

## **ВИРТУАЛИЗАЦИЯ НА МРЕЖОВИТЕ ФУНКЦИИ ПРИ МРЕЖИТЕ ОТ ПЕТО ПОКОЛЕНИЕ 5G**

**Георги Димитров**  
[g.dimitrov@nvna.eu](mailto:g.dimitrov@nvna.eu)

**ВВМУ“Н.Й.Ванцаров“**  
**Варна 9026, ул. “Васил Друмев“ 73**  
**БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи.** Функции на мобилната мрежа, оперативна ефективност, мобилен трафик, 5G, виртуални мрежови функции*

***Резюме.** Мобилните мрежи от пето поколение си проправят път, който води до бъдещо повсеместно свързване на устройствата, мобилните приложения и качеството на потребителския опит. За да реализират новия си потенциал, мрежите от пето поколение трябва да осигурят значително по-голям мрежов капацитет, да се създаде възможност за свързаност на устройства с намалена латентност и цена и да се постигнат значителни енергоспестяващи икономии в сравнение със съществуващите безжични технологии. Основната цел на тази статия е да се проучат потенциалните възможности за виртуализация на мрежовите функции с цел подобряване на функционалната, архитектурната и търговска жизнеспособност на 5G мобилните мрежи. Това включва повишената автоматизация, оперативна гъвкавост и намалени капиталови разходи. Групата за специфициране на индустриални спецификации на ETSI публикува проекти, насочени към стандартизация и прилагане на виртуализация на мрежовите функции.*

**1. Въведение.** През последното десетилетие безжичните технологии се очертават като една от най-значимите тенденции в мрежовата свързаност. Тази тенденция се очаква да продължи и в бъдеще при много по-бързи темпове на растеж. До 2018 г. глобалният мобилен трафик ще се увеличи от 2,6 на 15,8 екзабайта. Решаването на проблема с очаквания експоненциален растеж на мултимедийните услуги подчертава необходимостта от развитие на клетъчни мрежи. За тази цел петата генерация мрежи (5G) ще поддържа 1000 пъти по-висока скорост на данните, като същевременно ще позволи 100 пъти увеличаване на броя на свързаните устройства, 5 пъти намаляване на латентността и 10 пъти увеличаване на живота на батерията [1]. За да се отговори на очакваното подобрене на капацитета и масовото свързване на устройствата, мрежите от пето поколение 5G се концентрират върху ефективността, мащабируемостта и гъвкавостта. За да поддържат своята търговска жизнеспособност, 5G мрежите трябва да бъдат значително по-ефективни по отношение на енергията, управлението на ресурсите и цената на битовите информация. Свързването на огромен брой крайни устройства, захранвани от батерии, изисква разработването на

мащабируеми и гъвкави мрежови функции. Тези цели означава намиране на иновативни, но прости реализации на мрежовите функции. Например, може да се подобри практическата работа на потребителите и връзката в права и обратна посока с помощта на координирано и комбинирано предаване на сигнали от множество антени, клетки, терминали и сайтове. Координираното подравняване на смущенията води до увеличаване на режима на сигнализация и увеличаване на разходите за пренос и оборудване. Петото поколение мрежи 5G трябва да съществува съвместно и с наличните технологии като 2G, 3G и 4G. Това изискване само по себе си увеличава неограничено разходите и сложността на системата. Такива предизвикателства могат да бъдат решени чрез виртуализация на мрежовите функции.

