

# Виртуализация сетевых функций NFV как аналог параллельных сетей в эпоху КОММУТАЦИИ КАНАЛОВ

М.А. Шнепс-Шнеппе

**Аннотация**— В настоящее время происходит кардинальное изменение парадигмы телекоммуникаций – переход от традиционных сетей коммутации каналов к новым мультисервисным сетям, которые строятся на принципах коммутации пакетов. Ранее для каждого вида связи (службы речевого обмена, службы документальной электросвязи и службы мультимедиа) существовали отдельные сети, при этом свободные ресурсы одной сети не могли использоваться другой сетью. Мультисервисная сеть позволяет отказаться от многочисленных наложенных вторичных сетей, образует единую информационно-телекоммуникационную структуру, которая поддерживает все виды трафика (данные, голос, видео). Наиболее быстро развиваются мобильные сети. Новейшим направлением является сеть 5-го поколения 5G. Эти сети строятся по методологии виртуализация сетевых функций NFV. При этом происходит перенос функций аппаратуры на универсальные вычислительные средства. Затем на их основе организуется множество виртуальных параллельных сетей, что имеет аналогию с наличием нескольких параллельных сетей в эпоху коммутации каналов. Статья имеет своей целью обучение. В ней рассказано, что такое виртуализация сетевых функций NFV, изложены основы сетей 5G, описаны схемы расслоения (slicing) сети, что и обеспечивает организацию параллельных сетей, показано, как обеспечивается качество связи QoS. Приведены примеры реализации новейших сетей для экстренных служб.

**Ключевые слова**— коммутация каналов; коммутация пакетов; виртуализация сетевых функций; мобильная сеть 5G; расслоение сети; сеть для экстренных служб.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В конце 1960-х гг. было принято решение о создании в стране Единой автоматизированной сети связи (ЕАСС), которая бы объединила все сети электросвязи независимо от их ведомственной принадлежности. Создание ЕАСС базировалось на объединении разрозненных и многочисленных мелких сетей в общегосударственные сети каждого вида электросвязи, а затем в единую сеть с целью совместного использования определенных технических средств, и в первую очередь систем передачи и коммутации.

Однако в конце XX века ход развития технического

прогресса predetermined изменения в концепции построения сети связи. Взаимозависимая сеть связи Российской Федерации (ВСС РФ), согласно Закону «О связи», является частью инфраструктуры страны и представляет собой совокупность сетей, служб и оборудования связи, расположенных и функционирующих на территории страны.

В техническом плане функционирование ВСС РФ базируется в основном на принципах коммутации каналов. Вся сеть связи страны подразделяется на две взаимосвязанные составляющие: первичную сеть и вторичную сеть.

Первичная сеть - это совокупность всех каналов без подразделения их по назначению и видам связи. В состав ее входят линии и каналообразующая аппаратура.

Вторичная сеть состоит из каналов одного назначения, образуемых на базе первичной сети. К вторичным сетям относятся следующие сети: телефонные сети общего пользования - ТФОП, сети передачи данных - СПД, телеграфные, передачи газетных полос, звукового и телевизионного вещания. Для каждого вида связи существует отдельная сеть, которая требует технического обслуживания, при этом свободные ресурсы одной сети не могут использоваться другой сетью.

На вторичных сетях образуются службы электросвязи. Различают три основных вида служб электросвязи: службы речевого обмена, службы документальной электросвязи и службы мультимедиа (рис. 1).



Рис. 1. Традиционные службы электросвязи

В настоящее время происходит кардинальное изменение парадигмы телекоммуникаций - переход к мультисервисным сетям, которые строятся на принципах коммутации пакетов. Мультисервисная сеть позволяет отказаться от многочисленных наложенных вторичных сетей, образует единую информационно-телекоммуникационную структуру, которая

поддерживает все виды трафика (данные, голос, видео) и предоставляет все виды услуг (традиционные и новые, базовые и дополнительные) в любой точке, в любое время, в любом наборе и объеме. Требования к мультисервисным сетям пока не нашли должного отражения в Законе «О связи».

Наиболее быстро развиваются мобильные сети. Новейшим направлением в области мобильных сетей является сеть 5-го поколения 5G или, по международной терминологии, IMT-2020 (International Mobile Telecommunications for 2020 and beyond). На рис. 2 показана схема организации множества приложений в сети IMT-2020. Тем самым предлагается множество параллельных сетей, как и ранее в эпоху господства коммутации каналов, но уже в новых условиях пакетной коммутации.

