архитектура Many Nets (Many Networks – множество сетей), которая включает следующие сети и сетевые технологии:

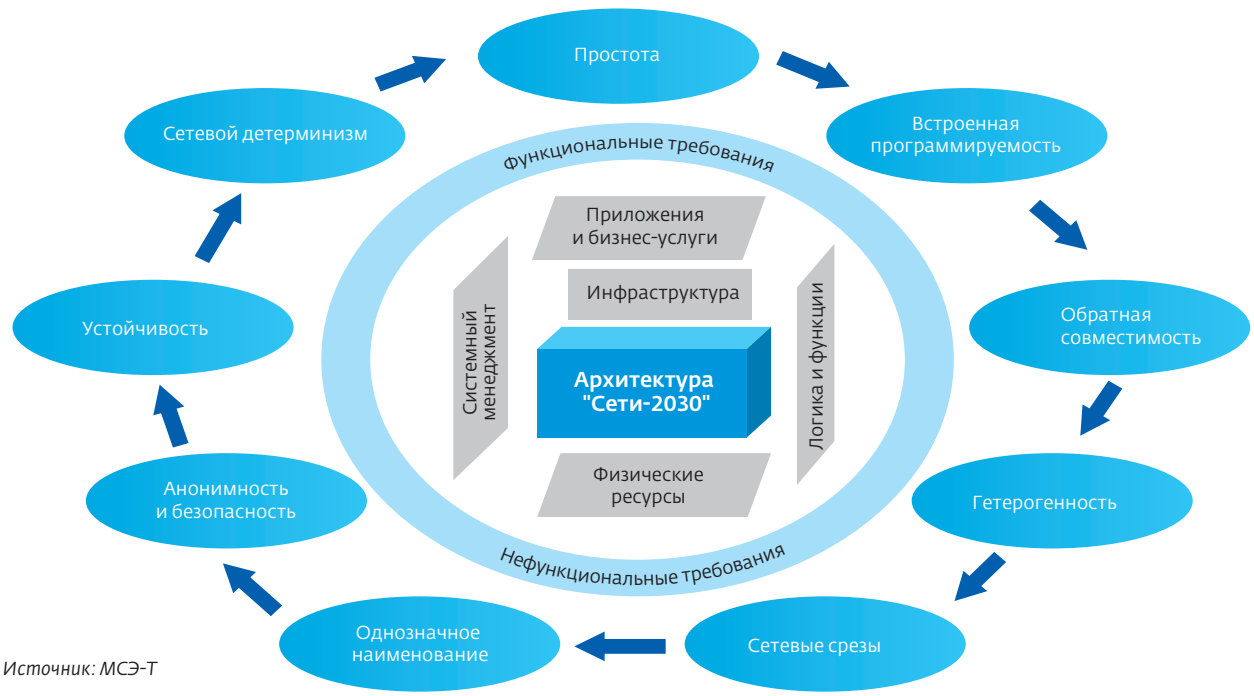


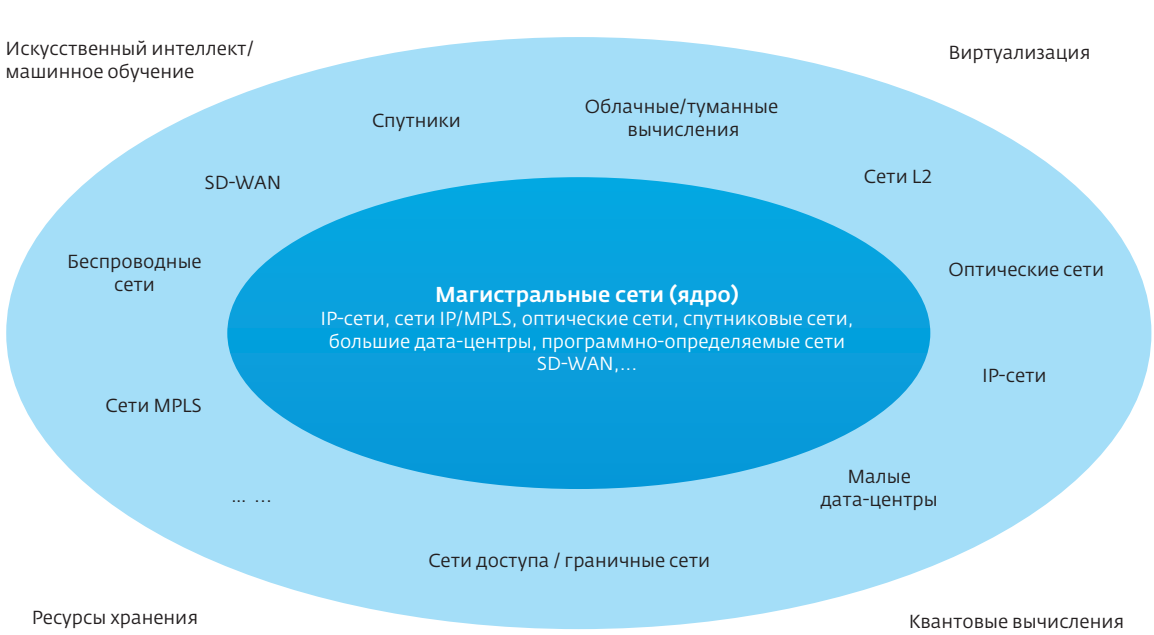
Рис.3. Архитектурные принципы "Сети-2030"

