

Tópicos em Redes de Computadores



Redes Celulares: 3G, 4G & 5G

Prof. Elias P. Duarte Jr.

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Departamento de Informática

www.inf.ufpr.br/elias/topredes

Sumário

- Retomando a evolução das redes celulares
- Vamos completar nosso estudo de CDMA:
 - recuperação de informação
 - tecnologias implantadas
- 3G, 4G & 5G

As 6 Gerações da Telefonia Celular

- 1ª Geração apenas voz analógica; 2ª Geração apenas voz, mas digital; a partir da 3ª Geração: voz e dados digitais
- Hoje estamos aqui na transição da 4ª Geração (4G) para a 5ª Geração sendo implantada no Brasil
- A 6ª Geração: ainda é tema de pesquisa

O Surgimento do 3G: 2008

- Em 2008 se estabelece finalmente a rede 3G, para atender às necessidades dos smartphones
 - essencialmente taxas de transmissão de dados mais altas
 - Apple lança iPhone para 3G

3G: As Tecnologias

- As duas arquiteturas que foram implementadas nas redes 3G são ambas baseadas em CDMA
- CDMA: *Code Division Multiple Access*
- Na Europa: redes WCDMA (*Wideband CDMA*), propostas pela Ericsson (Suécia, União Europeia)
 - adotada pela União Europeia com o nome **UMTS** (*Universal Mobile Telecommunications System*)
- Nos EUA: redes CDMA2000, proposta pela Qualcomm (E.U.A., Califórnia)

CDMA: Definições Básicas

- No **TDMA** (*Time Division Multiple Access*) todos os dispositivos comunicam na mesma faixa de frequência, mas em intervalos de tempo (*time slots*) distintos
- No **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*) cada dispositivo comunica numa faixa de frequência distinta
 - tem que dividir a totalidade da faixa de frequência disponível em pequenos canais
- No **CDMA** (*Code Division Multiple Access*): que tal permitir que todos os dispositivos comuniquem na faixa total de frequência? E sem terem intervalos de tempo específicos para comunicar?

CDMA: A Tecnologia

- Pulo do gato do CDMA: permite que a totalidade da faixa de frequência disponível seja usada por todos os dispositivos
- Ao invés de usar canais de frequência estreitos (KHz) permite o uso de faixas largas (MHz)
- Os sinais transmitidos ao mesmo tempo por todos...
- ... se somam, ao invés de colidirem e virar lixo
- Deve ser possível extrair cada transmissão individualmente

CDMA: bit 1 e bit 0

- No CDMA cada dispositivo da rede tem uma sequência de chips única que representa o bit 1
- Por exemplo, considere que $m=8$, o dispositivo A pode ter sequência de chips = 00011011
- Para transmitir o dispositivo faz assim:
 - o bit 1: é a própria sequência de chips
 - o bit 0: é o complemento da sequência de chips
- Para o dispositivo A:
 - o bit 1: 00011011
 - o bit 0: 11100100

CDMA: toda a banda disponível

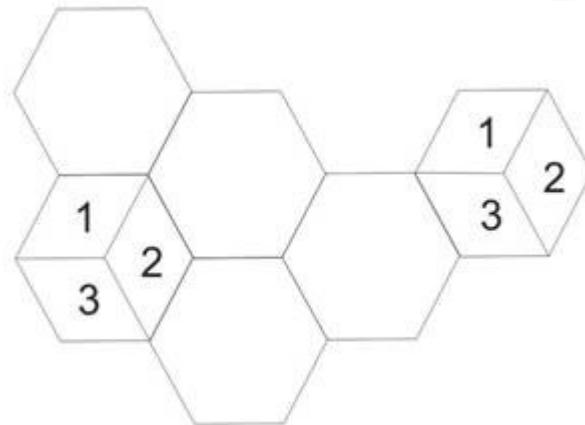
- Precisa de m vezes a largura de banda?
- Sem problemas: tem *toda* a faixa de frequência disponível
- Por exemplo, considere que a faixa de frequência disponível tem 1MHz e são 100 dispositivos
- Usando FDMA, cada dispositivo tem sua faixa de 10KHz para comunicar
- Usando CDMA, cada dispositivo tem a faixa integral de 1MHz para comunicar!

