

Tópicos em Redes de Computadores



Redes Celulares: 3G & CDMA

Prof. Elias P. Duarte Jr.

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Departamento de Informática

www.inf.ufpr.br/elias/topredes

Sumário

- Relembrando a evolução das redes celulares
- A terceira geração: 3G
- CDMA: alternativa ao TDMA e FDMA

As 6 Gerações da Telefonia Celular

- Revisando a evolução das redes celulares:
- 1ª Geração apenas voz analógica; 2ª Geração apenas voz, mas digital; a partir da 3ª Geração: voz e dados digitais
- Hoje estamos aqui usando a 4ª Geração (4G) mas a 5ª já está sendo implantada no Brasil
- A 6ª Geração ainda é tema de pesquisa e especificação - grande movimentação internacional

Antes da 1ª Geração

- Antes das redes celulares como as conhecemos...
- ...telefones móveis baseados em radiocomunicações já eram usados em pequena escala em redes militares
- O primeiro sistema de telefonia para automóveis: 1946 nos EUA - 1 único canal para comunicar e receber
- Em 1960: progride para full-duplex: IMTS - *Improved Mobile Telephone System*
 - Transmissor de alta potência, com poucas faixas de freq

1ª Geração

- A primeira rede celular que entrou em funcionamento nos EUA era da AT&T
- Bell Labs introduz o *AMPS: Advanced Mobile Phone System*
 - também foi implantado no Japão e UK
 - funcionou até 2008
- Introduziu conceitos importantes: células, handoff, estação base, central de comutação

1ª Geração

- No sistema AMPS as células eram enormes se compararmos com as gerações seguintes
 - diâmetro de 10 a 20km
 - no IMTS era ainda maior: 100km
- O sistema era baseado em multiplexação de frequência (FDM) com 832 canais full-duplex
 - cada um constituído de 2 canais simplex de 30Khz
 - faixas de frequência: 824 a 849Mhz e 869 a 894Mhz
 - em cada célula 21 canais de controle e 45 para voz

2G: A Segunda Geração

- 1G: voz analógica → 2G: voz digital!
 - só vantagens: qualidade, eficiência, segurança, outros dados
- 1G & 2G: A tecnologia ainda estava sendo definida, não havia padrões
- 3 sistemas distintos foram desenvolvidos e usados:
 - Na 2G o sistema AMPS vira **D-AMPS**, *Digital Advanced Mobile Phone System* (EUA e Japão, em versão)
 - **GSM** – *Global System for Mobile communications* – veio a ser adotado no mundo todo
 - **CDMA** – *Code Division Multiple Access* – só veio a se tornar importante no 3G

