

Tópicos em Redes de Computadores



Introdução às Redes Celulares

Prof. Elias P. Duarte Jr.

Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Departamento de Informática

www.inf.ufpr.br/elias/topredes

Sumário

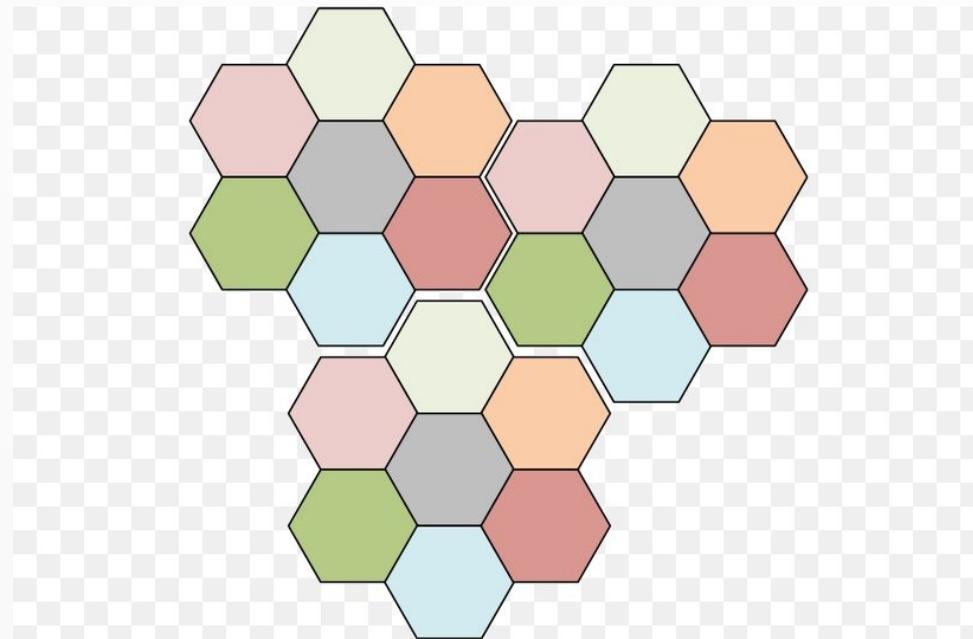
- O que é uma rede celular?
- Definições básicas: célula, *hand-off*
- Da 1ª à 5ª geração: passeando pela história
- Hoje vamos chegar à 3ª geração

Importância

- Em 2023 o número de aparelhos celulares no mundo chegou a 16 bilhões
 - 1 bilhão a mais que 2021 (crescimento)
 - População mundial: aproximando de 8 bilhões
 - número de assinantes: 8,4 bilhões (106%)
- A estimativa é que serão mais de 18 bilhões telefones celulares em 2025!

Redes Celulares

- Uma rede celular permite a comunicação de dispositivos móveis, os celulares
- A rede é baseada em radiocomunicação, com a área de cobertura organizada em células
 - tradicionalmente as células tem formato hexagonal 🤔



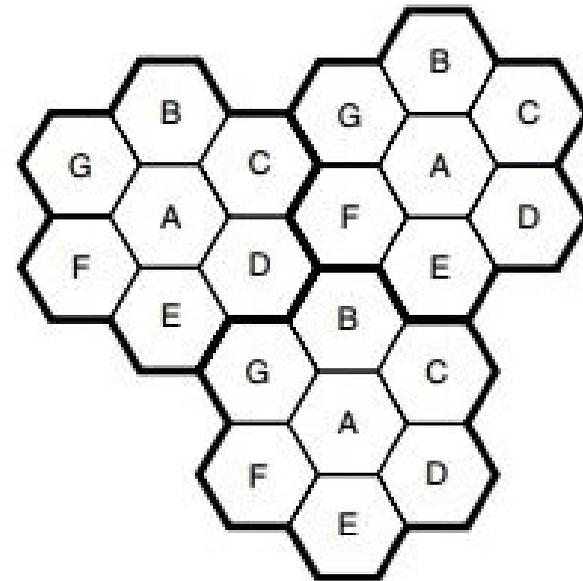
Estação Base

- Uma estação base é fixa no centro de cada célula
 - às vezes chamada de ERB: Estação RadioBase
- As estações base contêm transceivers, equipamentos que permitem a transmissão/recepção de sinais