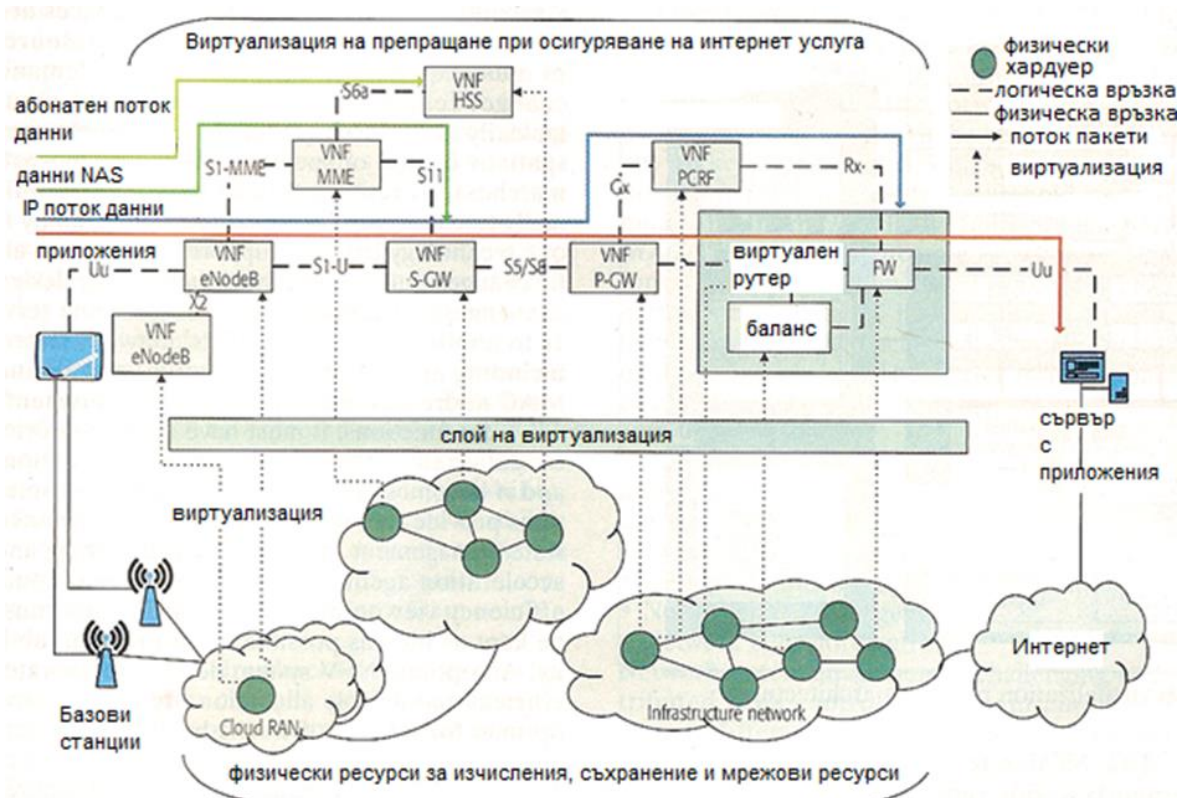
Нарастваща група компании и стандартизационни организации насочват разработките си към такава виртуализация, която до подобри рентабилността, гъвкавостта и производителността на клетъчните мрежи. Функциите на мрежата се поемат от софтуерни модули, наречени виртуални мрежови функции – VNF. Тези модули работят на високопроизводителни сървъри дори в облачно пространство вместо да се използва специализиран хардуер. Например ресурсите свързани с обработването на сигнала се прехвърлят в облачното пространство, вместо да се ползват специално предназначени базови станции (BBU) за всеки сайт. Такова обединяване на ресурси намалява и оптимизира разхода за изчисления и сигнализация, подобрява гъвкавостта, така че доставчикът на услуги активира конкретен ресурс за обработка на сигнал само за конкретни терминали в цялата мрежа, вместо да активира всички ненужни ресурси за обработка на всеки сайт.