- спутниковые сети;
- масштабируемый интернет;
- частные (private) сети;
- граничные вычисления с множественным доступом MEC (Multi-access Edge Computing);
- сети специального назначения;
- сверхплотные сети;
- новый интерфейс "сеть – сеть";
- новый интерфейс "оператор – оператор".

Архитектура "Сети-2030"

В документах фокус-группы FG NET-2030 определены девять архитектурных принципов построения "Сети-2030" (рис.3) [8]:

- **простота** – использование минимального количества компонентов в архитектуре на пути доставки услуг;
- **встроенная программируемость** – возможность динамически программно изменять функциональность сетевых элементов для облегчения внедрения новых сетевых услуг;
- **обратная совместимость** – возможность поддерживать работу существующих сетей и использовать существующие сетевые ресурсы при предоставлении услуг;
- **гетерогенность** – сетевая инфраструктура состоит из фиксированных сетей, сетей мобильной связи и других базовых сетей, использующих ключевые сетевые технологии, такие как интернет, мобильный интернет, Интернет вещей, облачные вычисления, Большие данные и спутниковая связь с конвергенцией сетевых и вычислительных ресурсов;
- **сетевые срезы (slice)** – это набор сетевых функций, ресурсов инфраструктуры (т.е. коммуникаций, вычислений и хранения) и сервисных функций для реализации различных типов услуг одновременно в одной и той же сетевой инфраструктуре;
- **однозначное наименование** – должно поддерживаться однозначное наименование/описание сетевых функций, сетевых виртуальных функций и услуг;
- **внутренняя анонимность и безопасность** – способность сети предоставлять каналы связи, при которых одна конечная точка не узнает о какой-либо идентичности другой стороны коммуникаций, и обеспечение сквозной безопасности, включая аутентификацию личности, сетевую безопасность, безопасность



Источник: МСЭ-Т

Рис.4. Ожидаемая инфраструктура "Сети-2030"

платформы, данных и бизнеса с гарантиями надежности;

- **устойчивость** – возможность продолжать предлагать удовлетворительное качество обслуживания, независимо от того, с какими проблемами сталкивается сеть (стихийные бедствия, чрезмерный спрос на услуги, программные ошибки, сбои аппаратных компонентов, ошибки из-за человеческого фактора или атаки кибербезопасности);
- **сетевой детерминизм** – должно гарантироваться детерминированное качество передачи данных в сети в соответствии с требованиями конкретного приложения.

С учетом указанных выше архитектурных принципов "Сеть-2030" представляет собой комплексную, автоматизированную и динамическую архитектуру, которая объединяет возможности коммуникаций, приложений, а также вычислительные ресурсы и ресурсы хранения. Эта архитектура представляет собой переход от текущей сетевой архитектуры, реализующей только коммуникации, и он обусловлен распространением принципов виртуализации, методов искусственного интеллекта/машинного обучения, API-интерфейсов для автоматизации, оптических вычислений, а также существующих приложений и приложений, ожидаемых в будущем, требующих огромной пропускной способности, очень маленькой сквозной задержки и почти нулевой потери пакетов. Для поддержки различных приложений, использующих существующие терминальные устройства и устройства, которые будут разработаны в будущем, ожидается, что инфраструктура "Сети-2030" как на уровне сети доступа/граничной сети (access/edge), так и на уровне магистральной сети (Core) будет включать фиксированные и беспроводные сети, облачные и космические коммуникационные инфраструктуры (рис.4) [8].

