



Capítulo 6

Samuel Lopes da Mota

Súmario

- 1 Rede Principal 5G
- 2 Manipulacao de qualidade de serviço
- 3 Protocolos do plano do usuário
- 4 Protocolo de Adaptacao de Dados de Servico (SDAP)
- 5 Canais Lógicos e Canais de Transporte
- 6 Agendamento
- 7 Camada física
- 8 Protocolos do plano de controle
- 9 Rastreando o dispositivo
- 10 Mobilidade de estado conectado
- 11 Referências

Rede Principal 5G

- A rede principal 5G se baseia no EPC com três novas áreas de aprimoramento em comparação com o EPC: arquitetura baseada em serviço, suporte para fatiamento de rede e divisão de plano de controle/plano de usuário.
- Uma arquitetura baseada em serviços é a base para o núcleo 5G. Isso significa que a especificação se concentra nos serviços e funcionalidades fornecidos pela rede principal, e não nos nós como tal. Isso é natural, pois a rede principal hoje já é altamente virtualizada com a funcionalidade da rede principal executada em hardware de computador genérico.

- O fatiamento de rede é um termo comumente visto no contexto do 5G.
- Uma fatia de rede é uma rede lógica que atende a uma determinada necessidade de negócios ou cliente e consiste nas funções necessárias da arquitetura baseada em serviço configuradas em conjunto.
- Por exemplo, uma fatia de rede pode ser configurada para oferecer suporte a aplicativos de banda larga móvel com suporte total à mobilidade, semelhante ao que é fornecido pelo LTE, e outra fatia pode ser configurada para oferecer suporte a um aplicativo específico de automação industrial não móvel e de latência crítica.
- Todas essas fatias serão executadas no mesmo núcleo físico subjacente e redes de rádio, mas, da perspectiva do aplicativo do usuário final, elas aparecem como redes independentes.
- A RAN é responsável por todas as funcionalidades relacionadas ao rádio da rede geral, incluindo, por exemplo, agendamento, manuseio de recursos de rádio, protocolos de retransmissão, codificação e vários esquemas de múltiplas antenas.

- A divisão do plano de controle/plano do usuário é enfatizada na arquitetura de rede principal 5G, incluindo dimensionamento independente da capacidade dos dois.
- Por exemplo, se for necessária mais capacidade do plano de controle, deve ser simples adicioná-la sem afetar o plano de usuário da rede.
- Em um alto nível, o núcleo 5G pode ser ilustrado como mostrado na Fig. 6.1. A figura utiliza uma representação baseada em serviços, onde os serviços e funcionalidades estão em foco.

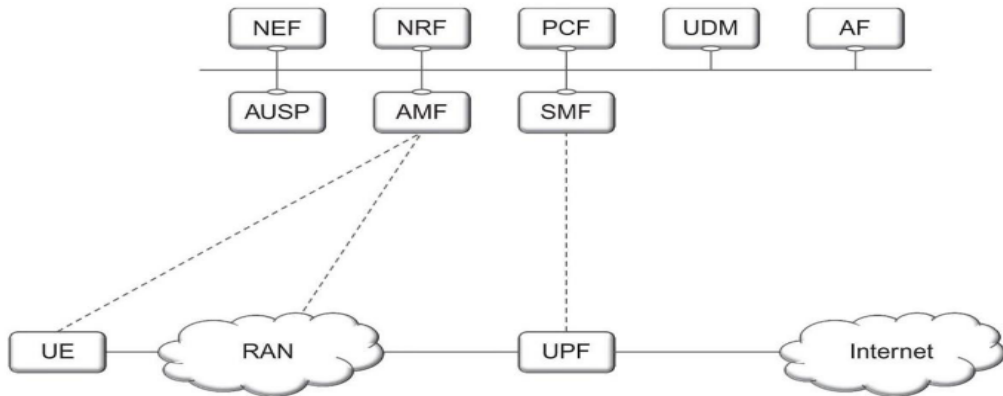


FIGURA 6.1 Arquitetura de rede central de alto nível (descrição baseada em serviço).