Виртуализацията на функциите помага за преодоляване на предизвикателствата на мрежите от пето поколение като:

- осигурява оптимизирани ресурси чрез софтуер
- осигурява мобилност и мащабиране на приложенията от един хардуерен ресурс към друг
- Осигурява гаранции за изпълнение на операциите, като максимална честота на отказ, максимална латентност и допустима непланирана загуба на пакети
- Осигурява съвместно съществуване на софтуерните приложения с наличния конвенционален хардуер [2]

Бъдещата работа на инженерите ще се фокусира върху изпълнението на няколко сложни 5G виртуални функции, които да отговарят на изискванията за радио достъп (RAN) и същевременно да се съвместяват с другите технологии на предишните поколения. При Long Term Evolution (LTE) виртуализацията се среща в основната мрежа с пакети и при сайтовете, които са базирани на SDR (software defined radio) [3-6]

**1. Виртуализация на функциите и слоеве на мрежата.** Когато се осъществява виртуализация, услугите могат да се представят като препращане на свързани мрежови функции. Ако се разгледа графично, се вижда определена последователност на функциите на мрежата, които обработват различни потоци от край до край. Например на Фиг. 1 е показана опростена структура за пренасочване на мобилна интернет услуга, където потоците от данни преминават от NodeB (eNodeB) към шлюз за услуги (seGW) и след това към опорния IP гръбнак, докато стигнат до сървъра с приложенията. Протоколите за управление (NAS) преминават през различни мрежови функции за контрол на мобилността, удостоверяване и прилагане на политики. За разлика от настоящите клетъчни структури, при които определена функция е активирана в мрежата, на графиката е показано препращане което позволява при 5G да се активират отделни характеристики на услугата.



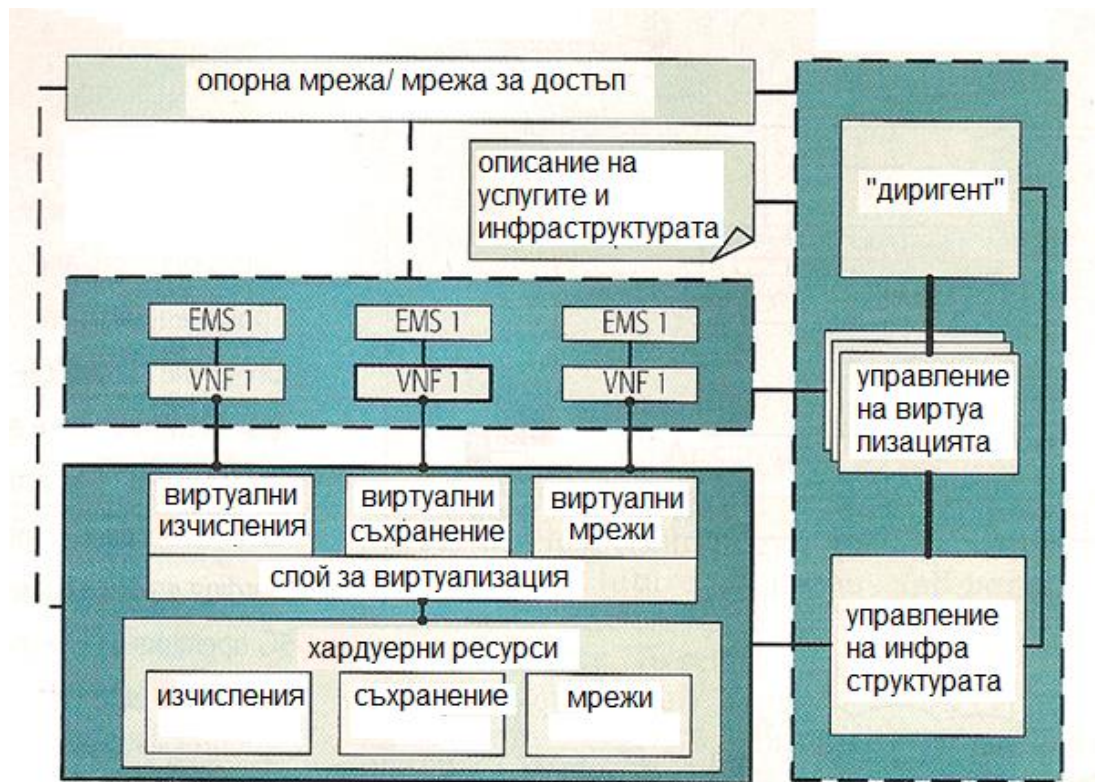
Фиг.1 Виртуализация на преpraщане при осигуряване на интернет услуга

