



Conteúdo

Conteúdo	1
1 Entendendo o núcleo 5G na prática através de uma implementação de código aberto	3
Introdução	3
1.1 Fundamentos de softwarização	4
1.2 Redes 5G e posteriores	9
1.3 O núcleo 5G em ação	10
1.4 Caso de uso não-3GPP	11
Bibliografia	14

Entendendo o núcleo 5G na prática através de uma implementação de código aberto

João Paulo Lobianco Silva, Samuel Wanberg, Rogério S. e Silva, Antonio Oliveira-Jr, Kleber Cardoso (Universidade Federal de Goiás) e Cristiano Bonato Both (Universidade do Vale do Rio dos Sinos)

Introdução

A Internet das Coisas e a prestação de serviços está passando por uma transformação maciça. A sociedade já aguarda a adoção de serviços como telemedicina e carros autônomos, que promoverão uma grande revolução em nossas vidas. A implantação desses serviços enfrenta desafios para atingir requisitos rigorosos de comunicação. Atualmente, a expectativa é que redes móveis 5G atendam a esses requisitos.

O projeto para redes de quinta geração (5G) está sendo guiado pelas definições do 3GPP¹ (*3rd Generation Partnership Project*). O *release 15* [1] apresentou uma nova arquitetura para redes celulares, com base em serviços e microserviços conforme apresentando na Fig. 1.1. A SBA projetada para 5G apresenta, entre outras, a separação estrutural de dados e planos de controle, alta inserção de funções virtuais, e também um novo conceito de fatiamento de rede (*Network Slicing*). A presença de fatiamento de rede nessa arquitetura visa apoiar a criação de múltiplos *End-to-End* (E2E) virtuais, isolados e individualmente focados em diferentes serviços. O *release 16* [2] tem foco na expansão 5G. Os principais pontos abordados neste lançamento são: serviço prioritário de multimídia, serviços da camada de aplicativos em V2X, acesso via satélite 5G, acesso à rede local em 5G, convergência sem fio e com fio para 5G, posicionamento e localização de terminais, comunicações em domínios verticais e automação de rede e novas técnicas de rádio [3].

Este minicurso apresentará os conceitos fundamentais para compreensão do tema,

¹3GPP-A Global Initiative: 3gpp.org/. Grupo responsável pelas especificações técnicas do 3GPP

descreverá a evolução do projeto e desenvolvimento do núcleo da rede 5G e ao final apresentará um estudo de caso do desenvolvimento de um equipamento de usuário IoT genérico com acesso não-3GPP ao núcleo da rede 5G.

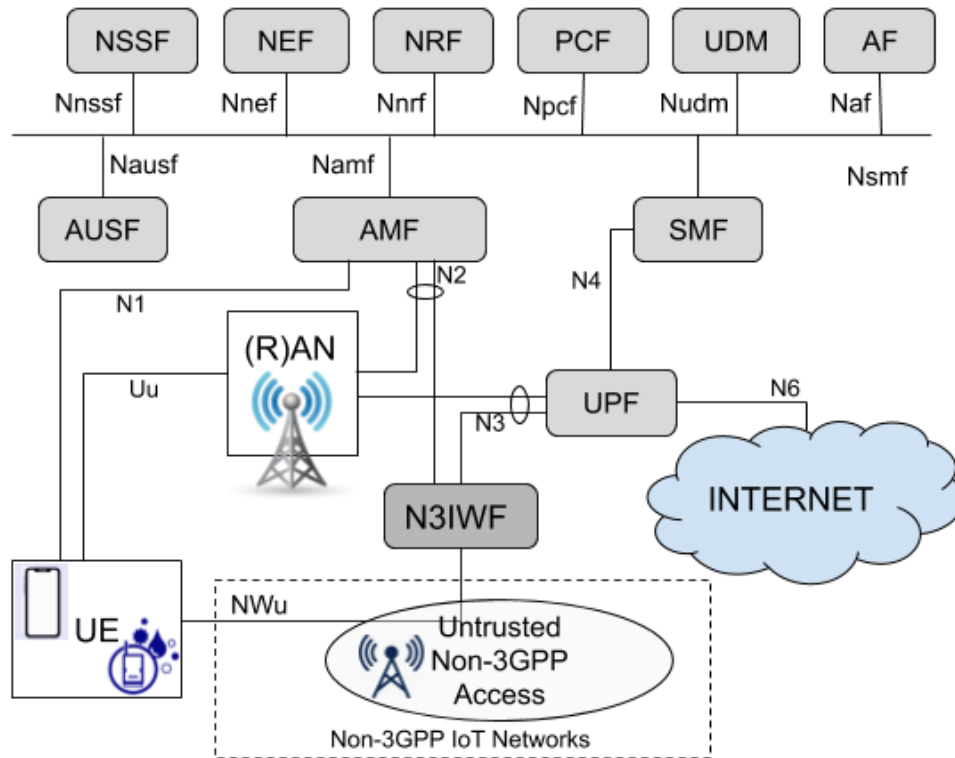


Figura 1.1 – Arquitetura para rede 5G Baseada em Serviços. Adaptado de [4]