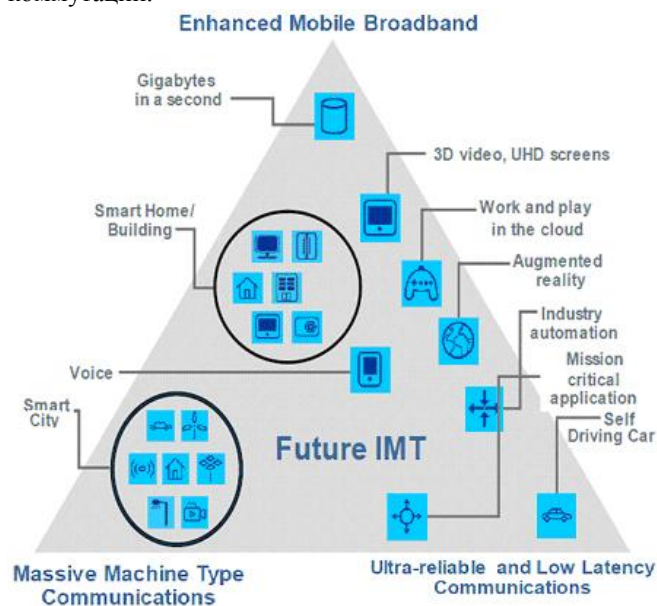


Рис. 2. Сценарии использования сети IMT-2020

Реализация нового принципа организации параллельных сетей основано на новом подходе к организации самой мультисервисной сети, а именно, к виртуализации сетевых функций NFV, что изложено ниже в разделе 2. Далее, в разделе 3 изложены основы сетей 5G, а в разделах 4-5 описаны схемы расслоения (Slicing) сети, что и обеспечивает организацию параллельных сетей, показано, как обеспечивается качество связи QoS. В разделах 6-7 приведены примеры реализации новейших сетей для экстренных служб.

## II. ЧТО ТАКОЕ ВИРТУАЛИЗАЦИЯ СЕТЕВЫХ ФУНКЦИЙ NFV

Виртуализация сетевых функций (Network Functions Virtualization, NFV) — это новая концепция сетевой архитектуры, в основу которой лежит перенос функций аппаратуры на универсальные вычислительные средства (рис. 3) и организация затем на их основе множества виртуальных параллельных сетей.

Например, виртуализированный граничный контроллер сессий может быть развернут для защиты сети без обычных затрат и сложности получения и установки физических устройств. Другие примеры NFV включают виртуализированные балансировщики

нагрузки, брандмауэры, устройства обнаружения проникновения и ускорители WAN. По идее, предполагается, что приложения (Virtual Appliance) разрабатывают независимые разработчики (Independent Software Vendors).

Архитектуру виртуализации сетевых функций (NFV), разработанную институтом ETSI, описывает документ ETSI GS NFV-0010 V0.1.7. Архитектура NFV включает следующие основные элементы:

- VNF (Virtual Network Function) – виртуальная сетевая функция, например: DNS, DHCP, коммутатор, маршрутизатор, балансировщик или базовая станция и т.д.
- EMS (Element Management System) – система управления и администрирования одной или несколькими VNF.
- NFV Orchestrator – администрирование инфраструктуры NFV программными ресурсами, создание законченных услуг из множества VNF.
- VNF Manager – обеспечивает жизненный цикл VNF, в него входят: инсталляция, активация, масштабирование, обновление и ликвидация.

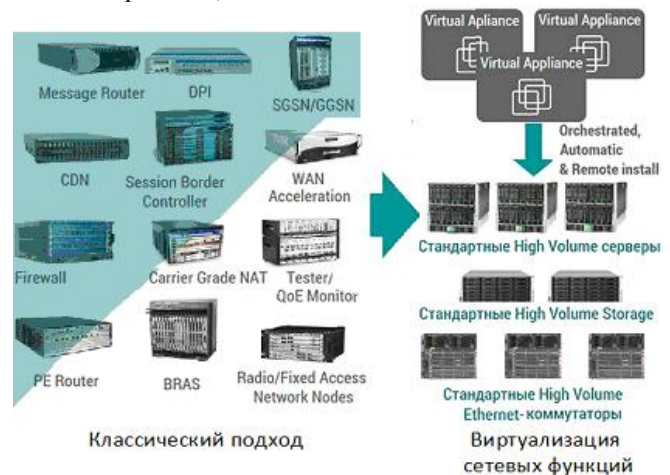


Рис. 3. Схема перехода к NFV

## III. ПЯТОЕ ПОКОЛЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 5G

В настоящее время названы следующие требования к 5G:

- Скорость передачи данных от 10 Мбит/с для нескольких десятков тысяч подключений;
- Скорость передачи данных от 100 Мбит/с для крупных городов с пригородами;
- Скорость передачи данных от 1 Гбит/с для пользователей, находящихся на одном этаже здания;
- Поддержка подключения 10-100 тысяч устройств в беспроводных сенсорных сетях;
- Задержка сигнала до 10 мс;
- Увеличение эффективности использования полосы пропускания, по сравнению с 4G;
- Увеличение охвата связи;
- Увеличение сигнальной эффективности сети.

Основной смысл 5G-сети состоит в том, что они создадут новые возможности для пользователей, такие как Интернет вещей, широкополосные медиасервисы, в том числе связь в реальном времени в районах

природных катастроф.

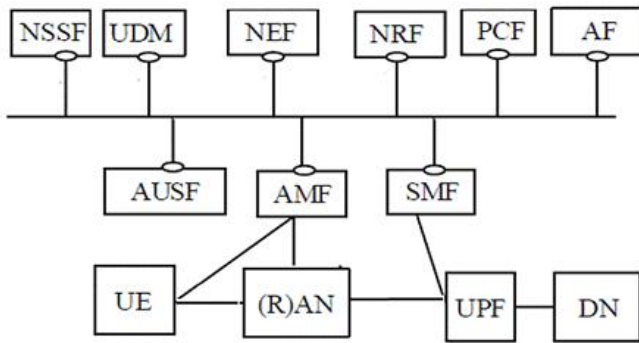


Рис. 4. Функциональная архитектура 5G: вариант отсутствия роуминга (по TS 23.501)

Обозначения на рис. 4:

UE и (R)AN представляют собой мобильное устройство и сеть радиодоступа,

UPF - это функция User Plane, несущая пользовательские данные,

DN - сеть данных, которая является внешней по отношению к сети 5G,

AMF (Access and Mobility Management Function) - функция управления доступом и мобильности,

SMF (Session Management Function) - функция управления сеансом,

AUSF (Authentication Server Function) - функция сервера аутентификации, контролирует аутентификацию UE,

UDM (Unified Data Management) содержит данные абонента и примерно соответствует HSS в сетях 4G,

PCF (Policy Control Function) - функция управления политикой и AF - функция приложения; они отвечают за обслуживание трафика, в том числе за качество связи QoS,

NSSF (Networks Slice Selection Function) - функция выбора слоев сетей, представляет собой важнейшую новую функцию в 5G,

Наконец, NRF (Network Repository Function) - функция регистра сервисов сети и NEF (Network Exposure Function) - функция сетевого показа: они позволяют обнаруживать сервисы и оказывать услуги третьим сторонам.

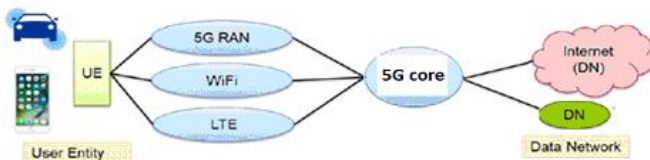


Рис. 5. Общий вид сети 5G [1]

Рис. 5 показывает совместную работу радиосетей 5G RAN, WiFi и LTE в ближайшем будущем. Все они используют единую базовую сеть 5G core. Сеть Интернета и сеть передачи данных DN являются внешними по отношению к сети 5G.

#### IV. РАССЛОЕНИЕ СЕТИ (NETWORK SLICING)

Расслоение сети (Network slicing) – это нововведение для мобильных сетей, что подробно описано в различных нормативных документах: на уровне требований (TS 22.261), на уровне архитектуры (TS 23.501) и на уровне управления (TS 28.530). Метод расслоения сети обеспечивает логическое разделение различных типов сетей с учетом множества требований. На рис. 6 показана диаграмма высокого уровня, поясняющая концепцию расслоения сети.