Мрежовите функции се виртуализират, като се използва отделен слой, който отделя дизайна от изпълнението. Това води същевременно до добра ефективност, гъвкавост, производителност и бързодействие. Мрежовите функции, които могат да бъдат виртуализирани включват:

- Основни функции, като управление на мобилността и „шлюз“ за превключване на пакети и услуги
- Функции на базовите станции, управление на достъпа до средата, управление на радиовръзката и на ресурсите[7]
- Превключване на трафика
- Балансиране на натоварването
- Услугите на центъра за обслужване на мрежата

Архитектурата на този процес на виртуализация (Фиг.2) осигурява широкия спектър от услуги, представени на фигурата. Те „диктуват“ развързването на функциите и работата при разнообразните процеси на изчисляване, съхранение и мрежова свързаност[2]. Както е показано на фиг. 2, хардуерните ресурси за изчисляване и съхранение обикновено се обединяват и взаимосвързват чрез мрежата. Другите части от мрежата отговарят за връзка с външни мрежи и стандартни функции, което позволява интегрирането на съществуващите технологии с тези на 5G. Такава виртуализация включва модули за осигуряване на ресурси. Управляването (фиг.2) се състои в две основни функции: опериране и ресурсно осигуряване. Това означава управление на инфраструктурата, контрол на грешките, осигуряване на производителността, планиране на капацитета и оптимизация. С предоставянето на ресурси трябва да се осигури оптимално разпределение и оптимална връзка между функциите, икономия на енергия и възстановяване на ресурси. В структурата има изчислителни ресурси, ресурси за съхранение на информацията и мрежови ресурси. При 5G, чрез динамично разпределение на ресурсите и балансиране на натоварването с

трафик, се постига ефективна организация за намаляване на капиталовите и оперативните разходи, както и по-лесна експлоатация и поддръжка [8].



Фиг.2 Архитектура на процеса на виртуализация на функциите на мобилната мрежа

## 2. Проблеми свързани с мрежата при виртуализация на функциите

Срещат се следните проблеми: наследени от мрежовата свързаност на многото потребители и такива – присъщи за виртуалната мрежа

### 2.1. Проблеми от свързаност

Когато се проектират платформи които работят с виртуални функции, времето за възстановяване след срив при налично резервиране трябва да е по-малко от секунда. Всички клетъчни услуги са динамични по природа и физическият ресурс трябва да се разширява и свива според потреблението. Това е известно като „еластичност“. Трафикът в клетките има регулярни ежедневна и седмична повтаряемост, но също така се променя пространствено в случаи на специални извънредни събития (например спортни събития и мачове). Ресурсите трябва да бъдат разпределени оптимално, за да се справят с тези промени и такова потребление.

Една от технологиите, които могат да поддържат тези бързи промени в трафика е ползването на виртуални машини. Тук идва предизвикателството с дизайна на мрежите. Първо, мигриращите виртуални машини от един сървър към друг трябва да запазват състоянието на мрежата на виртуалната машина, включително поне физическо местоположение, IP и MAC адресите. На второ място, тъй като виртуалната машина изпълнява 5G радио функции, тя трябва да има достъп до данните за мобилните устройства, състоянията на радиоапаратурата и информация за каналите. Миграционните решения с виртуални машини трябва да осигурят възможност за разпределяне на услугите в реално време чрез локализирано кеширане и приложения за акселерация на процесите. Третата гледна точка е гледната точка на оперативната ефективност. Използването на ресурсите трябва да се поддържа възможно най-високо, за да се осигури печалба. Оптималният дизайн на системата с виртуализация включва