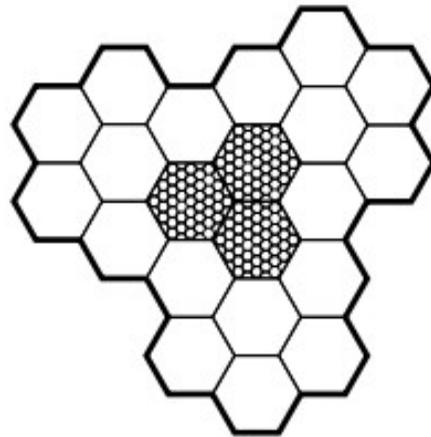
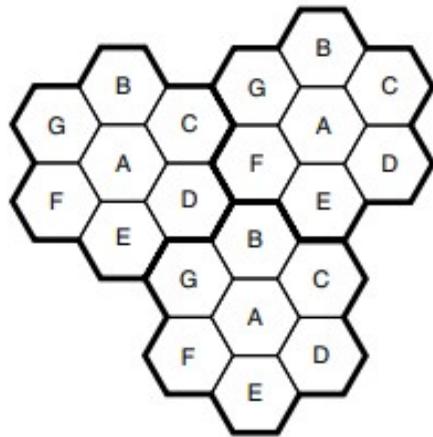
Estações Base: Frequências

- Dica: App Serviço Móvel Anatel mostra as estações base de todas as cidades do Brasil
- Cada célula rede comunica numa faixa de frequência diferente de suas vizinhas



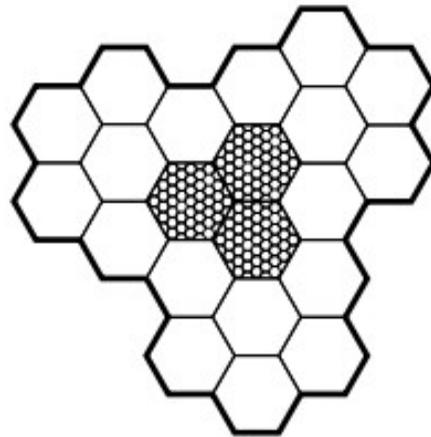
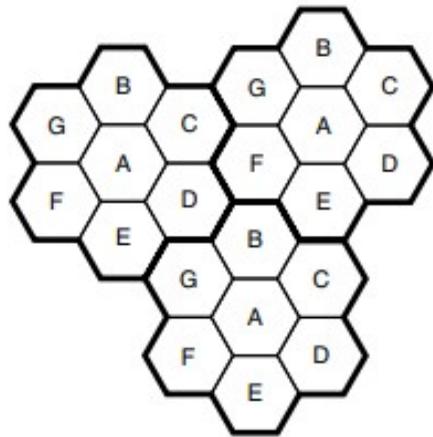
Dividir para Conquistar

- A estratégia de dividir a rede em células permite gerenciar grandes números de usuários/volumes de dados
- É possível subdividir células em micro-células, por exemplo em eventos que aumentam a demanda: jogos de futebol, jogos de badminton, shows de cantores famosos,...