- A função do plano do usuário consiste na função do plano do usuário (UPF), que é um gateway entre a RAN e as redes externas, como a Internet. Suas responsabilidades incluem roteamento e encaminhamento de pacotes, inspeção de pacotes, tratamento de qualidade de serviço e filtragem de pacotes e medições de tráfego. Também serve como ponto de ancoragem para mobilidade (inter-RAT) quando necessário.
- As funções do plano de controle consistem em várias partes. A Função de Gerenciamento de Sessão (SMF) lida, entre outras funções, com a alocação de endereço IP para o dispositivo (também conhecido como Equipamento do Usuário, UE), controle de imposição de políticas e funções gerais de gerenciamento de sessão.
- A função de gerenciamento de acesso e mobilidade (AMF) é responsável pela sinalização de controle entre a rede principal e o dispositivo, segurança dos dados do usuário, mobilidade em estado ocioso e autenticação.

- A funcionalidade que opera entre a rede central, mais especificamente o AMF, e o dispositivo é algumas vezes chamada de Non-Access Stratum (NAS), para separá-la do Access Stratum (AS), que lida com a funcionalidade operando entre o dispositivo e a rede de acesso por rádio.
- Para permitir uma introdução antecipada de NR em redes existentes, também é possível conectar NR a EPC, a rede central LTE. Isso é ilustrado como “opção 3” na Fig. 6.2 e também é conhecido como “operação não autônoma”, pois o LTE é usado para a funcionalidade do plano de controle, como acesso inicial, paginação e mobilidade.
- eNB e gNB podem ser considerados como estações base para LTE e NR, respectivamente.

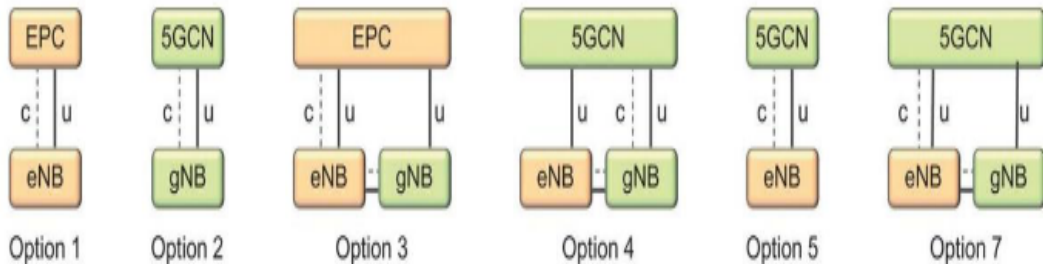


FIGURA 6.2 Diferentes combinações de redes principais e tecnologias de acesso por rádio.

- Na opção 3, a rede central EPC é conectada ao eNB. Todas as funções do plano de controle são tratadas pelo LTE e o NR é usado apenas para os dados do plano do usuário. O gNB é conectado ao eNB e os dados do plano de usuário do EPC podem ser encaminhados do eNB para o gNB.
- Uma rede de acesso por rádio que consiste em ng-eNBs para acesso de rádio LTE e gNBs para acesso de rádio NR é conhecida como NG-RAN, embora o termo RAN seja usado a seguir para simplificar.
- O gNB (ou ng-eNB) é responsável por todas as funções relacionadas ao rádio em uma ou várias células, por exemplo, gerenciamento de recursos de rádio, controle de admissão, estabelecimento de conexão, roteamento de dados do plano de usuário para o UPF e informações do plano de controle para o AMF e gerenciamento de fluxo de QoS.
- É importante observar que um gNB é um nó lógico e não uma implementação física.

- Uma implementação comum de um gNB é um site de três setores, onde uma estação base está lidando com transmissões em três células, embora outras implementações também possam ser encontradas, como uma unidade de processamento de banda base à qual vários cabecotes de rádio remotos estão conectados.
- Exemplos destes últimos são um grande número de células internas, ou várias células ao longo de uma rodovia, pertencentes ao mesmo gNB. Assim, uma estação base é uma possível implementação de, mas não o mesmo que, um gNB.
- Como pode ser visto na Fig. 6.3, o gNB é conectado ao núcleo da rede 5G por meio da interface NG, mais especificamente ao UPF por meio da parte do plano de usuário NG (NG-u) e ao AMF por meio da parte do plano de controle NG (NG-c). Um gNB pode ser conectado a vários UPFs/AMFs para fins de compartilhamento de carga e redundância.

