

1.
  - a) O tamanho das células diminuiu para aumentar a capacidade da rede, reduzir interferências e atender à alta demanda por dados em áreas densamente povoadas.
  - b) O efeito Multipath ocorre quando um sinal sem fios se propaga por múltiplos caminhos devido a reflexões, difração ou dispersão. Pode ser prejudicial, causando interferências e distorções, mas também pode ser benéfico, permitindo técnicas como MIMO, que aproveitam múltiplos caminhos para aumentar a capacidade da rede.
  - c) Os quatro endereços nos cabeçalhos de WiFi identificam o remetente, o recetor, a origem inicial e o destino final, sendo essenciais para gerir comunicações em redes com APs e sistemas de distribuição (DS).
  - d) Três desafios no projeto de uma rede de sensores são: energia limitada, para prolongar a vida útil dos dispositivos; comunicação confiável, em ambientes adversos; e segurança, para proteger dados e dispositivos contra ataques.
  - e) O GTS (Guaranteed Time Slot) em ZigBee é um intervalo de tempo reservado dentro da superframe para que dispositivos específicos transmitam dados sem competição pelo canal, garantindo baixa latência e comunicação determinística.
  - f) Os perfis em Bluetooth foram desenvolvidos para padronizar funcionalidades e garantir operações entre dispositivos, definindo como diferentes aplicações e dispositivos comunicam-se de forma consistente.
  - g) O contexto PDP (Packet Data Protocol) é usado para configurar e gerir conexões de dados em redes móveis, definindo parâmetros como endereço IP, QoS e tipo de serviço para estabelecer sessões entre o dispositivo e a rede core.
  - h) No tight coupling, as redes móveis e externas integram-se diretamente ao core da rede móvel, partilhando infraestrutura e gestão centralizada. No loose coupling, as redes externas funcionam de forma independente, conectando-se à Internet sem passar pelo core móvel.
  - i) Os problemas no uso de NFV incluem maior complexidade na gestão de redes virtualizadas, possíveis falhas de desempenho devido à virtualização, desafios de interoperabilidade entre diferentes fornecedores e maior exposição a ataques de segurança.
  - j) As técnicas MIMO não são frequentemente usadas em sistemas como LTE-M e NB-IoT porque esses sistemas priorizam eficiência energética, simplicidade e baixo custo em dispositivos IoT, enquanto o MIMO aumenta a complexidade e o consumo de energia.
2.
  - a) O BLE (Bluetooth Low Energy) é frequentemente visto como diferente do Bluetooth clássico porque foi projetado para baixo consumo de energia, ideal para dispositivos IoT e sensores. Ele utiliza pacotes curtos e comunicação eficiente, reduzindo o uso da bateria. Apesar de usar o mesmo espectro de 2.4 GHz, não é compatível diretamente com o Bluetooth clássico. BLE prioriza baixa potência em vez de altas taxas de dados, tornando-se mais adequado para aplicações como wearables e dispositivos médicos.
  - b) Usamos gateways para ligar sensores em vez de os conectar diretamente à Internet porque os sensores têm recursos limitados em termos de energia, processamento e largura de banda. Os gateways atuam como intermediários,

agregando dados, realizando conversões de protocolo e garantindo a comunicação eficiente com a Internet. Além disso, eles oferecem maior segurança, gerindo autenticação e encriptação, e ajudam a minimizar o consumo de energia dos sensores, que não precisam manter conexões diretas com a rede global.

c) Com as evoluções do Wi-Fi, como maiores taxas de dados e frequências mais altas, o overhead do cabeçalho tornou-se um problema, reduzindo a eficiência global. Para mitigar isso, foram implementadas soluções como:

Frame Aggregation: Combina múltiplos quadros em um único pacote, reduzindo a proporção de cabeçalhos.

Compressed Headers: Reduz o tamanho dos campos do cabeçalho, otimizando a transmissão.

OFDMA: Introduzido no Wi-Fi 6, permite dividir recursos entre múltiplos utilizadores, tornando o uso do cabeçalho mais eficiente.

Estas técnicas melhoraram a eficiência do Wi-Fi, minimizando o impacto do cabeçalho em redes modernas.

d) As técnicas de espalhamento de espectro, como CDMA e OFDMA, oferecem várias vantagens em relação ao estabelecimento fixo de canais no GSM.

Eficiência Espectral: Permitem múltiplos utilizadores compartilharem o mesmo espectro simultaneamente, utilizando códigos ou frequências ortogonais, maximizando o uso do espectro disponível.

Robustez contra Interferências: São mais resistentes a interferências e ruído, pois dispersam os sinais por uma banda larga, tornando-os menos suscetíveis a perturbações locais.

Flexibilidade: Adaptam-se melhor a variações de tráfego e condições de rede, ajustando recursos dinamicamente.