1.1 Fundamentos de softwarização

A quinta geração da comunicação sem fio está sendo desenvolvida com o suporte das mais recentes tecnologias disruptivas. Redes definidas por software (*Software Defined Networks* - SDN), Virtualização das funções de redes (*Network Function Virtualization* - NFV), Computação em nuvem (*Cloud Computing*), Arquitetura baseada em serviços (*Service Based Architecture* - SBA) e Containerização são as principais tecnologias associadas ao desenvolvimento do Sistema 5G (5GS). Nesse ínterim, a adoção de funcionalidades desenvolvidas em software, em vez de, integradas ao hardware (softwarização), atualmente orientam o desenvolvimento das redes de comunicação, e é o caminho natural para a sua evolução.

Os 5GS visam fornecer um nível mais alto de abstração, e são projetados para simplificar o gerenciamento e as operações de rede [4]. Alguns importantes conceitos habilitadores para desenvolvimento do 5GS são apresentados em seguida.

1.1.1 Redes definidas por software

SDN (*Software Defined Networks*) é uma abordagem de rede em que o plano de controle é desacoplado do hardware específico das telecomunicações e fornecido a um aplicativo de software [5].

SDN é um paradigma de redes programáveis que foi proposto como uma abordagem para facilitar a evolução das redes. O objetivo das SDNs é fornecer uma interface de programação aberta, permitindo o desenvolvimento de aplicativos que podem controlar e gerenciar dinamicamente a conectividade entre os elementos da rede[6]. A ideia principal por trás do SDN é separar os dados do plano de controle: (1) removendo as decisões de controle do hardware, (2) permitindo que este seja “programável” por meio de uma interface aberta e (3) tendo uma entidade separada chamada “controlador” que define por software o comportamento da rede formada pela infraestrutura de encaminhamento.

Uma visão geral da arquitetura SDN é ilustrada na Figura 1.2. As camadas de aplicação, controle e infraestrutura foram referidas como planos de aplicação, controle e dados, respectivamente. Na parte superior, o plano de aplicativos contém vários aplicativos SDN que empregam APIs abertas para se comunicar com o controlador SDN.

Essas APIs são definidas como drivers e usadas como ponte para enviar os aplicativos requisitos explícitos do plano de aplicativo para o plano de controle e receber os estados da rede e eventos do plano de controle.

No meio, o controlador SDN é usado para expor a instrumentação, estatísticas e eventos dos elementos de rede dentro do plano de dados até o plano de aplicativo e converter as solicitações dos aplicativos no plano de dados. A parte inferior da Figura 1.2 representa o plano de dados que é composto por vários elementos de rede que utilizam a CDPI (Control Data Plane Interface) para expor seus caminhos de dados e recursos SDN e permitir que o controlador SDN imponha controle de baixo nível sobre os *datapaths* SDN. Além dos três planos, um plano de Gerenciamento e Administração é responsável por configurar os elementos de rede, atribuir o controlador SDN adequado aos *datapaths* e impor políticas de rede.

1.1.2 NFVs

A NFV implementa funções de rede por meio de técnicas de virtualização de software e as executa em hardware comum. Os dispositivos virtuais podem ser instanciados sob demanda sem a instalação de novos equipamentos [7].

Tradicionalmente o processamento inerente às tarefas dos componentes específicos da arquitetura das redes de comunicação estava diretamente associado aos respectivos equipamentos de hardware, alocados em racks e restritos a ampliação física de componentes para suportar aumento de escala.