Tecnologia 2G

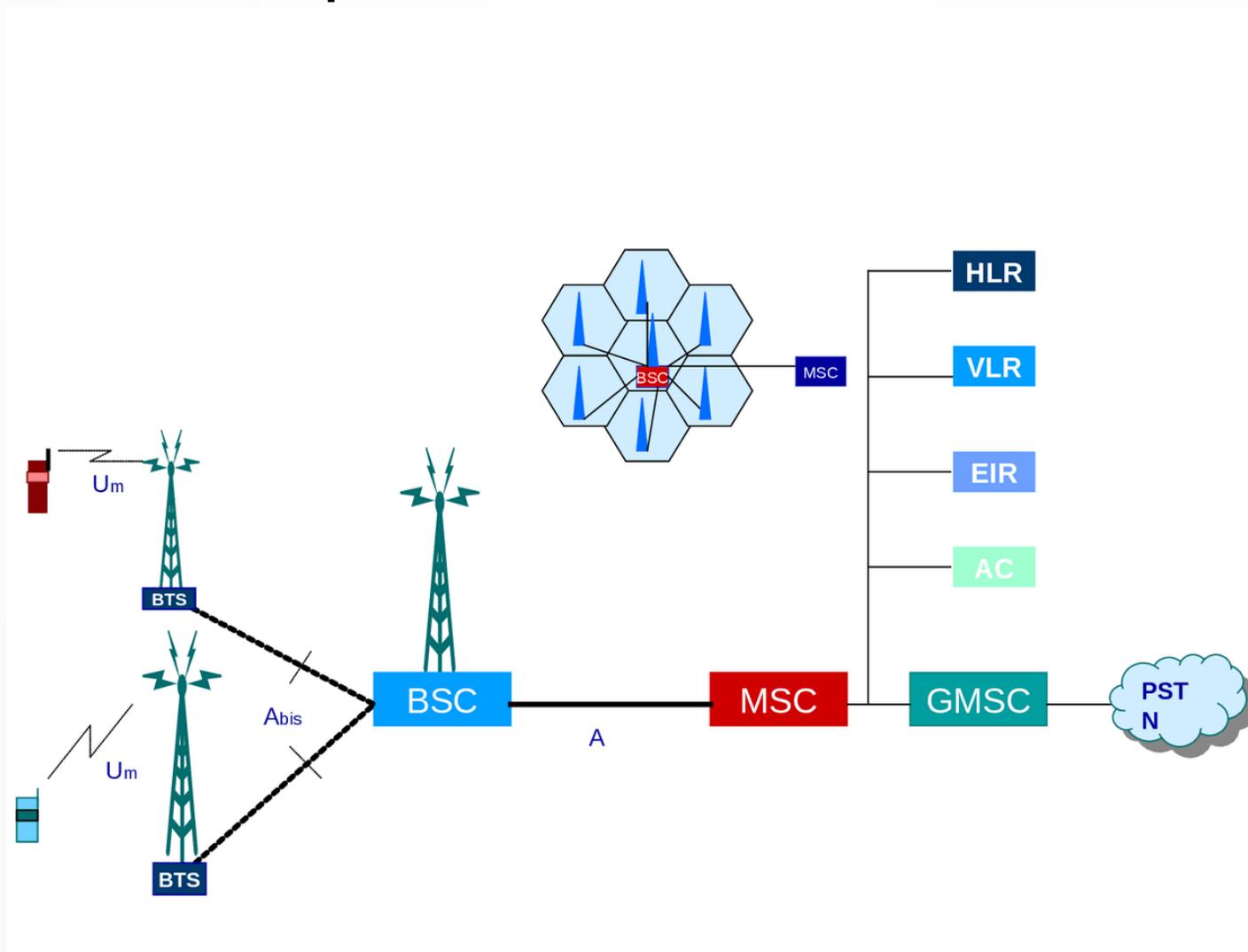
- O sistema D-AMPS é baseado em uma mistura de
 - FDMA (multiplexação de frequência, como no AMPS)
 - TDMA para permitir múltiplas chamadas na mesma freq
- O sistema GSM é também baseado em uma mistura de TDMA e FDMA
- O sistema CDMA não usa nem um nem outro 😜

GSM: Global System for Mobile comm.

- O GSM surgiu como um esforço nos anos 1980 para criar uma rede celular conectando a Europa
 - AMPS e D-AMPS restrita a EUA e Japão (em versão)
- Europa = Múltiplos países → demanda por esforço de padronização
- Resultado: solução atraente para mais que a Europa
 - adotada em todo o mundo: Brasil, Austrália, ...
- Vários conceitos chave 1G permaneceram: handoff e células hexagonais e suas atribuições de frequência

GSM: Arquitetura

- Os vários componentes de uma rede GSM:



3G: A Terceira Geração

- 1G: voz analógica; 2G: voz digital;
- 3G: voz e dados digitais
- Motivação: dados começam a ficar mais importantes que voz na rede celular!
- 2G: já permitia mensagens SMS... mas em seguida vem...
- Em 2007 surge o 1º smartphone, o iPhone da Apple
- Cria uma demanda sem precedentes, provoca uma evolução da rede 2G para 2,5G
 - EDGE: *Enhanced Data rates for GSM Evolution*
 - Eleva as taxas um pouco: 384Kbps máximo teórico, na prática 20Kbps

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
- Paralelamente: a ITU vinha fazendo um esforço para se tornar um *player* importante
 - International Telecommunication Union (<http://itu.int>)
 - O objetivo: criar um padrão universal para telefonia celular em todo o planeta

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
 - adotada pela União Europeia com o nome UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)
- Nos EUA: redes CDMA2000, proposta pela Qualcomm

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**: que tal permitir que todos os dispositivos comuniquem na faixa total de frequência? E sem terem intervalos de tempo específicos para comunicar?