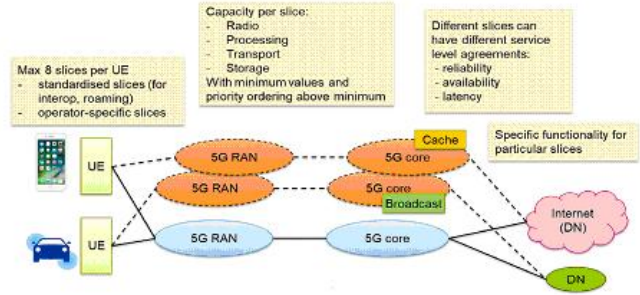


Рис. 6. Схема расслоения на сетях доступа 5G RAN и на базовых сетях 5G core [1]

Каждый слой сети может содержать определенные сетевые функции с различными характеристиками производительности. Любое устройство пользователей (User Entity, UE) может выбирать различные слои для своих сервисов, но не более 8 одновременно. Количество же слоев, предоставляемых операторами, не ограничено. Общую архитектуру расслоения сети показывает рис. 7.

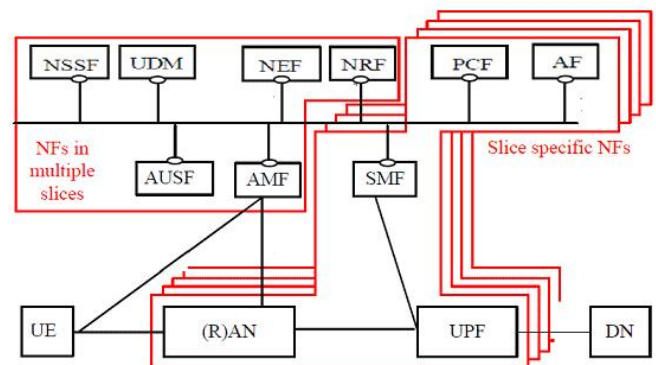


Рис. 7. Общая архитектура расслоения сети 5G (3GPP TS.23.501)

#### V. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СВЯЗИ QoS

Обеспечение качества связи в сетях 5G во многом аналогично подходам в сетях 4G. Единое устройство UE может иметь несколько каналов, называемых потоками QoS в 5G. Документ TS 23.501 содержит подробный перечень индикаторов качества потоков QFI (QoS Flow Identifier). Фрагмент этого перечня представлен в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики QoS в сетях 5G (фрагмент из Table 5.7.4-1, TS 23.501 [2])

5QI Value	Resource Type	Packet Delay Budget	Packet Error Rate	Example Services
B	Delay Critical GBR	5 ms	$10^{-5}$	Remote control
1	GBR	100 ms	$10^{-2}$	Conversational Voice
2		150 ms	$10^{-3}$	Conversational Video (Live Streaming)
65		75 ms	$10^{-2}$	Mission Critical user plane Push To Talk voice (e.g., MCPTT)
5	Non-GBR	100 ms	$10^{-6}$	IMS Signalling
6		300 ms	$10^{-6}$	Video (Buffered Streaming) TCP-based (e.g., www, chat, ftp, p2p file sharing, progressive video, etc.)

Здесь GBR = Guaranteed bit rate. Значения 5QI с экстремально низкими задержками (B-G) являются новыми в 5G. Обратим внимание, что, как и в сетях 4G, для критических сервисов (Critical Services) используются разные значения 5QI: 65, 66, 69, 70, 75, 79.

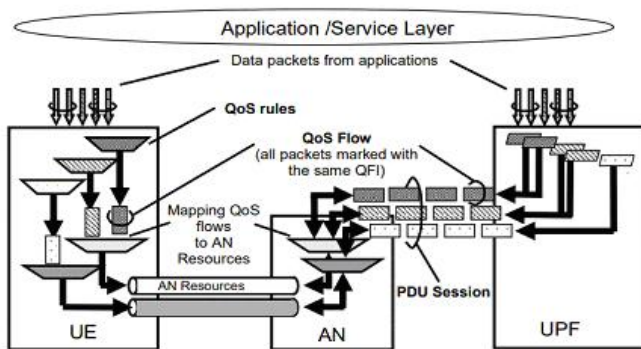


Рис. 8. Принцип образования потоков данных с различными индикаторами QoS и их прохождение через ресурсы доступа AN. Здесь: сеанс PDU (Protocol Data Unit) - ассоциация между UE и сетью данных

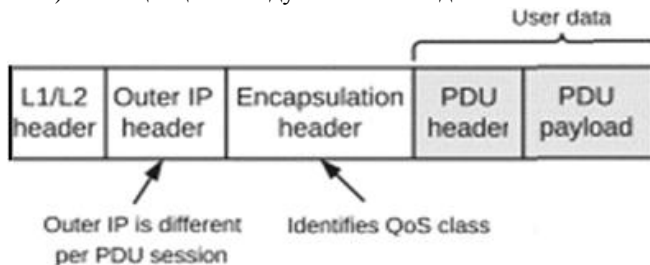


Рис. 9. Формат пакета по протоколу сеансового туннеля

Согласно архитектуре 3GPP предполагается, что базовые сети и базовые станции будут обеспечивать требуемые характеристики QoS (такие как задержка пакетов, потеря пакетов), но в имеющихся документах до сих пор не указано, какими же способами это будет обеспечено. В настоящее время в IP-сетях для QoS-дифференциации существуют такие механизмы, как