A implementação das funções de rede em software surgiu como uma abordagem viável

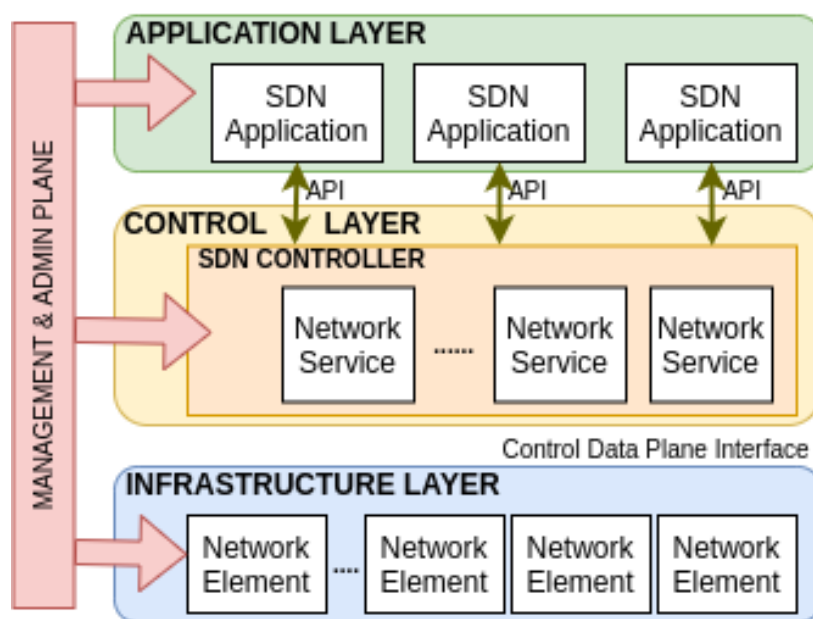


Figura 1.2 – Visão geral da arquitetura da SDN. Adaptado de [6]

para tornar os equipamentos de rede mais abertos e, portanto, permitir que os provedores de serviços de telecomunicações se tornem mais flexíveis, mais rápidos nas inovações de serviços e reduzam os custos de operação e manutenção[8, 9].

Essencialmente, a virtualização das funções de rede (*Network Function Virtualization-NFV*) implementa funções de rede por meio de técnicas de virtualização de software e as executa em hardware comum (ou seja, servidores, armazenamento e *switches*). Esses dispositivos virtuais podem ser instanciados sob demanda sem a instalação de novos equipamentos[7].

A NFV desacopla as funções de rede dos dispositivos de hardware proprietários subjacentes e as coloca em software que pode ser instanciado em vários locais da rede, sob demanda, sem a necessidade de instalar, conectar ou configurar fisicamente os dispositivos de rede[6].

A NFV impacta em uma importante mudança no fornecimento de serviços de telecomunicações. Ao dissociar as Funções de rede (NFs) dos dispositivos físicos em que são executadas, a NFV pode levar a reduções significativas de custos além de facilitar a implantação de novos serviços com maior agilidade e rapidez. [9]

A tecnologia NFV pode ser considerada erroneamente como parte das tecnologias SDN devido à semelhança da característica no aspecto das redes de computadores programáveis. No entanto, SDN e NFV são duas tecnologias independentes diferentes, com o fato de serem complementares entre si[10, 11]. A virtualização das funções de rede pode oferecer suporte ao SDN, fornecendo a infraestrutura na qual o software SDN possa ser executado. Além disso, as NFVs estão alinhadas com os objetivos da SDN para o uso de servidores e switches.

A 5G concentra seus objetivos em torno da eficiência, escalabilidade e versatilidade [8]. Esses objetivos direcionam para a busca de soluções simples e inovadoras das NFVs para o seu desenvolvimento.

A NFV capacita a infraestrutura 5G, virtualizando dispositivos dentro da rede 5G. Isto inclui tecnologia de fatiamento de rede, permitindo que múltiplas redes virtuais operem simultaneamente. A NFV pode tratar outros desafios do 5G por meio de computação virtualizada, armazenamento e recursos de rede que são personalizados com base nas aplicações e nos segmentos de clientes.

1.1.3 Cloud native

Cloud Native é um modelo para permitir acesso onipresente, conveniente e de rede sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo: redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços [12].

A computação em nuvem é um modelo para permitir acesso onipresente, conveniente e de rede sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação configuráveis (por exemplo, redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços [12].

O conceito *Cloud Native* trata da abordagem de como os aplicativos podem ser criados e operados na computação em nuvem. Esse conceito pode ser aplicado para as tecnologias, a arquitetura e as ferramentas e envolve tecnologias relacionadas a contêineres, microsserviços e APIs, entre outras.

A CNCF² define a estrutura e as restrições para que aplicações sejam consideradas *Cloud Native*. Entre as restrições estão a utilização de metodologias de microsserviços e a implantação através de contêineres. Outro pilar crítico é a orquestração dinâmica de contêineres (por exemplo, Kubernetes³, Docker Swarm⁴).