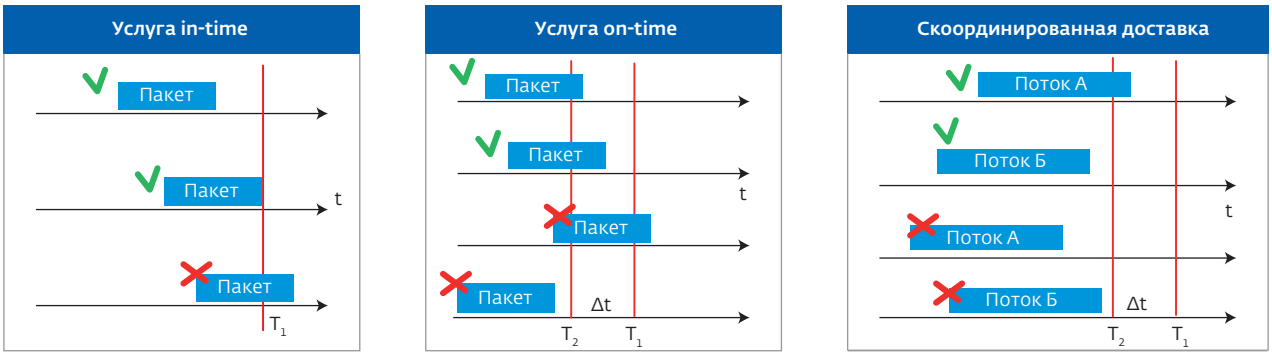
Основные характеристики архитектуры "Сети-2030" [8]:

- состоит из виртуализированных (VNF – Virtual Network Functions) и физических (PNF – Physical Network Functions) сетевых компонентов;
- состоит из сетевых функций только с компонентами PNF, или как с компонентами VNF, так и с компонентами PNF;
- поддерживает приложения, созданные с использованием VNF;

Источник: МСЭ-Т

Рис.5. Базовые и составные сетевые услуги "Сети-2030"

- обеспечивает соединения, реализуемые одним или несколькими поставщиками услуг и сетевыми операторами (общедоступного облака, частного облака, фиксированных и беспроводных сетей, граничных сетей/сетей доступа и космической связи);
- поддерживает приложения, предоставляемые одним или несколькими облачными провайдерами, операторами космической связи и операторами граничных сетей/сетей доступа;
- поддерживает услуги с максимально доступным качеством (Best Effort), а также высоконадежные (т.е. с готовностью выше 99,99999%) и высокоскоростные услуги, требующие полосы пропускания от Гбит/с до Тбит/с;
- поддерживает гибкость динамической конфигурации услуг для пользователей и экстерриториальное размещение функциональности услуг;
- поддерживает мониторинг услуг и отслеживает их использование пользователями;
- поддерживает программируемость, самообслуживание пользователей и взаимодействие между операторами;
- поддерживает динамическую масштабируемость сетевых ресурсов;



Источник: МСЭ-Т

Рис.6. Услуги с инжинирингом времени в "Сети-2030"

Таблица 1. Базовые услуги с инжинирингом времени. *Источник: МСЭ-Т*

Позиционирование во времени	Критерий получения данных	Варианты использования услуг	Масштаб времени
Услуга своевременной доставки (in-time)	Не позже заданного момента времени	Управление производством Удаленная хирургия	t ~ 1–10 мс
Услуга доставки в заданный интервал времени (on-time)	В рамках определенного узкого интервала времени	Мгновенное реагирование на чрезвычайную ситуацию Согласованные по времени действия (например, управление роем дронов)	Δt ~ 1 мс
Услуга скоординированной доставки	Относительно других потоков	Мультисенсорная связь Коммуникации беспилотного транспорта	t< 5 мс

- поддерживает различные величины высокой доступности от физического уровня до уровня приложений;
- поддерживает "оплату по мере использования" (т.е. биллинг на основе использования сетевых ресурсов).

Услуги "Сети-2030"

Для реализации сетевых приложений в рамках концептуальной модели "Сети-2030" могут быть задействованы два вида сетевых услуг: базовые (Foundational) и составные (Compound) (см. рис.5) [6].

Базовая сетевая услуга – услуга, требующая специальной поддержки на некоторых или на всех узлах сети, которые предоставляют услугу между двумя или более конечными узлами для определенного приложения. Например, в интернете такой базовой услугой является простая пересылка IP-пакетов от одного узла к другому. Но в новой сетевой модели базовые услуги, предоставляемые "Сетью-2030", имеют дополнительные свойства, например временные параметры доставки пакетов.