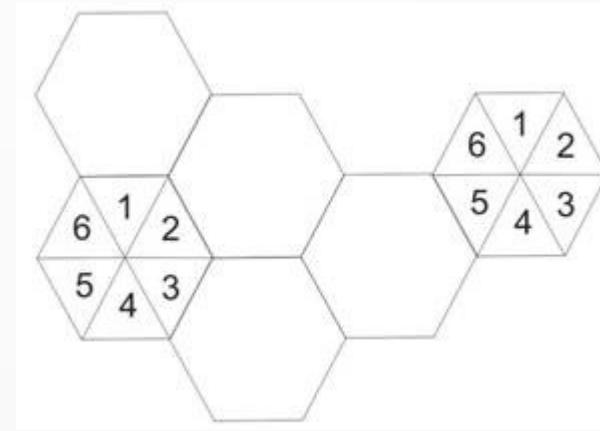
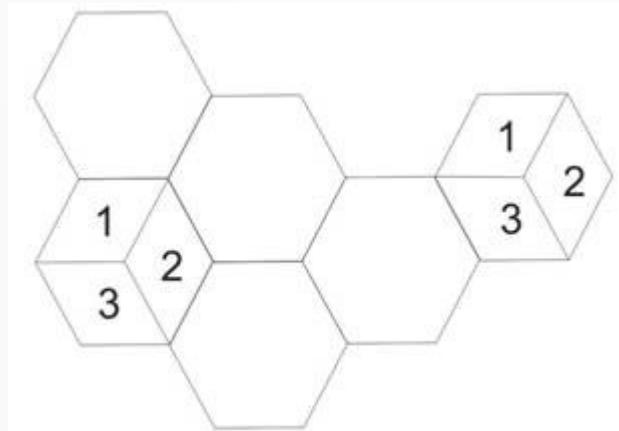
Dividir para Conquistar

- A estratégia de dividir a rede em células permite gerenciar grandes números de usuários/volumes de dados
- É possível subdividir células em micro-células, por exemplo em eventos que aumentam a demanda: jogos de futebol, ~~jogos de badminton~~, shows de cantores famosos,...



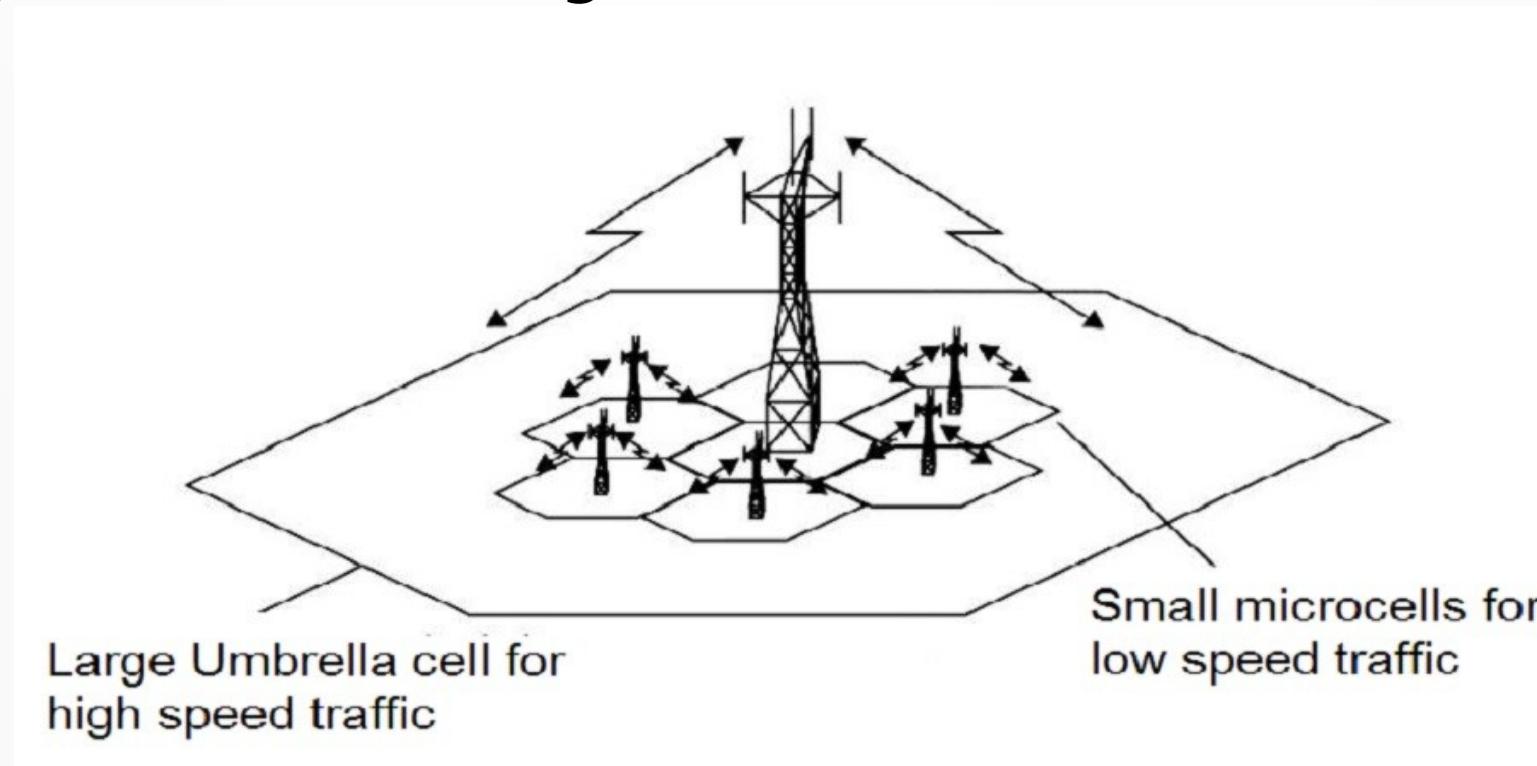
Estações: Omni & Setoriz.