CDMA: Tecnologia Inovadora

- No 2G, tanto D-AMPS como GSM são baseados em uma mistura de TDMA com FDMA
- Uma tecnologia inicialmente recebida com ceticismo...
- Qualcomm perseverou e passou a ser usada conectando bilhões em 3G no mundo todo!
 - nos EUA o chamado *cdmaOne* (padrão IS-95) já tb usado na 2G

Qualcomm

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 por todos...
- ... se somam, ao invés de colidirem e virar lixo
- Deve ser possível extrair cada transmissão individualmente

CDMA: bits divididos em chips

- Um único bit no CDMA consiste de múltiplos chips
 - valores comuns 64 ou 128 chips por bit
 - nos exemplos da aula vamos usar 8 chips por bit
- Generalizando: cada bit é representado por m chips

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 utiliza a 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: mais dados para a mesma informação...

- Num primeiro momento parece uma barbaridade
- Dividindo 1 bit em m chips, é necessário ter uma largura de banda m vezes maior para conseguir a mesma taxa de transmissão...
- Assim, se $m=8$, precisamos de uma largura de banda 8 vezes maior... 

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!

Entendendo como Funciona o CDMA

- Para entender o funcionamento do CDMA facilita usar como valores dos chips: +1 e -1
- Quando usarmos esta notação (ao invés do tradicional 0 e 1) vamos usar parênteses
- Por exemplo, considere que 4 dispositivos A, B, C, D usam as sequências de chip abaixo:
 - A: 00011011 \rightarrow (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)
 - B: 00101110 \rightarrow (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)
 - C: 01011100 \rightarrow (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)
 - D: 01000010 \rightarrow (-1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1)

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:

Exemplos de Transmissão CDMA

- Se apenas C transmite o bit 1 (--1-):
—
- Se B e C transmitem o bit 1 (-11-):
—
- A transmite 1 e B transmite 0 (10--):
—

Exemplos de Transmissão CDMA

- Se apenas C transmite o bit 1 [--1-]:
 - (-1,+1,-1,+1,+1,+1,-1,-1)
- Se B e C transmitem o bit 1 [-11-]:
 -
- A transmite 1 e B transmite 0 [10--]:
 -

Exemplos de Transmissão CDMA

- Se apenas C transmite o bit 1 [--1-]:
 - (-1,+1,-1,+1,+1,+1,-1,-1)
- Se B e C transmitem o bit 1 [-11-]:
 - (-2,0, 0, 0,+2,+2, 0,-2)
- A transmite 1 e B transmite 0 [10--]:
 -

Exemplos de Transmissão CDMA

- Se apenas C transmite o bit 1 [--1-]:
 - (-1,+1,-1,+1,+1,+1,-1,-1)
- Se B e C transmitem o bit 1 [-11-]:
 - (-2,0, 0, 0,+2,+2, 0,-2)
- A transmite 1 e B transmite 0 [10--]:
 - (0, 0,-2,+2, 0,-2, 0,+2)

Mais Exemplos de Transmissão CDMA

- Se A e C transmitem 1, B transmite 0 (101-):
 -
- Todos transmitem o bit 1 (1111):
 -
- A, B e D transmitem 1 e C transmite 0 (1101):
 -

Mais Exemplos de Transmissão CDMA

- Se A e C transmitem 1, B transmite 0 (101-):
 - (-1,+1,-3,+3,+1,-1,-1,+1)
- Todos transmitem o bit 1 (1111):
 -
- A, B e D transmitem 1 e C transmite 0 (1101):
 -

Mais Exemplos de Transmissão CDMA

- Se A e C transmitem 1, B transmite 0 (101-):
 - $(-1, +1, -3, +3, +1, -1, -1, +1)$
- Todos transmitem o bit 1 (1111):
 - $(-4, 0, -2, 0, +2, 0, +2, -2)$
- A, B e D transmitem 1 e C transmite 0 (1101):
 -

Mais Exemplos de Transmissão CDMA

- Se A e C transmitem 1, B transmite 0 (101-):
 - $(-1, +1, -3, +3, +1, -1, -1, +1)$
- Todos transmitem o bit 1 (1111):
 - $(-4, 0, -2, 0, +2, 0, +2, -2)$
- A, B e D transmitem 1 e C transmite 0 (1101):
 - $(-2, -2, 0, -2, 0, -2, +4, 0)$

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 de duas sequências quaisquer é 0
 - 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?