CDMA: Muitas Outras Vantagens

- Na comunicação telefônica há muitos períodos de silêncio → em média, em 1 sentido, fica transmitindo 40% do tempo
- No TDMA e FDMA: desperdiça recursos, não tem como prever que vai haver silêncio e realocar frequência ou os *time slots*
- NO CDMA: naturalmente não usa nenhum recurso quando há silêncio!
 - Ganho de eficiência: permite um número muito maior de transmissões simultâneas
- Não é necessário fazer planejamento contínuo de alocação: mais simples

CDMA: Antenas Setoriais

- Todas as células de uma rede CDMA usam a mesma faixa de frequência
- Este fato torna viável a substituição de antenas omnidirecionais por antenas direcionais
 - Mais robustas, mais simples: todas na mesma faixa de frequência
 - 3 setores (120°) é uma abordagem comum

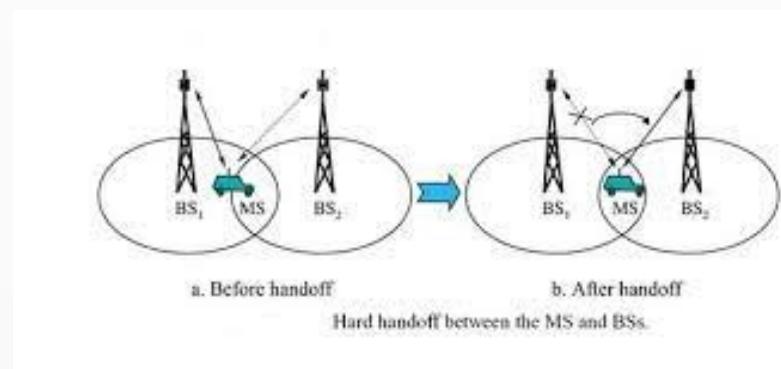


CDMA: Soft vs. Hard Handoff

- Há 2 tipos de handoff: *soft* e *hard*
- No *soft* handoff: o dispositivo que se move de uma célula para outra não desconecta da estação base origem antes de se conectar na estação base destino
- No *hard* handoff: o dispositivo efetivamente se desconecta da estação base da célula origem antes de reconectar com a estação base da célula destino
 - Um dos principais motivos para a ocorrência de hard handoff é a indisponibilidade de frequência no destino
 - este problema não existe no CDMA :-)

CDMA: Soft vs. Hard Handoff

- Há 2 tipos de handoff: *soft* e *hard*
- No *soft* handoff: o dispositivo que se move de uma célula para outra não desconecta da estação base origem antes de se conectar na estação base destino
- No *hard* handoff: o dispositivo efetivamente se desconecta da estação base da célula origem antes de reconectar com a estação base da célula destino



Transmissão CDMA

- Se dois ou mais dispositivos querem transmitir: simplesmente transmitem!
- Os valores dos chips são somados (usando aritmética tradicional)
- Assim, considerando os valores das sequências dos dispositivos A, B, C, D (e os inversos A', B', C', D') vamos ver alguns exemplos:

Recuperando Informação

- Cada dispositivo tem uma sequência de chip S
- Seja o seu complemento/inverso S'
- O CDMA tem 1 exigência para a escolha das sequências de chips:
 - Todas as sequências são ortogonais entre si
- → Isso significa que o produto interno normalizado (\odot) de duas sequências distintas quaisquer é 0 → “cross-correlation”
 - sejam S e T duas sequências distintas: $S \odot T = 0$
 - além disso: $S \odot T' = 0$

Calculando o Produto Interno

- O produto interno “ \odot ” é a soma do produto dos chips das duas sequências 1-a-1, dividido por m
 - m é o número de chips de cada sequência
- Portanto: $S \odot T = 1/m * \sum_{i=1,m} S_i * T_i$
- Existe um algoritmo para gerar sequências ortogonais: código de Walsh
- Vamos fazer para alguns pares de sequências dos exemplos anteriores?