1.1.4 Arquitetura baseada em serviços

A arquitetura baseada em serviços (SBA) é um padrão arquitetural que enfatiza o uso de serviços como componente principal para implementar as funcionalidades em sistemas. Ela fornece uma estrutura modular na qual as funcionalidades podem ser implantadas por meio de interfaces que possibilitam o fornecimento e consumo de serviços [13]. Um serviço é uma unidade funcional que pode ser acessada remotamente, com atuação e atualização independentes. Para Hedman [4], o núcleo da rede 5G está sendo projetado para usufruir dos benefícios de uma SBA (p.ex. (i) desenvolvimento e manutenção mais eficiente, (ii) microsserviços associados a recursos individuais, (iii) instâncias de microsserviços sob demanda para melhor escalabilidade e (iv) ciclos de vida independentes para os

²Cloud Native Computing Foundation - <https://github.com/cncf/toc/blob/master/DEFINITION.md> - Acessado em 16/05/2020

³Kubernetes: <https://kubernetes.io/> - Acessado em 16/05/2020

⁴Docker Swarm: <https://docs.docker.com/get-started/swarm-deploy/> - Acessado em 16/05/2020

microserviços na atualização do software).

O 3GPP[1] definiu para o desenvolvimento do núcleo 5G uma SBA, em que a funcionalidade do plano de controle e os repositórios de dados comuns de uma rede 5G são entregues por meio de um conjunto de NFs (Network Functions) interconectadas, cada uma com autorização para acessar os serviços uma da outra. Comparada às gerações anteriores, a arquitetura do sistema 3GPP 5G está sendo projetada baseada em serviços[1, 2, 4]. Isso significa que os elementos arquiteturais que comporão o sistema 5g deverão ser definidos como funções de rede (NFs) que oferecem seus serviços por meio de interfaces de uma estrutura comum a quaisquer outras NFs que tenham permissão para fazer uso desses serviços. Isso possibilita um desenvolvimento mais flexível de novos serviços, pois torna-se possível conectar outros componentes sem introduzir novas interfaces específicas. A figura 1.3 apresenta um modelo simplificado de chamadas de APIs para exemplificar a SBA 5G.

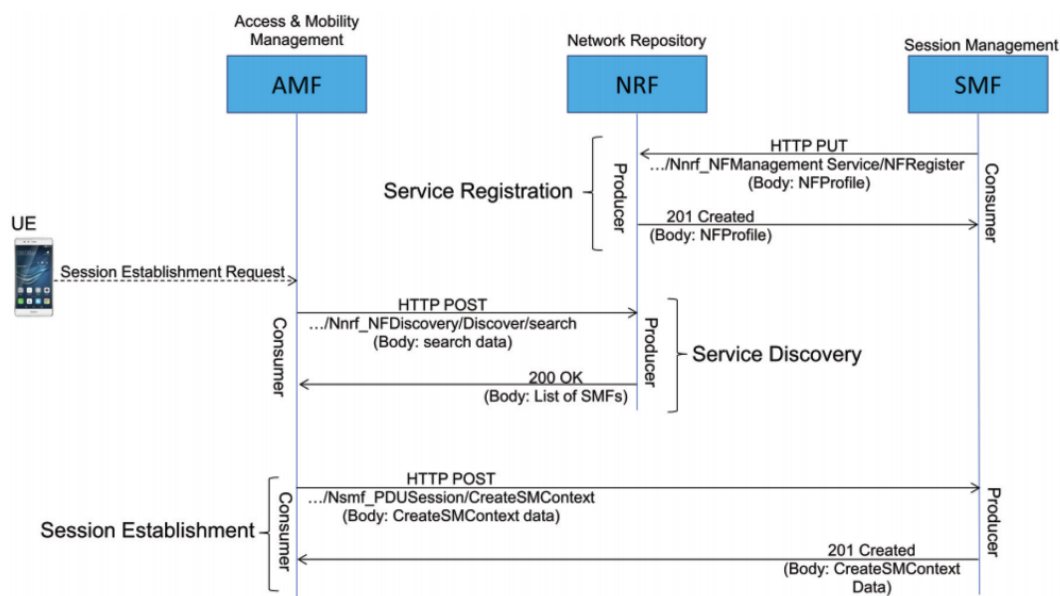


Figura 1.3 – Exemplo de chamadas de API no contexto 5G[13]

Na figura 1.3 são apresentados três diferentes procedimentos: 1. Registro de serviço: o SMF registra os serviços que fornece no NRF. 2. Descoberta de serviço: o AMF consulta o NRF em busca de um SMF adequado e, em troca, recebe o endereço do SMF registrado na etapa 1. 3. Estabelecimento da sessão: a sessão solicitada é estabelecida no nível do plano de controle pelo AMF via SMF.