- A dimensão da célula determina a potência de transmissão da estação base
- As antenas das estações podem ser de dois tipos: omnidirecionais ou com células setorizadas
 - As células omnidirecionais são constituída tem antena omnidirecional, que radia para todas as direções, com área de transmissão circular
 - As células setorizadas tem setores determinados em graus



CCC: Central de Comutação e Controle

- As estações base, por sua vez, são conectadas a uma Central de Comutação e Controle
 - MSC (*Mobile Switching Center*) ou MTSO (*Mobile Telephone Switching Office*)



Hierarquia de Centrais

- Dependendo da área basta 1 central para todas as estações base
- Caso contrário: podem ser necessárias várias centrais para grupos de estações – estas centrais são daí conectadas a centrais de mais alto nível
 - Todas as centrais comunicam entre si
- Pelo menos a central de mais alto nível faz a ligação com a rede telefônica e a Internet
 - Hoje: usando o protocolo IP!

Handoff

- Usuários das redes celulares são *móveis*
- Podem se movimentar de uma célula para outra
- Quando uma estação base detecta que a potência de um aparelho está reduzindo...
- ... consulta suas vizinhas para saber em qual a potência é maior
- E transfere o aparelho para aquela estação base vizinha; o aparelho e a vizinha são comunicados

Handoff: Muda Frequência

- O ponto chave: na mudança de célula muda a frequência na qual o aparelho comunica
- Quem faz o assinalamento de frequências é a central que conecta as estações base envolvidas
 - demora cerca de 300ms
- Um conceito relacionado: ROAMING – neste caso muda a central, não apenas a estação base
 - redes celulares distintas, devem haver acordos

Tipos de Canais na Rede

- Uma rede celular tem 4 canais de comunicação distintos:
 - 1) Canal de controle - utilizado no gerenciamento/operação do sistema
 - 2) Canal de acesso - utilizado para estabelecer chamadas e configuração de frequências
 - 3) Canal de dados - utilizado para envio e recebimento de dados (inc. voz)
 - 4) Canal de *paging* - utilizado para mandar alertas da estação base ao celular (princ. chamada chegando)