DiffServ, но они не нашли широкого использования в общих сетях. На базовых станциях характеристики QoS могут быть учтены при планировании потоков данных или в организации вариантов радиодоступа (таких, как включение/выключение коррекции ошибок).

## VI. КОММУНИКАЦИИ В СФЕРЕ ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В последнее время растет необходимость наличия высококачественной, надежной и своевременной информации для работы экстренных (аварийных) служб. Внедряется сете-центрическая концепция работы с информацией (как в военных применениях), что предполагает скорее горизонтальную, а не вертикальную (иерархическую) организацию потоков информации. Такие приложения, как доступ к различным базам данных, распространение информации об аварийной ситуации, загрузка видеозаписей, сбор данных от датчиков, обмен медицинскими данными, доступ к 3D-картам, обмен данными о местоположении объектов и их статусе, стали важной частью в повседневной работе аварийных служб. Новые технологии и инструменты, в том числе использование датчиков и беспилотных летательных аппаратов, выдвигают свои собственные коммуникационные требования. Появляются и новые методы работы, как дистанционная медицинская помощь.

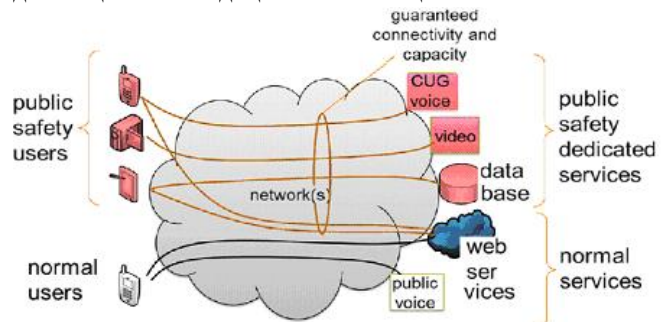


Рис. 10. Схема совместной работы экстренных служб (public safety users) и обычных пользователей (normal users) в условиях расслоения сети

## VII. FIRSTNET

Сеть FirstNet является примером реализации принципа, показанного на рис. 10. В США длительное время шли дискуссии по организации единой службы 911 (полиция, пожарные, скорая медицинская помощь итд.). Наконец, в 2012 году была создана независимая организация First Responder Network Authority под эгидой Национального управления связи и информации (National Telecommunications and Information Administration), задачей которой является создание общенациональной высокоскоростной широкополосной сети для нужд экстренных служб. Создатели FirstNet утверждают, что это обеспечит единую совместимую платформу для аварийных служб и ежедневной связи в области общественной безопасности.

Для нужд FirstNet выделяется общенациональный спектр в области частот 700 МГц (рис. 11), что положит

конец многолетним спорам о взаимодействии операторов страны в обслуживании вызовов 911, а также обеспечит безопасность общения населения и аварийных служб. Блоки зеленого цвета представляют собой общедоступную федеральную безопасную широкополосную систему (BB) в диапазоне от 758 МГц до 768 МГц и от 788 МГц до 798 МГц. Узкополосный (NB) спектр представлен в оранжевых цветовых блоках от 769 МГц до 775 МГц и от 799 МГц до 805 МГц. Эта часть полосы общественной безопасности доступна для голосовой связи местных органов общественной безопасности. Федеральный закон, по которому создается сеть FirstNet, требует выполнения технических требований LTE, т.е. 4G.

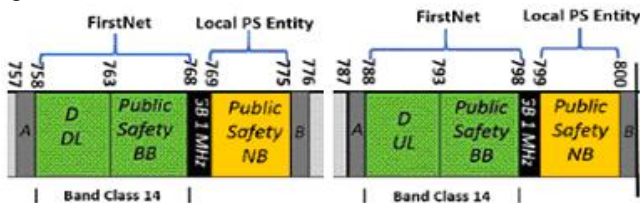


Рис. 11. Радио-спектр федеральной сети FirstNet.