1.1.5 Containerização

Os contêineres são unidades padrão de software que empacota o código e todas as suas dependências para que o aplicativo seja executado de maneira rápida e confiável de um ambiente de computação para outro [14].

1.2 Redes 5G e posteriores

Para entendermos a evolução do sistema 5G é importante situá-lo no contexto da evolução das redes móveis. Segundo Headman, et. al[4], durante os trabalhos do 3GPP para definição do 5G, o enfoque mais frequente das discussões permeavam o *Long Term Evolution* (LTE)⁵, em uma arquitetura não-independente, assim os primeiros esforços foram no sentido de definir como conectar o acesso LTE à nova arquitetura 5G. Uma segunda opção adotada foi o desenvolvimento de uma arquitetura totalmente independente.

O sistema 5G baseia-se nos conceitos da computação em nuvem, cujo núcleo é orientado à serviços em uma SBA, com suporte nativo a fatiamento de recursos de rede, virtualização e computação móvel de borda [15]. Duas implementações de arquiteturas são propostas em [4] para o sistema 5G, a arquitetura não independente (NSA) e a independente (SA).

- **Arquitetura Não Independente** (NSA - *Non-Stand Alone*): a rede de acesso e sua nova interface de rádio (NR - *New Radio*) devem ser usadas em conjunto com a infraestrutura de núcleo existente (EPC-CUPS – *Evolved Packet Core - Control and User Plane Separation*).
- **Arquitetura Independente** (SA - *Stand Alone*): o NR está conectado ao novo 5GC, com todos os serviços projetados para a 5G de redes móveis. Nessa arquitetura, a característica fundamental é que os elementos são definidos como funções de rede, as quais fornecem serviços a outras funções, ou qualquer outro “consumidor” autorizado, mediante interfaces.

Assim, os aspectos das arquiteturas NSA[1] e SA[2], que permitem a implantação virtualizada das redes 5G, podem ser totalmente distribuídos, redundantes e escaláveis. Além disso, as várias instâncias de funções de rede podem estar presentes individualmente ou em conjunto com serviços e microsserviços, representando a plenitude dessa nova geração de redes móveis.

A *release* 16 descreve essa nova SBA que define a estrutura funcional do núcleo da rede 5G. Novas NFs também são apresentadas, como por exemplo a N3IWF, que é responsável pelo acesso de equipamentos de usuário (UEs) IoT não-3GPP ao núcleo da rede (vide Fig. 1.1).

Algumas das demandas atuais excedem os recursos providos pela 5G de redes móveis de comunicação. Enquanto o 3GPP está trabalhando continuamente na evolução do Novo Rádio (NR) 5G com a *release* 16 e iniciando os trabalhos na *release* 17. Academia e a indústria tem olhado adiante com foco na próxima geração de redes móveis, e que estudos abordam as redes de sexta geração (6G) e seus desafios que estão sendo realizados [16, 17, 18, 19, 20, 21] especialmente no Brasil [22].

⁵ETSI-LTE www.etsi.org/technologies/mobile/4g

1.3 O núcleo 5G em ação

No contexto das redes de telecomunicações móveis, o núcleo da rede é responsável pela execução das rotinas necessária ao processo de autenticação, autorização, provisoriamente de recursos de rede, estabilização conectividade. Especificamente em sistemas 5G, o núcleo deve ser capaz de fornecer interoperabilidade entre tecnologias de acesso fixas e móveis, por meio de uma interface SBA alinhada com a nuvem, suportando interação entre funções do plano de controle, reusabilidade, conexões flexíveis e descoberta de serviços [23]. O núcleo é composto de várias NFs, que executam funções específicas relacionadas ao plano de controle e plano de dados, através de interações entre as NFs, a rede de acesso rádio (*Radio Access Network* - RAN), os equipamentos de usuário (UE) e a função do plano do usuário (*User Plane Function* - UPF).