Составная сетевая услуга – это услуга, которая может состоять из одной или нескольких базовых. Составные услуги – это своего рода "комплексное меню", объединяющее несколько базовых услуг для удовлетворения требований определенных приложений. В общем случае составные услуги не определяют какую-либо новую сетевую услугу на уровне сетевого узла (поэтому они и показаны на рис.5 пунктиром).

"Сеть-2030" использует время как главное свойство реализуемых услуг, то есть поддержка точности времени при доставке данных является фундаментальным свойством базовых услуг. Все базовые услуги "Сети-2030" могут быть отнесены к одному из трех типов услуг с инжинирингом времени (time-engineered) (рис.6) [6].

Услуги своевременной доставки (in-time) обеспечивают доставку пакетов с гарантией максимальной задержки, то есть пакеты могут быть доставлены в любое время, но не позже крайнего срока T_1 (рис.6а). Типичными приложениями, которым могут потребоваться услуги этого типа, являются приложения в реальном времени и мультимедийные приложения, поддерживающие возможности буферизации.

Услуги доставки в заданный интервал времени (on-time) обеспечивают поступление данных в рамках определенного временного окна Δt (рис.6б). Подобно услугам in-time, они ограничивают максимальную задержку, которую нельзя превышать. Кроме того, они поддерживают еще и минимальную задержку. Пакет должен быть доставлен не позднее верхней границы временного окна T_1, но также не ранее нижней границы временного окна T_2. Такие услуги обычно должны работать с высокоточной временной шкалой (например, микросекунды или миллисекунды) и обеспечивают детерминированные задержки. К примеру, в промышленных приложениях контроллеру может потребоваться отправить команды на серию устройств, причем каждое устройство должно получать команду в определенное время для работы в квазисинхронизированном режиме.

Услуги скоординированной доставки (coordinated services) обеспечивают гарантированную доставку пакетов нескольких взаимозависимых или связанных потоков данных (от одного или нескольких источников информации) (рис.6в). Доставка с использованием этих услуг гарантирует сохранение зависимостей и временных ограничений, наложенных на потоки услугами или приложениями верхнего уровня. Например, приложения, поддерживающие голографическое восприятие, могут передавать разные ощущения человека в разных потоках данных. Хотя обоняние и прикосновение не обладают таким же уровнем чувствительности, как видео, но они

Таблица 2. Составные услуги в "Сети-2030". *Источник: МСЭ-Т*

Составная услуга	Критерий	Вариант использования	Временные рамки*
Голографические коммуникации	Координация, зависимость от времени и высокая пропускная способность	Требования высокой пропускной способности, различная кодировка для телеконференций вместо медицинских изображений 3D	~ 30 мс
Цифровая телепортация	Координация, синхронизация	Цифровая воспроизводимая среда обитания	~ 30 мс
Тактильные коммуникации	Зависимость от времени и надежность (нулевая потеря пакетов)	Различные кодировки тактильных ощущений, необязательные требования к высокой пропускной способности, быстрые ответы	< 10 мс

* Примечание: Временные рамки зависят от физических расстояний между конечными точками, приведенные цифры являются обобщенными.

все равно должны быть синхронизированы относительно визуального восприятия, чтобы обеспечить почти реальное ощущение. В табл.1 показаны свойства базовых услуг "Сети-2030" с инжинирингом времени и варианты их использования [6].

Другой базовой услугой в "Сети-2030" является **услуга качественной доставки (qualitative communication)**, которая предполагает возможность сети различать части содержимого пакетов. При перегрузке вместо того, чтобы отбрасывать пакет целиком, как это происходит сегодня, этот механизм позволяет сети отбрасывать лишь менее значимые части или части с более низким приоритетом. Таким образом, сеть позволяет избежать критических потерь, обеспечивая повторную передачу только существенно необходимых данных. Реализация таких услуг будет чрезвычайно полезна для приложений просмотра веб-страниц (которые предпочитают отбрасывать менее важную информацию в пользу более ценной) или мультимедийных приложений с высокой пропускной способностью, где для определенных изображений на экране с менее важной информацией может использоваться более низкое разрешение.

Существуют коммуникационные услуги, которые зависят не от одного, а от нескольких ограничений. Приложения, требующие различной степени детализации как по времени доставки, так и по скорости передачи данных, описываются как составные услуги "Сети-2030". Коммуникации голографического типа и тактильные коммуникации являются примерами таких составных услуг, поскольку они реализуются с использованием определенных комбинаций различных временных гарантий, надежности новых услуг с гарантированным временем доставки и уже существующих услуг с гарантированной пропускной способностью. Еще одна составная услуга, предусмотренная в "Сети-2030", называется цифровой телепортацией, при которой наличие полной трехмерной цифровой проекции человека с задействованными несколькими чувствами действительно имитирует удаленное присутствие. В табл.2 показаны характеристики составных услуг в "Сети-2030" и варианты их использования [6].