Transmissões Síncronas

- Vamos assumir que os dispositivos transmitem bits (sequências de chips) exatamente sincronizados
 - começando no mesmo instante de tempo
- Em um intervalo de transmissão de bit, um dispositivo pode
 - transmitir o bit 1 (sua sequência de chips)
 - transmitir o bit 0 (o inverso de sua sequência de chips)
 - ou não transmitir nada
- As transmissões de dois ou mais dispositivos somam

Exemplos de Recuperação de Informação

- Para recuperar a informação transmitida, o destino deve saber a sequência da origem
- Considere que o valor recebido do canal CDMA (soma de todas as transmissões) é S
- Para descobrir o bit transmitido pelo dispositivo C basta fazer o produto interno normalizado: $S \odot C$
- Vamos ver alguns exemplos, considerando as transmissões exemplos vistas anteriormente

Limites da Realidade

- Em um canal de comunicação ideal sem ruído o número de dispositivos que comunicam juntos usando CDMA pode ser arbitrariamente grande
- Na prática não é bem assim: só um número limitado de dispositivos conseguem transmitir ao mesmo tempo
- Quanto mais longa a sequência de chips, maior a probabilidade de que tenha sucesso na presença de ruído
- De qualquer forma: um sucesso fabuloso → usado hoje por bilhões de pessoas

CDMA: Premissa Sincronismo

- A premissa de transmissões síncronas não funciona na prática
- Múltiplas estações não transmitem sequências de chips começando exatamente no mesmo instante de tempo
- Solução: as sequências devem ser ortogonais entre si considerando todos os possíveis deslocamentos

3G: Os Protocolos

- A era 3G não foi muito pacífica: 2 alternativas em guerra
- Na Europa, a empresa Ericsson lançou a tecnologia W-CDMA (*Wideband CDMA*)
 - chamada pela União Europeia de UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)
- Nos EUA, a empresa Qualcomm lançou a tecnologia CDMA2000

3G: As 2 Alternativas

- CDMA2000 e UMTS (WCDMA) têm mais semelhanças que diferenças
- Ambos baseados em CDMA
 - CDMA2000: canais de 1,25MHz
 - UMTS: canais de 5MHz
- A raiz da divergência: política! Além de manter a compatibilidade com o que havia
 - na Europa: GSM
 - nos EUA: a rede 2G da Qualcomm (IS-95) a original CDMA

3G: Guerra Judicial

- A guerra de patentes foi longa
- Um padrão 3G foi desenvolvido baseado no UMTS
 - mas incluindo diversas opções incompatíveis entre si
 - inclusive CDMA2000



UMTS: Múltiplas Taxas

- Uma das vantagens do UMTS é a possibilidade dos dispositivos transmitirem em taxas distintas
- Para isso basta assinalar sequências de chips com tamanhos diferentes e controlar a taxa com que os chips são transmitidos
- No UMTS: taxa de chips fixa 3.84 Mchips/s, com sequências de tamanhos diferentes - de 4 a 256 chips por sequência
- Proporção inversa:
 - com 4 chips/seq → 1Mbps
 - com 256 chips/seq → 12Kbps (suficiente para voz!)
- Para ter taxas de vários Mbps: devem ser usados simultaneamente múltiplos canais de 5MHz

Chegando à 4ª Geração

- ITU começa a especificação de requisitos para os padrões 4G em 2008
- Também chamado de “IMT Advanced” - *International Mobile Telecommunications-Advanced*
- Outro padrão importante: LTE - *Long Term Evolution*
- São todos baseados em comutação de pacotes
 - em contraposição a comutação de circuitos