Conforme Fig. 1.1, nas interações entre NFs no núcleo, os serviços são acessados através de interfaces baseadas em serviços (SBI) usando Interfaces de Aplicações Programáveis (API), geralmente uma combinação dos protocolos HTTP, REST e JSON. Já nas interações com a RAN, através da interface de referência N2, toda a sinalização é feita usando o Protocolo de Aplicação de Próxima Geração (NGAP) encapsulado no Protocolo de transmissão de controle de fluxo (SCTP), com intuito de suportar diferentes cenários e configurações entre RAN e funções de Acesso e Mobilidade (AMF). As interações entre núcleo e UE, interface de referência N1, são realizadas através do Protocolo de Estrato sem Acesso (NAS), utilizado para o gerenciamento de acesso e mobilidade e gerenciamento de sessão. Na interface de referência N4, a função de Gerenciamento de Sessão (SMF) instrui o UPF sobre como fazer o processamento dos pacotes para um UE específico, através do estabelecimento de associações e sessões do Protocolo de Controle de Encaminhamento de Pacotes (PFCEP).

1.3.1 Arquitetura da SBA no núcleo da rede 5G

A composição básica dos serviços padrão núcleo 5G é descrito no escopo especificação da *release* 15 no 3GPP [1].

1.3.2 Procedimentos de Registro e Autenticação de usuários

1.3.3 Procedimentos de Registro de Serviços, exposição, descoberta

1.3.4 Serviço de Conectividade de Dados

Suporte a conectividade de dados, é serviço prioritário à serem fornecidos pelo núcleo da rede 5G. Sua atribuição básica, é providência conexão entre o equipamento do usuário (UE) e a rede de dados (DN) na operadora, sendo que, a rede de dados pode ser à saída para internet, domínios IMS (*IP Multimedia Subsystem*) ou também redes indústrias privadas com um finalidades de comunicação específicas []. Especificamente, em nível de operação

do núcleo da rede a função de rede para gerenciamento de sessão SMF é responsável por executar as configurações necessárias estabelecer conectividade entre o UE e a rede de dados, gerenciando o UPF para se encarregar do processo estabilizar conectividade.

foram projetados com flexibilidade com capacidade de suporta diferentes casos de usos, aplicação de diferentes tipos de protocolos.

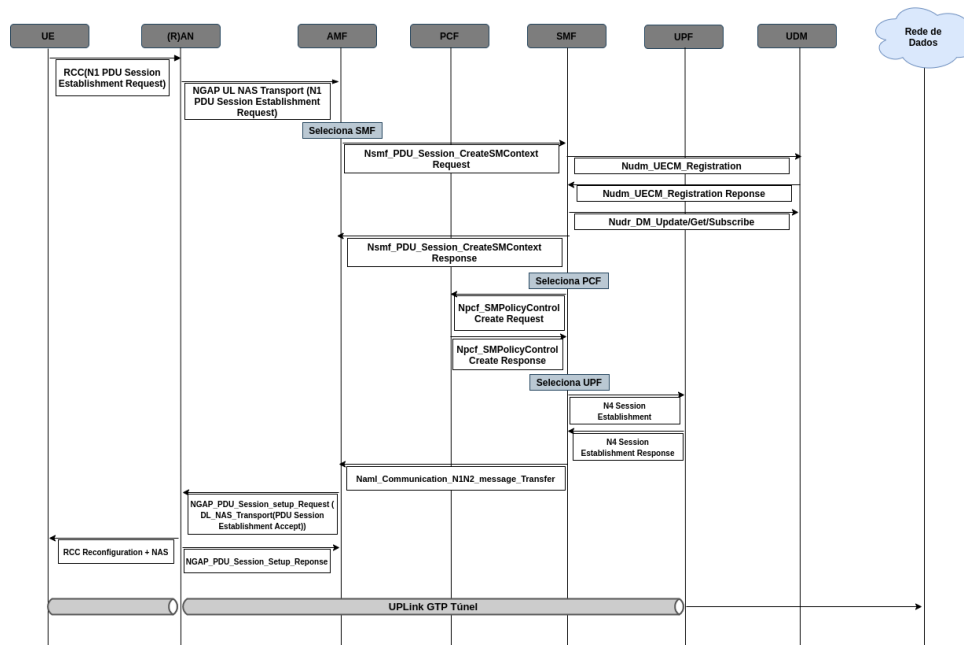


Figura 1.4 – Procedimentos para estabilização de sessões PDU em núcleo 5G. Adaptado de [4]

Para ilustrar a figura 1.4, representa o fluxo de operação entre os componentes do núcleo da rede durante fase de requisição e estabilização de conectividade.