As 6 Gerações da Telefonia Celular

- Vamos agora acompanhar 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 juntas a 4ª Geração (4G) e a 5ª já parcialmente 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, como os que acabamos de ver: 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 dados

1G: Gerência de Chamadas

- Cada telefone celular nesta tecnologia tem um identificador serial de 32 bits, além do número do telefone (digital)
 - Números de 10 dígitos, 3 código de área (34 bits)
 - Ficam armazenados em memória ROM (i.e., PROM)
- Ao ser ligado: o telefone faz uma varredura de 21 canais distintos de frequência: busca sinal mais forte
- Faz então broadcast do número serial (32 bits) e do número do telefone (34 bits)
 - Esta comunicação é digital, apesar que em 1G a voz é analógica

1G: Gerência de Chamada

- A estação base recebe o sinal e:
 - Registra o usuário (telefone)
 - Informa a central de comutação
- De 15 em 15 minutos o telefone re-envia a mensagem para renovar o registro
- Para fazer uma ligação: quando o usuário tecla o número chamado aperta o “chamar”:
 - o telefone envia para a estação a requisição, com o número chamado, além do seu próprio número
 - a estação base recebe (antes pode haver colisão e retransmissão) e envia para a central de comutação
 - a central de comutação escolhe uma frequência livre para a chamada e retorna para o telefone

1G: Chegada de Ligação

- O telefone deve ficar em modo de escuta no canal de *paging*
 - usado para informar que uma chamada está chegando
 - além de outros alertas/notificações
- A chamada é recebida inicialmente pela central de comutação
 - que passa à estação base da célula onde o telefone está
 - que passa ao telefone, tudo usando o canal de *paging*
 - o telefone confirma o recebimento no canal de acesso
 - a estação base informa então o canal da ligação
 - quando passa para este canal, o telefone toca

2G: A Segunda Geração

- 1G: voz analógica → 2G: voz digital!
 - só vantagens: qualidade, eficiência, segurança, outros tipos de 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