ефективно и гъвкаво разпределение на ресурсите и оптимално пренасочване на трафика, чрез което операторът може да реализира и мобилизира виртуални мрежи за всеки хардуер в цялата инфраструктура. Гъвкавостта на такава мрежа се свързва и с друг вид разходи. Ако поставите няколко виртуални машини на един и същ физически сървър, сървърът няма да има един адрес, а много. Превключващата мрежа ще трябва да учи адресите на отделните виртуални машини и може да се получи неконтролирано увеличение на размерите на таблиците за препращане или рутиране на трафик. Освен това, ако дадена инфраструктура е споделена между множество доставчици на услуги, разделянето на адресите става задължително, тъй като трябва да се възприеме гъвкавостта на адреса на един доставчик, докато адресното пространство може да се припокрива между доставчиците. По-конкретно, тъй като трафикът от различни доставчици споделя едни и същи мрежови ресурси, не само сигурността става предизвикателство, но трябва гъвкавост и оптимално пренасочване на трафик от една виртуална мрежа към друга.

Мрежата с виртуални функции трябва да поддържа характеристиките за мащабиране. Поради това, функции като балансиране на натоварването и разположението на виртуални машини в облачната среда трябва да става в реално време, като се поддържат хиляди виртуални функции. Концепцията с наслагване на мрежата представлява типично решение на проблемите в такава виртуализирана среда.

## **2.2. Наслагване на мрежите**

Наслагването на мрежите представлява подход който решава гореспоменатите проблеми като се използват виртуални мрежи на нива или слоеве. „Крайното устройство“, което ползва виртуални функции е софтуер, който капсулира оригиналните пакети и идентифицира дестинацията където пакетите ще бъдат декапсулирани, преди да се прехвърлят на следващата мрежа с виртуализация. Мрежата препраща пакета на базата на хедъра – заглавната част на капсулирането, без да обръща внимание на полезния товар. Крайното устройство се разглежда като физически комутатор, рутер или виртуален комутатор в мрежата.

Мрежовото наслагване притежава няколко характеристики и предимства. Ключова характеристика представлява отделянето на адресите на мрежата с виртуални функции от адресите на физическите мрежи и изолирането на трафика от множеството виртуални мрежи. Изолация на трафика се постига с факта, че пренасочването на трафик между виртуални мрежи изисква от портала този трафик да се препраща. Ако такъв шлюз липсва, препращането на трафик между виртуални мрежови операции няма да е възможно. С подобна функция, наслагването осигурява както изолация на трафика, така и гъвкавост за пренасочване на трафика между виртуалните мрежи.

Освен това, наслагването работи добре в среди, които са силно разпределени, което включва хиляди мрежи с виртуални функции. Очакваният брой на такива „крайни устройства“, необходим за внедряване в мрежа, е сравнително нисък, което е важно при мащабиране. Те могат да осигурят необходимата гъвкавост за мобилизиране на мрежата при много динамичен трафик. По принцип мигрирането на функциите предполага бърза подготовка за поддържане на потоци от маршрути в мрежата. Отчитайки недостатъците, мрежовото наслагване обикновено изисква промени, евентуално използвайки съществуващи протоколи за капсулиране или тунелиране, за да се поддържа цялостност на серията пакети. Например, протокол за генериране на капсулирани пакети информация (Generic Routing Encapsulation Protocol) (RFC 2784) може да се използва за организиране по принцип на произволна поредица през IP и за създаване на всяка мрежа от виртуални слоеве 2 над мрежата на физическия слой 3. В материала са дискутирани няколко проблема свързани с възможността да се виртуализират функциите в системата за достъп при пето поколение мобилни мрежи.

Мрежата за достъп основно разчита на цифровата обработка на сигналите извършвано в хардуера на базовите станции и съобразено стриктно с изикванията в реално време.