1.3.5 Política de controle de cobrança

1.4 Caso de uso não-3GPP

A proposta do caso de uso 5GC visa apresentar os processos de instalação, configuração, preparação do ambiente e o desenvolvimento de software no contexto do 5GC. O presente trabalho adota como núcleo da rede o **Free5GC**⁶. O free5GC é um projeto de código aberto para redes móveis 5G, cujo objetivo é implementar o núcleo da rede 5G (5GC) conforme definições das especificações técnicas 3GPP Versão 15 (R15) e posteriores [24].

O caso de uso apresenta os resultados parciais do desenvolvimento de um Equipamento de Usuário (*User Equipment*- UE) IoT não 3GPP, integrado ao 5GC. Nesse intuito, apresentaremos os processos de instalação e configuração do Free5GC, a instalação e configuração do ambiente necessário ao desenvolvimento e testes, um *tour* pelo código Free5GC e finalmente o processo empregado no desenvolvimento do UE-IoT-Não-3GPP.

⁶Free5GC, National Chiao Tung University, <https://www.free5gc.org/>

Todos os códigos apresentados, bem como o respectivo material de apoio para sua execução estão disponíveis no GitHub <https://github.com/LABORA-INF-UFG/SBrT2020>

1.4.1 Instalação e configuração - Free5GC

O processo de instalação e configuração do Free5GC foi realizado em equipamento com as seguintes configurações:

▣▣▣ Configuração de Hardware

- CPU: Intel core i5
- RAM: 8GB
- Hard drive: 35G
- NIC card: 10Gbps ethernet card

▣▣▣ Configuração de Software

- Ubuntu 20.04.1 LTS
- Kernel 5.4.0-42-generic
- GCC 9.3.0-10
- GO 1.14.7 linux/amd64
- JetBrains GoLand 20.2.2
- Wireshark 3.2.3

Instalação dos pré-requisitos

▣▣▣ Atualização do sistema:

```
$ sudo apt -y update && sudo apt -y upgrade
```

▣▣▣ Instalação da linguagem GO:

```
# Versao 1.14.4
$ wget https://dl.google.com/go/gol.14.4.linux-amd64.tar.gz
$ sudo tar -C /usr/local -zxvf gol.14.4.linux-amd64.tar.gz
$ mkdir -p ~/go/{bin,pkg,src}
$ echo 'export GOPATH=$HOME/go' >> ~/.bashrc
$ echo 'export GOROOT=/usr/local/go' >> ~/.bashrc
$ echo 'export PATH=$PATH:$GOPATH/bin:$GOROOT/bin' >> ~/.bashrc
$ source ~/.bashrc
```

▣▣▣ Instalação de dependências (Plano de controle):

```
$ sudo apt -y install wget mongodb git
$ sudo systemctl start mongodb
```

➡ Instalação de dependências (Plano de usuário):

```
$ sudo apt -y install gcc cmake autoconf build-essential
$ sudo apt -y pkg-config libmnl-dev libyaml-dev libtool
$ go get -u github.com/sirupsen/logrus
```

➡ Instalação do módulo de kernel GTP-U 5G:

```
# Testado nas versoes 5.0.0-23 e 5.4.0-47
# Verifique a versao atual do kernel com ``$ uname -r``
$ git clone -b v0.1.0 https://github.com/PrinzOwO/gtp5g.git
$ cd gtp5g
$ make
$ sudo make install
```

➡ Configuração da rede:

```
$ sudo sysctl -w net.ipv4.ip_forward=1
$ sudo iptables -t nat -A POSTROUTING -o <dn_interface> -j MASQUERADE
$ sudo systemctl stop ufw
```

Instalação das entidades do plano de controle**➡ Clonar o repositório do projeto Free5GC:**

```
$ cd ~
$ git clone --recursive -b v3.0.3 \
  -j `nproc` https://github.com/free5gc/free5gc.git
$ cd free5gc
```

➡ Executar instalação das dependências GoLang:

```
$ cd ~/free5gc
$ go mod download
```

Os passos a seguir consideram o diretório de instalação como ~/free5gc, evite alterá-lo.

Compilar os módulos das funções de rede do Free5GC**➡ Individualmente (p.ex: AMF, repita o processo para cada NF):**

```
$ cd ~/free5gc
$ go build -o bin/amf -x src/amf/amf.go
```

➡ Simultaneamente (bash script):

```
$ cd ~/free5gc
$ ./build_ControlPlane.sh
```

Instalação do plano de usuário - UPF**➡ Obter o módulo de kernel linux 5G GTP-U:**

```
$ git clone -b v0.1.0 https://github.com/PrinzOwO/gtp5g.git
$ cd gtp5g
$ make
$ sudo make install
```

▣► Compilar o UPF:

```
$ cd ~/free5gc/src/upf
$ mkdir build
$ cd build
$ cmake ..
$ make -j`nproc`
```

▣► Bash script:

```
$ cd ~/free5gc
$ ./build_DataPlane.sh
```

1.4.2 Ambiente de desenvolvimento

1.4.3 Estruturação do código

Conclusões

Tabelas

Tabelas podem ter qualquer formato, favor evitar pacotes com formatos especiais, caso seja estritamente necessários, colocar o passo-a-passo para compilar.