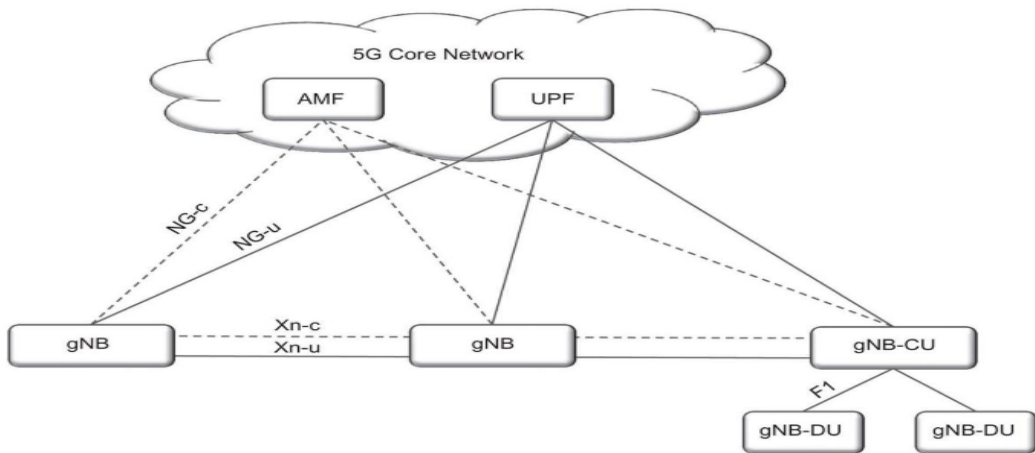


FIGURA 6.3 Interfaces de rede de acesso por rádio.

- Permitir que o dispositivo se conecte à rede por meio de várias células pode ser benéfico em alguns cenários. Um exemplo é a agregação do plano do usuário, onde os fluxos de várias células são agregados para aumentar a taxa de dados.
- Outro exemplo é a separação do plano de controle/plano do usuário, onde a comunicação do plano de controle é tratada por um nó e o plano do usuário por outro.
- O cenário de um dispositivo conectado a duas células é conhecido como conectividade dupla. A conectividade dupla entre LTE e NR é de particular importância, pois é a base para a operação não autônoma.
- A célula mestre baseada em LTE lida com a sinalização do plano de controle e (potencialmente) do plano do usuário, e a célula secundária baseada em NR lida apenas com o plano do usuário, basicamente aumentando as taxas de dados.

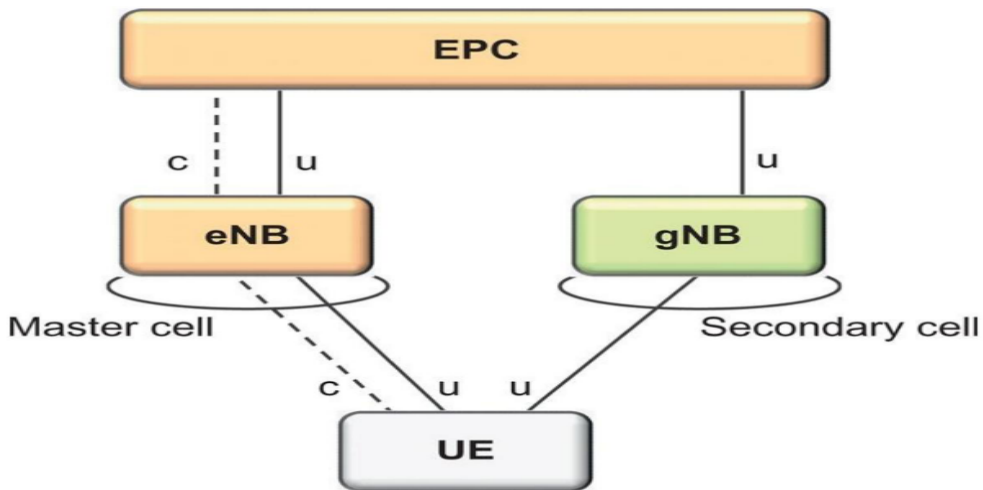


FIGURA 6.4 Conectividade dupla LTE–NR usando a opção 3.