Выводы

Ограниченный объем статьи не позволяет рассмотреть все аспекты построения "Сети-2030", которые были рассмотрены фокус-группой FG NET-2030. Например, ею были исследованы вопросы реализации сетей доступа и граничных сетей, будущей интегрированной наземно-космической сети, маршрутизации и адресации, безопасности, качества обслуживания QoS, управления сетью и др. Все эти результаты исследований опубликованы в технических отчетах и рабочих материалах фокус-группы, которые доступны на сайте МСЭ.

В целом, фокус-группа справилась с поставленной задачей определения базовых принципов построения "Сети-2030", включая общее видение ее архитектуры, принципов и технологий реализации и предоставляемых услуг. И весьма отрадным является участие в данном исследовании отечественных специалистов, что случается не так часто в работе международных организаций в области связи.

Учитывая небольшой срок проведения исследования и ограниченный задействованный ресурс исполнителей вряд ли стоило ожидать от фокус-группы разработки новых концептуальных и технологических ноу-хау в области дальнейшего развития IP-сетей (новые протоколы и механизмы маршрутизации, обеспечения сетевой безопасности, поддержки гарантированного качества услуг QoS, передачи пачек пакетов и др.). Поэтому

предложенные общие подходы для реализации "Сети-2030" являются скорее эволюционным развитием идеологии пакетных мультисервисных сетей NGN/FN, нежели кардинальной перестройкой сетей фиксированной связи в перспективе после 2030 года.

Сложность решаемой задачи прогнозирования с учетом неопределенности многих положений (и прежде всего, того, какие новые инфокоммуникационные технологии и какие услуги и спрос на них могут возникнуть в перспективе) оставляет проблему определения ближайшего и отдаленного будущего сетей фиксированной связи открытой. Ее решение во многом будет определяться практикой построения сетей мобильной связи 5G/6G, которые для передачи своего трафика используют фиксированную транспортную инфраструктуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Степутин А.Н., Николаев А.Д.** Мобильная связь на пути к 6G (в 2-х т.). М.: Инфра-Инженерия, 2017.
2. **Бжезинский К.М.** Сети ISDN. М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
3. **Росляков А.В.** и др. Сети следующего поколения NGN. М.: Эко-Трендз, 2008.
4. **Росляков А.В., Ваняшин С.В.** Будущие сети (Future Networks). Самара: ПГУТИ, 2015.
5. **Росляков А.В.** Будущие сети: обзор подходов к новой телекоммуникационной парадигме // Электросвязь. 2020. № 9. С. 30–37.
6. Network 2030. A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond. FG-NET-2030. Geneva, 2019.
7. ITU-T FG NET-2030 Technical Report "Gap Analysis of New Services, Capabilities and Use Cases for the Networks in 2030 and Beyond". Geneva, 2020.
8. ITU-T FG NET-2030 Technical Specification "Network 2030 Architecture Framework". Geneva, 2020.
9. ITU-T FG NET2030 Technical Report "Representative Use Cases and Key Network Requirements for Network 2030". Geneva, 2020.
10. **Li R.** 5th ITU-T Workshop on Network 2030 Concluding Remarks // 5th ITU-T Workshop on Network 2030. Geneva, October 14–16, 2019.
11. ITU-T FG NET2030 Deliverable "New Services and Capabilities for Network 2030: Description, Technical Gap and Performance Target Analysis". Geneva, 2019.
12. ITU-T FG NET2030 Technical Report. "Network 2030 – Additional Representative Use Cases and Key Network Requirements for Network 2030". Geneva, 2020.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:

Д. Миноли

ИННОВАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

при поддержке Филиала АО «ОРКК» – «НИИ КП»

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. — 446 с., ISBN 978-5-94836-545-9

Цена 1188 руб.

Книга является обзором ключевых достижений в области коммерческой спутниковой связи. В ней ставится вопрос о том, какими могут быть новые возможности для конечных пользователей и поставщиков услуг в использовании новейших быстроразвивающихся инноваций в этой области (расширение спецификации DBV-S2 (DVS-S2X)), технологий спутниковых каналов с высокой пропускной способностью (HTS, High throughput satellite), методов спутникого применения решений M2M (machine-tomachine) и т. д.).

Издание можно считать справочным пособием, так как в вводную главу включен справочный технический материал, который будет служить в качестве учебника по спутниковой связи для начинающих.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

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