FirstNet отвечает за создание единой базовой сети пакетной коммутации (packet core network) для общенационального использования. Ядро сети настроено на взаимодействие с другими государственными, местными и федеральными сетями, включая 911 и Интернет. Согласно концепции FirstNet, ядро служит гигантским зонтиком, охватывающим все Соединенные Штаты. Ядро подключается к сетям радиодоступа в каждом штате. По сути, ядро служит гигантским зонтиком, охватывающим все Соединенные Штаты, включая территории и округ Колумбия. Первоначальное моделирование показало, что для покрытия не менее 99% населения страны и национальной сети шоссе дорог потребуется установка десятков тысяч новых базовых радиостанций.

Пользователи FirstNet смогут использовать любые устройства: от смартфонов до ноутбуков, планшетов и широкого спектра специализированных устройств (рис. 12). Цель состоит в том, чтобы создать достаточно прочные устройства, выдерживающие различные внешние воздействия, но одновременно - достаточно простые в использовании и удобно переносимые. Конечно, устройства должны обеспечивать безопасность связи. Передаваемый пользовательский трафик может содержать голос, данные и видео и, безусловно, сигнализацию от базовых станций радиосвязи к базовой

сети.

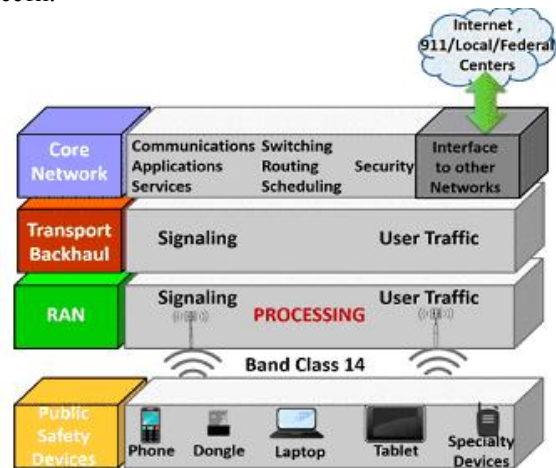


Рис. 12. Инфраструктура FirstNet [3]

## VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статья имеет цель ознакомления с новейшими тенденциями в области телекоммуникаций. В настоящее время происходит кардинальное изменение парадигмы телекоммуникаций. Происходит переход от традиционных сетей коммутации каналов к новым мультисервисным сетям, которые строятся на принципах коммутации пакетов. Рассказано, что такое виртуализация сетевых функций NVF, изложены основы сетей 5G. Описаны схемы расслоения (Slicing) сети, то есть организацию множества параллельных виртуальных сетей, что имеет аналогию с наличием параллельных вторичных сетей в эпоху коммутации каналов. Показано, как в условиях NVF обеспечивается качество связи QoS. Приведены примеры реализации новейших сетей для экстренных служб.

## БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] P.A. Nooren, N.W. Keesmaat, A.H. van den Ende, A.H.J. Norp "5G and Net Neutrality: a functional analysis to feed the policy discussion", TNO 2018 R10394, 1.0, 13 April 2018
- [2] ETSI TS 123 501 V15.2.0 (2018-06) 5G; System Architecture for the 5G System (Release 15)
- [3] Phillip Tracy "Understanding FirstNet, the post-9/11 public safety initiative", August 31, 2016 <http://www.rcrwireless.com/20160831/fundamentals/firstnet-tag31-tag99> Retrieved: Sept 2018.

# Network Function Virtualization NNF as an analogue of parallel networks in the era of circuit switching

Manfred Sneps-Sneppe

*Abstract*— Currently, there is a fundamental change in the telecommunications paradigm - the transition from traditional circuit switching networks to new multi-service networks, which are based on the principles of packet switching. Previously, there were separate networks for each type of communication (voice exchange services, documentary telecommunication services, and multimedia services), while the free resources of one network could not be used by another network. A multiservice network allows using a single information and telecommunications structure that supports all types of traffic (data, voice, video). The mobile networks are the fastest growing. The newest direction is the 5th generation 5G network. These networks are built according to the methodology of network functions virtualization NFV, based on the transfer of hardware functions to universal computing facilities. Then, on their basis, many virtual parallel networks are organized, which has an analogy with the presence of several parallel networks in the era of circuit switching.

The article has a learning goal. It describes how network functions are virtualized, outlines the basics of 5G networks, describes the network slicing schemes, which ensures the organization of parallel networks, and shows how QoS quality is ensured. Examples of the implementation of the latest networks for emergency services are given.

*Keywords*— circuit switching; packet switching; network function virtualization; mobile network 5G; network slicing; emergency services network; FirstNet.