Manipulação de qualidade de serviço

- A manipulação de diferentes requisitos de qualidade de serviço (QoS) já é possível no LTE, e o NR se baseia e aprimora essa estrutura. Mantêm-se os princípios chave do LTE, nomeadamente que a rede é responsável pelo controlo de QoS e que a rede core 5G, mas não a rede de acesso rádio, tem conhecimento do serviço.
- A manipulação de QoS é essencial para a realização do fatiamento da rede.
- Para cada dispositivo conectado, há uma ou mais sessões de PDU, cada uma com um ou mais fluxos de QoS e portadoras de rádio de dados.
- Vários fluxos de QoS podem ser mapeados para a mesma portadora de rádio de dados (Fig. 6.5)

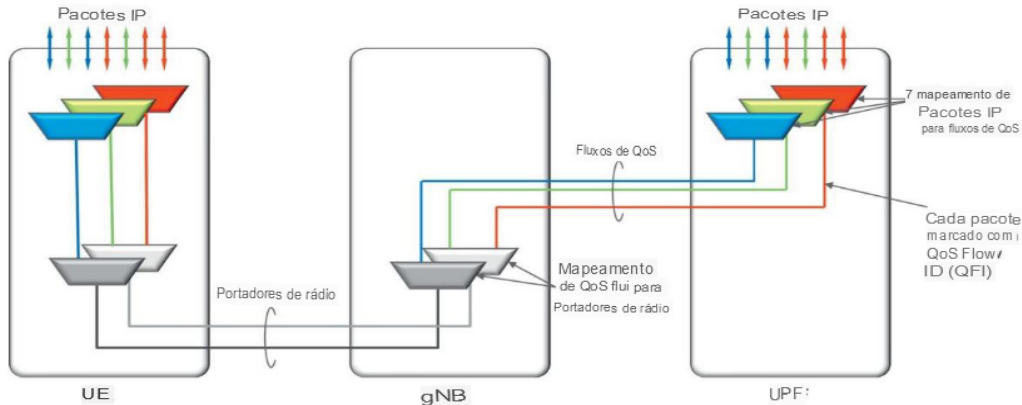


FIGURA 6.5 Fluxos de QoS e portadoras de R elindio durante uma sess Elimo de PDU.

- Existem duas maneiras de controlar o mapeamento dos fluxos de qualidade de serviço para portadores de rádio de dados no uplink: mapeamento reflexivo e configuração explícita.
- No caso do mapeamento reflexivo, que é uma novidade no NR quando conectado ao núcleo da rede 5G, o dispositivo observa o QFI (identificador de fluxo de QoS) nos pacotes de downlink para a sessão de PDU (unidade de dados de protocolo) . Isso fornece ao dispositivo conhecimento sobre quais fluxos de IP são mapeados para qual fluxo de QoS e portadora de rádio. O dispositivo então usa o mesmo mapeamento para o tráfego de uplink.
- No caso de mapeamento explícito, o fluxo de qualidade de serviço para o rádio de dados o mapeamento do portador é configurado no dispositivo usando a sinalização RRC.
- A arquitetura do protocolo RAN para os planos de usuário e controle pode ser discutida. A Fig. 6.6 ilustra a arquitetura do protocolo RAN.

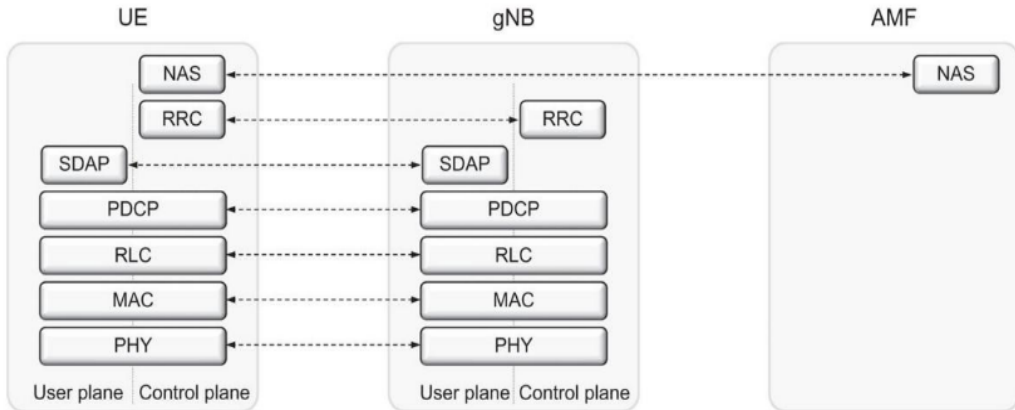


FIGURA 6.6 Pilha de protocolos do plano do usuário e do plano de controle.