### **3. Изводи и заключения**

Тъй като мобилните устройства продължават да се развиват и достъпът до изчислителните облачни пространства става повсеместен, мобилните потребители очакват изключително надеждни, навсякъде и по всяко време безжични комуникационни услуги. Необходимостта от разработване на бъдещи безжични мрежи които да осигурят надеждност и ефективност на широка гама мрежови и мултимедийни услуги и приложения става критично изискване при дизайна на безжичните мрежи от следващо поколение. Разглеждайки нововъзникващите тенденции в безжичните услуги и приложения, статията се фокусира върху изследване на потенциала на виртуалните мрежови функции, които да се справят с предизвикателства и дизайнерските изисквания на мрежата за достъп от пето поколение 5G. В статията се подчертава че виртуализацията дава възможност за базова обработка и управление на радио ресурси в 5G мрежите които трябва да са гъвкави, рентабилни и „еластични“. Трябва да се обърне внимание на новите предизвикателства, които се свързват с функциите на мобилния оператор.

За тази цел са разгледани и критичните открити проблеми като нуждата от придържане към стриктно обработване в реално време, осигуряване на добро програмно ниво програмиране, постигане на ефикасно локално и глобално управление на ресурсите, алгоритмизация и изследване на компромисите при използване на виртуални машини.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1.] J. G. Andrews *et al.*, "What Will 5G Be?" *IEEE JSAC*, vol. 32, no. 6, 2014, pp. 1065-82.
- [2.] ETSI GS NFV, "Network Functions Virtualisation (NFV): Architectural Framework," 2:V1.1.1, 2013.
- [3.] I. Giannoulakis *et al.*, "On the Applications of Efficient NFV Management Towards 5G Networking," *Proc 10141st IEEE Intl. Conf. 5G for Ubiquitous Connectivity*, 2014, pp. 1-5.
- [4.] R. Guerzoni, R. Trivisonno, and D. Soldani, "SON-Based Architecture and Procedures for 5G Networks," *Proc. 1st IEEE Intl. Cant 5G for Ubiquitous Connectivity*, 2014, 2014, pp. 209-14.
- [5.] H.-H. Cho *et al.*, "Integration of SDR and SDN for 5G," *IEEE Access*, vol. 2, 2014, pp. 1196-1204.
- [6.] A. Basta *et al.*, "Applying NFV and SDN to LTE Mobile Core Gateways, the Functions Placement Problem," *Proc 4th Wksp. All Things Cellular: Operations, Applications, & Challenges*, ACM, 2014, pp. 33-38.
- [7.] A. Checko *et al.*, "Cloud RAN for Mobile Networks, A Technology Overview," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, 2014, pp. 405-26.
- [8.] E. Hernandez-Valencia, S. Izzo, and B. Polonsky, "How Will NFV/SDN Transform Service Provider OPEX?" *IEEE Network*, vol. 29, no. 3, 2015, pp. 60-67.

# NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION IN 5G NETWORKS

Georgi Dimitrov  
[g.dimitrov@nvna.eu](mailto:g.dimitrov@nvna.eu)

*Nikola Vaptsarov Naval Academy  
9026 Varna, 73, Vasil Drumev street  
BULGARIA*

**Key words.** *PLMN functions, operational effectiveness, mobile traffic, virtualization, 5G, new standards*

**Abstract.** *Fifth-generation mobile networks are paving their way to a future ubiquitous connectivity of devices, mobile specific applications and high quality of user experience. To realize such a new potential, the fifth-generation networks need to provide significantly greater network capacity, enable connectivity for devices with reduced latency and cost, and achieve significant energy savings compared to existing wireless technologies. The main purpose of this article is to explore potential network virtualization capabilities in order to improve the functional, architectural, and commercial viability of 5G mobile networks. This includes increased automation, operational flexibility and reduced capital costs. The ETSI Specification Industrial Group publishes projects aiming at standardizing and implementing network function virtualization in the near future.*