Ainda Antes

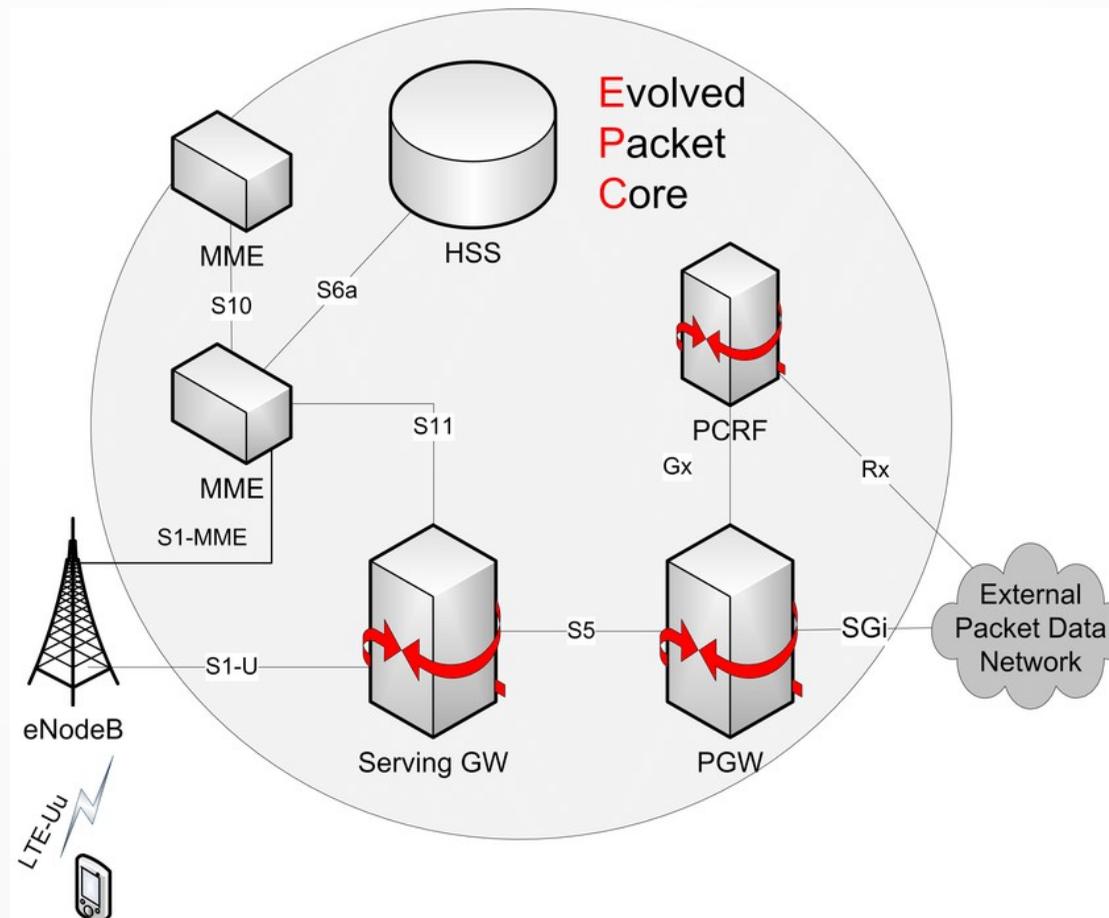
- Na era 2G foi proposta uma solução para comutação de pacotes sobre redes GSM:
 - GPRS: *General Packet Radio Service*
- Provocou aumento expressivo das taxas de transmissão das redes GSM

4G: Comutação de Pacotes

- Pacotes IP
- Basicamente um sistema VoIP
 - sistema VoLTE (*Voice over LTE*)
- LTE permite taxas de transmissão de até 100Mbps (*download*) e 50Mbps (*upload*)
- Para chegar a tal ponto: novas faixas de frequência foram alocadas para 4G

LTE/EPC: *Evolved Packet Core*

- O padrão LTE que especifica o núcleo da rede baseado em comutação de pacotes



EPC: *Evolved Packet Core*

- Serving GW - *Serving Gateway*:
 - responsável pelo roteamento dos pacotes
- MME - *Mobility Management Entity*:
 - segue cada dispositivo
 - aloca para o dispositivo um *Serving GW* quando conecta à rede
 - idem quando acontece um *handoff*
- HSS - *Home Subscriber Server*:
 - o MME consulta o HSS para determinar que o dispositivo é de um assinante válido

EPC: mais componentes

- PGW - Packet Data Network Gateway:
 - interface entre a rede 4G e a Internet e outras redes baseadas em comutação de pacotes
 - pode fazer filtragem, DPI (*Deep Packet Inspection*), entre outros serviços
- PCRF - *Policy and Charging Rules Function*:
 - permite que a rede tenha suporte para diferentes qualidades de serviço, aplica políticas de gerenciamento e é responsável por contabilização \$

4G RAN: Radio Access Network

- A rede 4G tem uma RAN incrementada
- O módulo principal é denominado *eNodeB* que é responsável por diversas operações:
 - gerência de recursos, controle de admissão, escalonamento, entre outras...