Protocolos do plano do usuário

- Uma visão geral da arquitetura do protocolo de plano de usuário NR para o downlink é ilustrada na Fig. 6.7. Muitas das camadas de protocolo são semelhantes às do LTE, embora também existam algumas diferenças.
- Um dos diferenciais é o tratamento da qualidade de serviço em NR quando conectado a uma rede core 5G, onde a camada de protocolo SDAP aceita um ou mais fluxos de QoS transportando pacotes IP de acordo com seus requisitos de qualidade de serviço. No caso do plano de usuário NR conectado ao EPC, o SDAP não é utilizado.

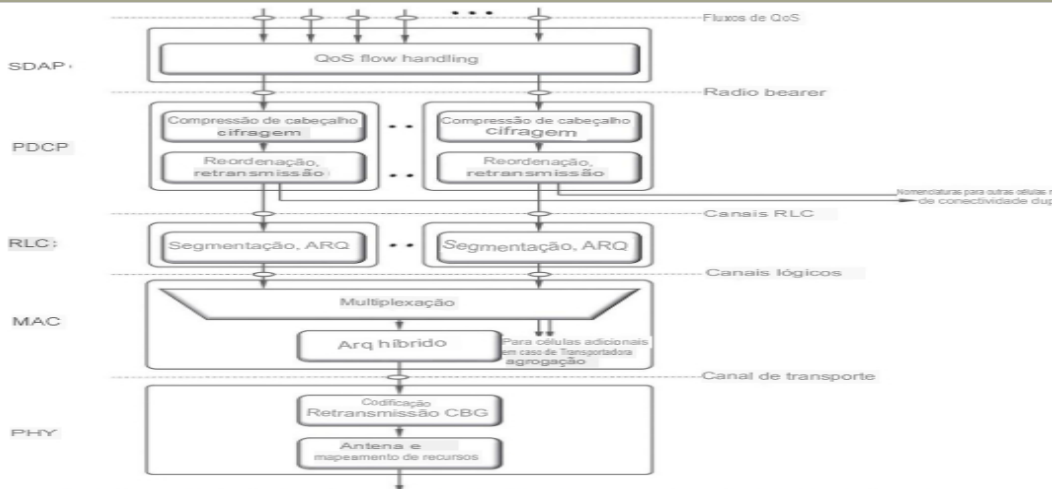


FIGURA 6.7 Arquitetura de protocolo de plano de usuário extraterreno de downlink nr vista do dispositivo.

- O Service Data Application Protocol (SDAP) é responsável por mapear portadores de QoS para portadores de rádio de acordo com seus requisitos de qualidade de serviço. Essa camada de protocolo não está presente no LTE, mas foi introduzida no NR ao se conectar à rede principal 5G devido ao novo tratamento de qualidade de serviço.
- O Protocolo de Convergência de Dados de Pacote (PDCP) executa compactação de cabeçalho IP, codificação e proteção de integridade. Ele também lida com retransmissões, entrega em sequência e remoção de duplicatas 3 no caso de handover. Para conectividade dupla com portadores divididos, o PDCP pode fornecer roteamento e duplicação. Há uma entidade PDCP por portadora de rádio configurada para um dispositivo.
- Radio- Link Control (RLC) é responsável pela segmentação e tratamento de retransmissão. O RLC fornece serviços ao PDCP na forma de canais RLC. Existe uma entidade RLC por canal RLC (e, portanto, por portadora de rádio) configurada para um dispositivo.

- O Controle de Acesso Médio (MAC) fornece serviços ao RLC na forma de canais lógicos. A estrutura do cabeçalho na camada MAC foi alterada no NR para permitir um suporte mais eficiente do processamento de baixa latência do que no LTE.
- A camada física (PHY) lida com codificação/decodificação, modulação/demodulação, mapeamento multiantena e outras funções típicas da camada física.

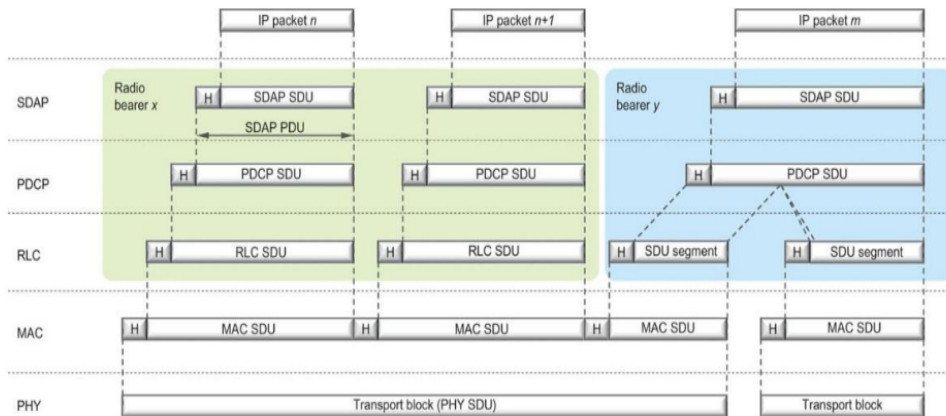


FIGURA 6.8 Exemplo de fluxo de dados no plano do usuário.