Segurança: O espalhamento dificulta a intercetção e identificação do sinal por terceiros.

Essas vantagens tornam essas técnicas mais adequadas para redes modernas, como 3G, 4G e 5G.

e) O LoRa sozinho não seria suficiente porque é apenas uma tecnologia de modulação para comunicação de longo alcance e baixa potência. O LoRa-WAN foi desenvolvido para adicionar uma camada de rede que gerisse a comunicação entre dispositivos e servidores.

O LoRa-WAN introduz funcionalidades essenciais como:

Gestão de redes: Coordena milhares de dispositivos IoT.

Segurança: Implementa autenticação e encriptação de dados.

Controle de acesso: Define como os dispositivos utilizam os recursos da rede.

Assim, o LoRa-WAN expande o LoRa, tornando-o adequado para aplicações IoT escaláveis e seguras.

3. a) As redes 5G distinguem-se por três características fundamentais: velocidade, latência e flexibilidade.

Primeiro, o eMBB (Enhanced Mobile Broadband) proporciona altas velocidades de até 10 Gbps, suportando aplicações como streaming em 8K, realidade aumentada e virtual, além de serviços na nuvem. A largura de banda maior também permite

uma experiência de utilizador significativamente melhor em áreas densamente povoadas.

Segundo, o URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications) oferece latência extremamente baixa (inferior a 1 ms) e alta fiabilidade, permitindo aplicações críticas como veículos autónomos, telemedicina e automação industrial.

Terceiro, o mMTC (Massive Machine Type Communications) conecta milhões de dispositivos IoT, garantindo eficiência energética e capacidade em grande escala para sensores e dispositivos em cidades inteligentes, agricultura e logística.

Além disso, o 5G utiliza arquiteturas avançadas como slicing de rede, que permite criar redes virtuais adaptadas a diferentes casos de uso, e suporte a frequências Sub-6 GHz e mmWave, maximizando a cobertura e a capacidade.

Por fim, tecnologias como beamforming e MIMO massivo melhoram a eficiência espectral e a cobertura, enquanto o novo core 5GC, baseado em SDN e NFV, assegura flexibilidade, escalabilidade e integração com redes existentes. Essas inovações tornam o 5G a base para comunicações futuras.

b) O desligamento das redes GSM e a transição para redes LTE enfrentam vários desafios técnicos, operacionais e sociais.

Primeiro, existe o legado de dispositivos. Muitos equipamentos, especialmente em setores como saúde, transportes e agricultura, ainda dependem do GSM. Esses dispositivos não são compatíveis com LTE, exigindo substituição ou atualização, o que pode ser dispendioso.

Segundo, o suporte à IoT. Muitos dispositivos IoT de baixo custo utilizam o GSM devido à simplicidade e baixo consumo. Migrar para LTE requer novos módulos que podem aumentar o custo e o consumo de energia, o que é um desafio para aplicações como sensores em larga escala.

Terceiro, a cobertura rural. O GSM é amplamente usado em áreas remotas onde a infraestrutura LTE pode ser limitada ou inexistente. Investimentos significativos seriam necessários para garantir cobertura LTE equivalente.

Além disso, o impacto em serviços de emergência é uma preocupação, já que muitos sistemas ainda utilizam o GSM como backup, exigindo atualizações para garantir a continuidade do serviço.

Por fim, a transição de mercado deve ser bem gerida para evitar interrupções e garantir que operadoras, utilizadores e indústrias tenham tempo para se adaptar à tecnologia LTE.

c) As redes legadas têm um impacto significativo na evolução das redes celulares, influenciando tanto o desenvolvimento técnico quanto a transição operacional.

Primeiro, há o desafio de compatibilidade e coexistência. As gerações mais recentes, como 5G, precisam integrar-se a redes anteriores, como 4G e 3G, para garantir continuidade de serviço em áreas onde as novas tecnologias ainda não estão disponíveis. Isso exige infraestruturas híbridas e interoperáveis, aumentando a complexidade de implementação.

Além disso, as redes legadas limitam o espectro disponível. O espectro ocupado por 2G e 3G poderia ser reutilizado por 4G e 5G, mas o desligamento dessas redes é muitas vezes atrasado devido à dependência de dispositivos antigos, como terminais IoT ou telefones básicos, especialmente em mercados emergentes.

Por outro lado, as redes legadas também oferecem lições importantes. Tecnologias desenvolvidas em gerações anteriores, como CDMA no 2G e MIMO no 4G, foram adaptadas e melhoradas para uso em redes modernas, como o 5G.

Por fim, a transição exige um equilíbrio entre modernização e acessibilidade, garantindo que a evolução tecnológica atenda a todos os utilizadores enquanto maximiza a eficiência da rede. Embora as redes legadas sejam um obstáculo técnico, elas também fornecem uma base sólida para inovações futuras.