5G: Tecnologias de Sustentação

- Alta densidade: células menores
 - Incluindo: pico-células com menos de 100 metros de diâmetro e femto-células que tem alcance de metros
- Células menores permitem que as faixas de frequência sejam fortemente reusadas, o que reduz a competição por recursos
- Por outro lado: a gerência de mobilidade e handoff ficam mais complexos

Tecnologias 5G

- Uso de faixas de frequência de 20 a 300 GHz, com ondas que tem comprimento de menos de 10 milímetros
 - Desafios em termos de garantir a propagação destas ondas
- MIMO - *Multiple-Input Multiple-Output*: uma tecnologia de radiotransmissão que usa múltiplos transmissores e antenas para melhorar o uso do espectro disponível

5G: *Network Slicing*

- O fatiamento da rede (*network slicing*) é tecnologia nativa 5G
- Cria múltiplas redes virtuais sobre a mesma rede física
- Cada fatia (slice) tem características distintas em termos de recursos e garantias de qualidade de serviço (QoS)
- Cada fatia dedicada a assinantes ou grupos de assinantes diferentes
- Tecnologias relacionadas: SDN (Software Defined Networks) e NFV (Network Function Virtualization): nosso 4º pilar da disciplina

Ótimo livro aberto!

- Um livro disponível na Internet:
 - <https://5g.systemsapproach.org/>
 - “5G Mobile Networks: A Systems Approach”, Larry Peterson (2022)
 - Mudou de nome em 2023:
 - “Private 5G: A Systems Approach”

5G: mais que velocidade

- Apesar de que 5G é ordens de magnitude mais veloz que 4G...
 - velocidade extrema: até vários Gbps, capacidade por km² de Tbps
- ...5G é mais que simplesmente uma rede mais rápida
- Suporte a IoT – Internet of Things (Internet das Coisas): bilhões de dispositivos em todo o mundo
 - dispositivos de naturezas diversas
 - grande densidade: +1 milhão por KM²
- Suporte para sistemas de missão crítica
 - confiabilidade ultra elevada, acima dos “cinco noves”: 99,999%
 - incluindo latência mínima, inferior a 1ms
 - mobilidade em altas velocidades, 100km/h

5G: Padrões

- 3GPP: A organização responsável pelos padrões 5G
 - *3rd Generation Partnership Project: www.3gpp.org*
- Os padrões estão em permanente evolução: *releases*
- A sequência de padrões 4G é o LTE: *Long Term Evolution*

Faixas de Frequência

- Relembrando: a rede WiFi usa 2 faixas de frequência “liberadas” pelos governos: 2,4 e 5GHz
- No caso das redes 5G diversas faixas foram recentemente leiloadas no Brasil
 - 85% das faixas de radiofrequências foram vendidas
 - Faixas de 700 MHz, 2,3 GHz, 3,5 GHz e 26 GHz
 - Valor chegou a R\$47,2 bilhões
 - Para comparar: 3G → R\$ 7 bilhões; 4G → R\$ 12 bilhões; e a privatização da Telebras → R\$ 22 bilhões
 - Meta: julho 2022 nas principais cidades brasileiras
 - 2028: todos o país

Rede de Acesso para a Internet

- Sob a perspectiva da Internet como um todo, as redes celulares são redes de acesso (*access networks*)
- Conhecidas como “a última milha”, elas conectam usuários à infraestrutura de rede
- A principal alternativa às redes celulares: fibra ótica
- No caso das redes celulares: dispositivos se conectam a estações base (torre de antenas das células), que por sua vez são conectadas a uma Central de Comutação
 - MTSO - *Mobile Telephone Switching Office*

The Edge Cloud

- As nuvens de datacenter não conseguem atender a demanda de novas aplicações
 - que têm requisitos fortes de alta vazão e baixo throughput
 - exemplos incluem: realidade virtual, realidade aumentada, IoT, veículos autônomos
- Assim: a ideia é trazer a nuvem para mais próximo da borda: Edge Cloud
- Entre as várias alternativas para hospedar a nuvem da borda: a Central de Comutação

De 4G para 5G: Evolução

- Por volta de 2014: maturidade do LTE
- Começa a pesquisa na geração seguinte: 5G
- O objetivo principal é atingir:
 - velocidades muito altas de transmissão
 - apresentando latência muito baixa
- 3 ordens de magnitude em comparação com 4G!

Implementação da Rede 5G

- *Toda em software* sobre hardware de prateleira
- Condizente com a nuvem
- Um caminho de duas mãos:
 - por um lado a nuvem está hospedada na rede 5G
 - por outro lado diversas aplicações da rede 5G executam na nuvem
- Próxima aula: mais sobre 5G!

Conclusão

- Completamos CDMA: uma tecnologia importante!
- Uma visão geral: 3G, 4G & 5G

Obrigado!

Lembrando: a página da disciplina é:
<https://www.inf.ufpr.br/elias/topredes>