Protocolo de Adaptação de Dados de Serviço (SDAP)

- O Service Data Adaptation Protocol (SDPA) é responsável por mapear entre um fluxo de qualidade de serviço da rede principal 5G e um portador de rádio de dados, além de marcar o identificador de fluxo de qualidade de serviço (QFI) em uplink e downlink pacotes.
- O PDCP (Protocolo de Convergência de Pacote de Dados) executa a compactação do cabeçalho IP para reduzir o número de bits a serem transmitidos pela interface de rádio.
- A duplicação no PDCP também pode ser usada para diversidade adicional. Os pacotes podem ser duplicado e transmitido em várias células, aumentando a probabilidade de pelo menos uma cópia ser recebida corretamente. Isso pode ser útil para serviços que exigem confiabilidade muito alta. Na extremidade receptora, a funcionalidade de remoção de duplicatas PDCP remove todas as duplicatas.

Canais Lógicos e Canais de Transporte

- Um canal lógico é definido pelo tipo de informação que transporta e é geralmente classificado como canal de controle, utilizado para transmissão de informações de controle e configuração necessárias à operação de um sistema NR, ou como canal de tráfego, utilizado para os dados do usuário.
- Broadcast Control Channel (BCCH), usado para transmissão de informações do sistema da rede para todos os dispositivos em uma célula.
- O Canal de Controle de Paginação (PCCH), usado para paginação de dispositivos cuja localização no nível da célula não é conhecida pela rede.
- O Canal de Controle Comum (CCCH), usado para transmissão de informações de controle em conjunto com acesso aleatório.
- O canal de controle dedicado (DCCH), usado para transmissão de informações de controle de/para um dispositivo.

- O canal de tráfego dedicado (DTCH), usado para transmissão de dados do usuário de/para um dispositivo.
- Um canal de transporte é definido por como e com quais características as informações são transmitidas pela interface de rádio.
- Os dados em um canal de transporte são organizados em blocos de transporte. Em cada intervalo de tempo de transmissão (TTI), no máximo um bloco de transporte de tamanho dinâmico é transmitido pela interface de rádio de/para um dispositivo.
- O Broadcast Channel (BCH) é utilizado para transmissão de partes das informações do sistema BCCH.
- O Paging Channel (PCH) é utilizado para transmissão de paging informações do canal lógico PCCH.
- O canal compartilhado de downlink (DL-SCH) é o principal canal de transporte usado para transmissão de dados de downlink em NR. Ele oferece suporte aos principais recursos de NR, como adaptação de taxa dinâmica e agendamento dependente de canal nos domínios de tempo e frequência.

- O Uplink Shared Channel (UL-SCH) é o canal de transporte de uplink usado para transmissão de dados de uplink.
- O mapeamento entre os tipos de canal lógico e os tipos de canal de transporte é dado na Fig. 6.11. Esta figura indica claramente como DL-SCH e UL-SCH são os principais canais de transporte de downlink e uplink, respectivamente.