Bibliografia

- [1] J.M. Meredith and M. Pope. 3gpp tr21.915 v15.9.0 (2018-12), 3rd generation partnership project technical specification group services and systems aspects release 15 description. Technical report, 2018.
- [2] J.M. Meredith and M. Pope. 3gpp tr21.916 v16.4.0 (2020-03), 3rd generation partnership project technical specification group services and systems aspects release 16 description. Technical report, 2020.
- [3] 3GPP. 3rd generation partnership project (3gpp).
- [4] P. Hedman, L. Frid, S. Rommer, M. Olsson, S. Sultana, and C. Mulligan. *5G Core Networks: Powering Digitization*. Elsevier Science & Technology, 2019.
- [5] J. Costa-Requena, V.F. Guasch, and J.L. Santos. Software defined networks based 5g backhaul architecture. 2015.
- [6] M. Anan, A. Al-Fuqaha, N. Nasser, T.Mu, and H.Bustam. Empowering networking research and experimentation through software-defined networking. *J. Netw. Comput. Appl.*, 70(C):140–155, 2016.

- [7] B. Han, V. Gopalakrishnan, L. Ji, and S. Lee. Network function virtualization: Challenges and opportunities for innovations. *IEEE Communications Magazine*, 53(2):90–97, 2015.
- [8] S. Abdelwahab, B. Hamdaoui, M. Guizani, and T. Znati. Network function virtualization in 5g. *IEEE Communications Magazine*, 54(4):84–91, 2016.
- [9] R. Mijumbi, J. Serrat, J. Gorricho, N. Bouten, F. De Turck, and R. Boutaba. Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 18(1):236–262, 2016.
- [10] ETSI. Network functions virtualisation: An introduction, benefits, enablers, challenges & call for action., 2012.
- [11] H. Hassan, S. Abdallah, M. Maysam, and A. Rasool. Nfv: state of the art, challenges, and implementation in next generation mobile networks (vepc). *IEEE Network*, 28:18–26, Nov 2014.
- [12] P. M. Mell and T. Grance. Sp 800-145. the nist definition of cloud computing. Technical report, Gaithersburg, MD, USA, 2011.
- [13] G. Mayer. Restful apis for the 5g service based architecture. *Journal of ICT Standardization*, 6(1):101–116, 2018.
- [14] Docker Inc. Docker, 2020.
- [15] X. Foukas, G. Patounas, A. Elmokashfi, and M.K. Mahesh. Network slicing in 5g: Survey and challenges. *IEEE Communications Magazine*, 55(5):94–100, 2017.
- [16] K. David and H. Berndt. 6g vision and requirements: Is there any need for beyond 5g? *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 13(3):72–80, 2018.
- [17] G. Wikström, J. Peisa, P. Rugeland, N. Johansson, S. Parkvall, M. Girnyk, G. Mildh, and I. L. Da Silva. Challenges and technologies for 6g. In *2020 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT)*, pages 1–5, 2020.
- [18] I. Tomkos, D. Klonidis, E. Pikasis, and S. Theodoridis. Toward the 6g network era: Opportunities and challenges. *IT Professional*, 22(1):34–38, 2020.
- [19] M. Katz, P. Pirinen, and H. Posti. Towards 6g: Getting ready for the next decade. In *2019 16th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, pages 714–718, 2019.
- [20] H. Viswanathan and P.E. Mogensen. Communications in the 6g era. *IEEE Access*, 8:57063–57074, 2020.
- [21] L. Zhang, Y. Liang, and D. Niyato. 6g visions: Mobile ultra-broadband, super internet-of-things, and artificial intelligence. *China Communications*, 16(8):1–14, 2019.

- [22] J. M. C. Brito, L. L. Mendes, and J. G. S. Gontijo. Brazil 6g project - an approach to build a national-wise framework for 6g networks. In *2020 2nd 6G Wireless Summit (6G SUMMIT)*, pages 1–5, 2020.
- [23] Nokia. Build a cloud-native 5g core that connects everyone and everything.
- [24] free5GC. free5gc, 2020.