Calculando o Produto Interno

- Por exemplo, considere as sequências dos 4 dispositivos A, B, C, D abaixo:
 - A: 00011011 \rightarrow (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)
 - B: 00101110 \rightarrow (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)
 - C: 01011100 \rightarrow (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)
 - D: 01000010 \rightarrow (-1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1)
- $A \odot B =$
- $B \odot D =$
- $C \odot A =$

Calculando o Produto Interno

- Por exemplo, considere as sequências dos 4 dispositivos A, B, C, D abaixo:
 - A: 00011011 \rightarrow (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)
 - B: 00101110 \rightarrow (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)
 - C: 01011100 \rightarrow (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)
 - D: 01000010 \rightarrow (-1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1)
- $A \odot B = 1+1-1-1+1-1+1-1 = 0$
- $B \odot D =$
- $C \odot A =$

Calculando o Produto Interno

- Por exemplo, considere as sequências dos 4 dispositivos A, B, C, D abaixo:
 - A: 00011011 \rightarrow (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)
 - B: 00101110 \rightarrow (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)
 - C: 01011100 \rightarrow (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)
 - D: 01000010 \rightarrow (-1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1)
- $A \odot B = 1+1-1-1+1-1+1-1 = 0$
- $B \odot D = 1-1-1+1-1-1+1+1 = 0$
- $C \odot A =$

Calculando o Produto Interno

- Por exemplo, considere as sequências dos 4 dispositivos A, B, C, D abaixo:
 - A: 00011011 \rightarrow (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)
 - B: 00101110 \rightarrow (-1, -1, +1, -1, +1, +1, +1, -1)
 - C: 01011100 \rightarrow (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)
 - D: 01000010 \rightarrow (-1, +1, -1, -1, -1, -1, +1, -1)
- $A \odot B = 1+1-1-1+1-1+1-1 = 0$
- $B \odot D = 1-1-1+1-1-1+1+1 = 0$
- $C \odot A = 1-1+1+1+1-1-1-1 = 0$

Duas Propriedades do Código

- O produto interno normalizado de uma sequência por ela mesma é sempre 1
 - $\frac{1}{m} \sum_{i=1..m} S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1..m} S_i^2$
 - $S_i^2 = 1 * 1$ ou $-1 * -1 = 1$
 - Portanto $\frac{1}{m} \sum_{i=1..m} 1 = m/m = 1$

Duas Propriedades do Código

- O produto interno de uma sequência por ela mesma é sempre 1
 - $\frac{1}{m} \sum_{i=1..m} S \otimes S = \frac{1}{m} \sum_{i=1..m} S_i^2$
 - $S_i^2 = 1 * 1$ ou $-1 * -1 = 1$
 - Portanto $\frac{1}{m} \sum_{i=1..m} 1 = m/m = 1$
- Além disso, o produto interno $S \otimes S' = -1$
 - $\frac{1}{m} \sum_{i=1..m} S \otimes S' = \frac{1}{m} \sum_{i=1..m} (1 * -1) = \frac{1}{m} \sum_{i=1..m} (-1) =$
 - $\frac{1}{m} \sum_{i=1..m} (-1) = \frac{1}{m} * -m = -1$

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

Exemplos de Recuperação de Informação

- O destinatário está conectado com o dispositivo C e quer identificar os bits transmitidos por C
 - a sequência de C é: 01011100
 - (-1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1)
 - Vamos calcular juntos para as sequências acumuladas transmitidas a seguir

Exemplos de Transmissão CDMA

- Se apenas C transmite o bit 1 [--1-]:
 - (-1,+1,-1,+1,+1,+1,-1,-1)
- Se B e C transmitem o bit 1 [-11-]:
 - (-2,0, 0, 0,+2,+2, 0,-2)
- A transmite 1 e B transmite 0 [10--]:
 - (0, 0,-2,+2, 0,-2, 0,+2)

Conclusão

- Neste aula fizemos a transição para 3G
- Estudamos a transmissão de dados com CDMA
- Na próxima aula: continuamos as redes celulares!

Obrigado!

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