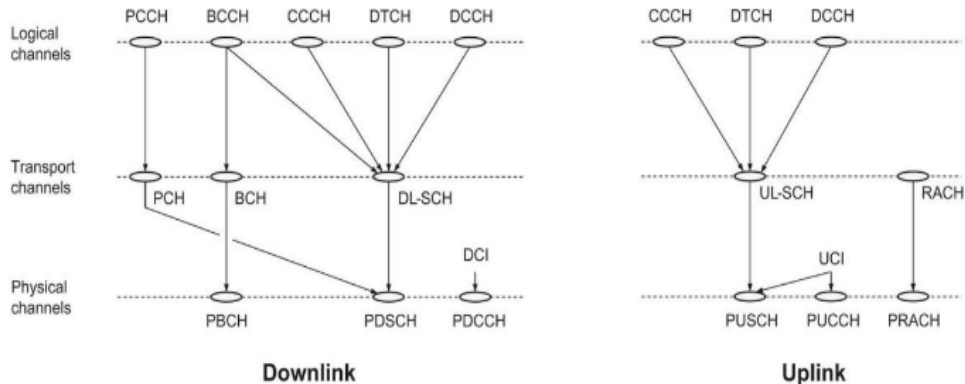
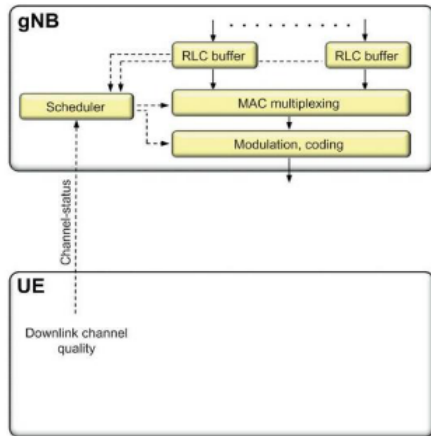


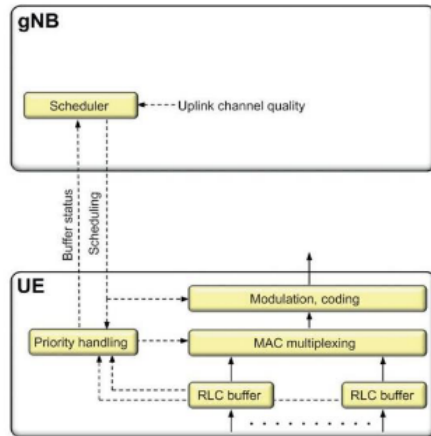
FIGURA 6.11 Mapeamento entre canais lógicos, de transporte e físicos.

Agendamento

- Um dos princípios básicos do acesso de rádio NR é a transmissão de canal compartilhado, ou seja, os recursos de frequência de tempo são compartilhados dinamicamente entre os usuários.
- O escalonamento de uplink e downlink são separados em NR, e as decisões de escalonamento de uplink e downlink podem ser tomadas independentemente uma da outra (dentro dos limites estabelecidos pelo esquema duplex no caso de operação half-duplex).
- O escalonador de downlink é responsável por controlar (dinamicamente) para qual(is) dispositivo(s) transmitir.
- A seleção do formato de transporte (seleção do tamanho do bloco de transporte, esquema de modulação e mapeamento da antena) e a multiplexação de canal lógico para transmissões de downlink são controladas pelo gNB, conforme ilustrado na parte esquerda da Fig. 6.14.



Downlink



Uplink

FIGURA 6.14 Seleção do formato de transporte em (a) downlink e (b) uplink.

Camada física

- A camada física é responsável pela codificação, processamento híbrido-ARQ da camada física, modulação, processamento multi-antena e mapeamento do sinal para os recursos físicos apropriados de tempo-frequência. Ele também lida com o mapeamento de canais de transporte para canais físicos, conforme mostrado na Fig. 6.11.
- Um canal físico corresponde ao conjunto de recursos tempo-frequência usados para transmissão de um determinado canal de transporte e cada canal de transporte é mapeado para um canal físico correspondente.
- Existem também canais físicos sem canal de transporte correspondente. Esses canais, conhecidos como canais de controle L1/L2, são usados para informações de controle de downlink (DCI), fornecendo ao dispositivo as informações necessárias para a recepção e decodificação adequadas da transmissão de dados de downlink, e as informações de controle de uplink (UCI).

- Os seguintes tipos de canal físico são definidos para NR:
- O Canal Compartilhado de Downlink Físico (PDSCH) é o principal canal físico usado para transmissão de dados unicast, mas também para transmissão de, por exemplo, informações de paginação, mensagens de resposta de acesso aleatório e entrega de partes das informações do sistema.
- O Physical Broadcast Channel (PBCH) transporta parte das informações do sistema, exigidas pelo dispositivo para acessar a rede.
- Canal de Controle de Downlink Físico (PDCCH) é usado para informações de controle de downlink, principalmente decisões de agendamento.
- O Canal Compartilhado de Uplink Físico (PUSCH) é a contraparte de uplink do PDSCH. Existe no máximo um PUSCH por portadora de componente de uplink por dispositivo
- Canal de Controle de Uplink Físico (PUCCH) é usado pelo dispositivo para enviar confirmações ARQ híbridas, indicando ao gNB se o(s) bloco(s) de transporte de downlink foi(ão) recebido(s) com sucesso ou não.

Protocolos do plano de controle

- Os protocolos do plano de controle são, entre outras coisas, responsáveis pela configuração da conexão, mobilidade e segurança.
- Inclui autenticação, segurança e diferentes procedimentos de modo ocioso, como paginação, também é responsável por atribuir um endereço IP a um dispositivo.

Rastreamento do dispositivo

- Em princípio, a rede poderia transmitir a página para o dispositivo em toda a cobertura da rede, transmitindo a mensagem de paging de cada célula.
- No entanto, isso obviamente implicaria em uma sobrecarga muito alta em termos de transmissões de mensagens de paging, pois a grande maioria das transmissões de paging ocorreria em células onde o dispositivo de destino não está localizado.
- Por outro lado, se a mensagem de paging for transmitida apenas na célula em que o dispositivo está localizado, há a necessidade de rastrear o dispositivo no nível da célula. Isso implicaria que o dispositivo teria que informar à rede toda vez que saísse da cobertura de uma célula e entrasse na cobertura de outra célula.
- Isso também levaria a um overhead muito alto, neste caso em termos de sinalização necessária para informar a rede sobre a localização atualizada do dispositivo.

- Por esse motivo, um compromisso entre esses dois extremos é normalmente usado, onde os dispositivos são rastreados apenas no nível do grupo de células:
- A rede só recebe novas informações sobre a localização do dispositivo se o dispositivo for movido para uma célula fora do grupo de células atual;
- Ao fazer o paging do dispositivo, a mensagem de paging é transmitida por todas as células dentro do grupo de células.
- Conforme ilustrado na Fig. 6.18, as células NR são agrupadas em RAN Areas, onde cada RAN Area é identificada por um RAN Area Identifier (RAI).
- As RAN Areas, por sua vez, são agrupadas em Tracking Areas ainda maiores, sendo cada Tracking Area identificada por um Tracking Area Identifier (TAI). Assim, cada célula pertence a uma Área RAN e uma Área de Rastreamento, cujas identidades são fornecidas como parte das informações do sistema da célula.

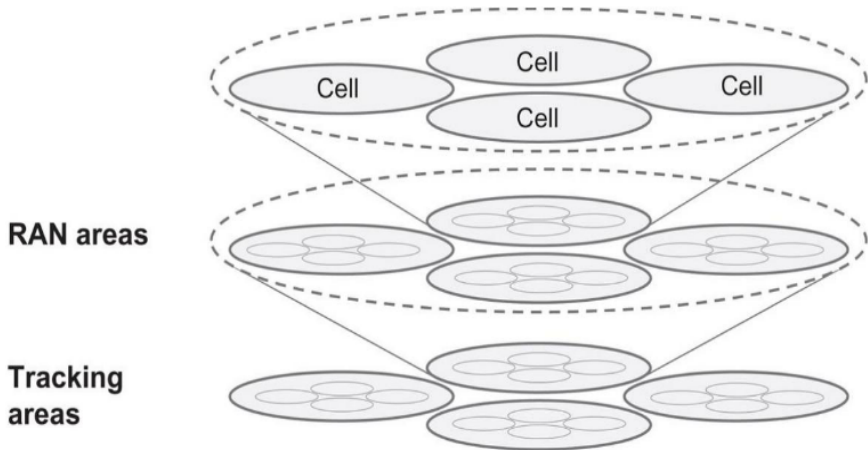


FIGURA 6.18 Áreas RAN e áreas de rastreamento.

Mobilidade de estado conectado

- No estado conectado, o dispositivo tem uma conexão estabelecida com a rede. O objetivo da mobilidade de estado conectado é garantir que essa conectividade seja mantida sem qualquer interrupção ou degradação perceptível à medida que o dispositivo se move dentro da rede.
- Para garantir isso, o dispositivo procura continuamente por novas células tanto na frequência portadora atual (medidas intrafrequência) quanto em diferentes frequências portadoras (medidas interfrequência) sobre as quais o dispositivo foi informado.

- DAHLMAN, Erik; PARKVALL, Stefan; SKOLD, Johan. 5G NR: The next generation wireless access technology. Academic Press, 2020.



A coisa boa que a
ciência tem é que
é verdade quer
você acredite,
quer não.

Neil deGrasse Tyson



PENSADOR

un B