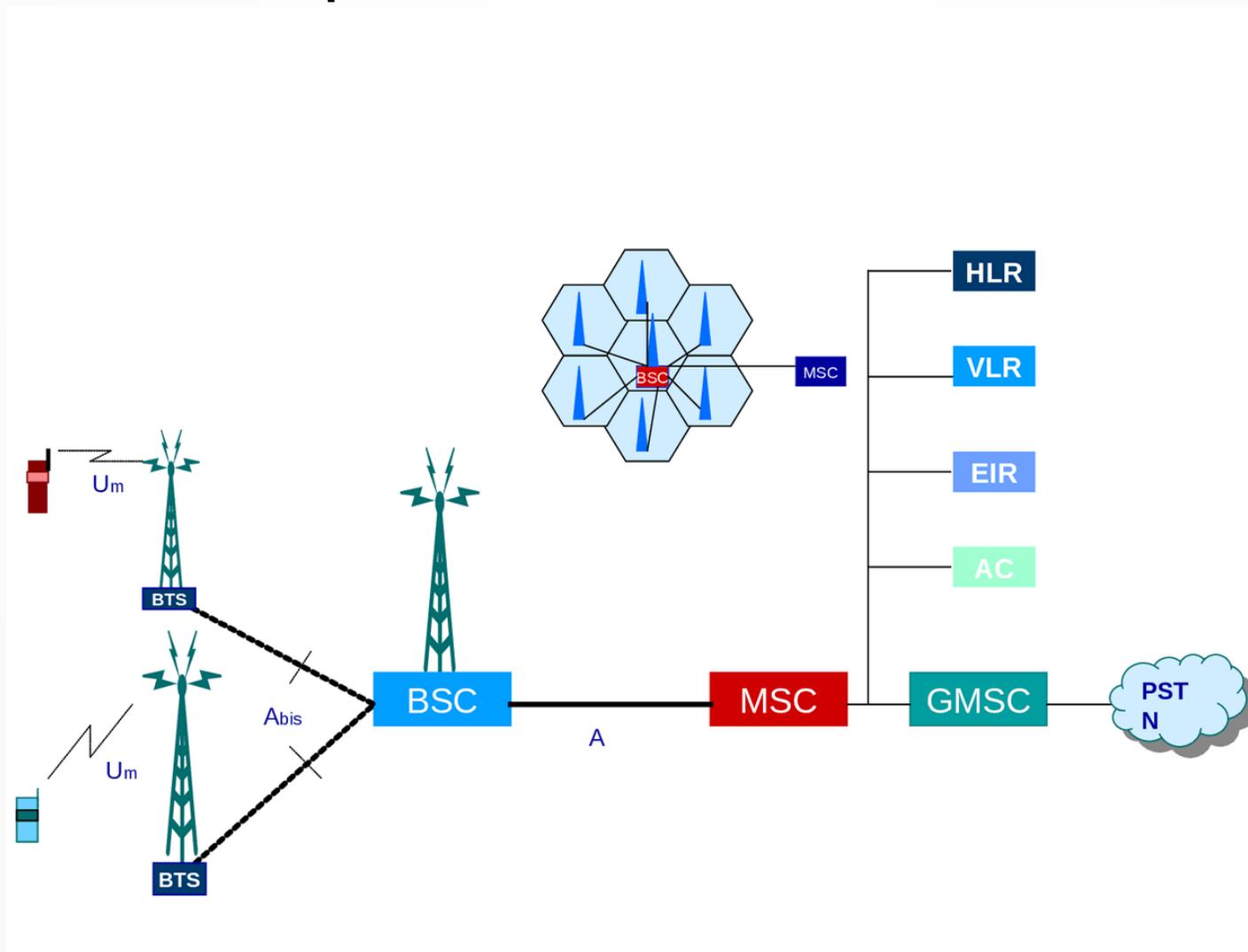
- O sistema D-AMPS é baseado em uma mistura de
 - FDMA (multiplexação de frequência, como no AMPS)
 - TDMA para permitir múltiplas chamadas na mesma freq
- O sistema GSM é também baseado em uma mistura de TDMA e FDMA
- O sistema CDMA não usa nem um nem outro 😜

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 (outra 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:



Células GSM: Tamanhos

- O padrão GSM permite células de diferentes tamanhos, da maior para a menor:
 - *macro* → *micro* → *pico* → *femto*
 - *femto cells* são células que correspondem a uma residência ou pequeno negócio
 - células guarda-chuva (*umbrella cells*): usadas prover conectividade entre células ou mesmo em porções de uma célula, quando necessário

GSM: O Celular e a Base

- O telefone celular GSM funciona com um chip...
- ... chamado SIM (*Subscriber Identity Module*)
- Inclui informações sobre o usuário assinante e as chaves correspondentes de criptografia
- O celular – chamado de UE (*User Equipment*) – se comunica uma estação base BTS – *Base Transceiver Station*
 - Na figura “Um” é nome da interface (U antiga interface RDSI)
- O BTS provê a conexão de rádio para o aparelho celular

GSM: Estação Base

- O **BTS**, por sua vez se comunica com um controlador: BSC – *Base Station Controller*
- é o **BSC** que gerencia os recursos de rádio das células e handoff
 - aloca um canal para a chamada, monitora a qualidade da chamada e a potência transmitida pela BTS
- Um controlador BSC pode gerenciar diversas estações base BTS
- O BSC se comunica com uma central comutadora **MSC** (*Mobile Switching Center*) que provê a comunicação dos celulares da rede entre si e com outras redes
 - inclusive a rede de telefonia fixa PSTN (*Public Switched Telephone Network*)

GSM: Bases de Dados do MTS

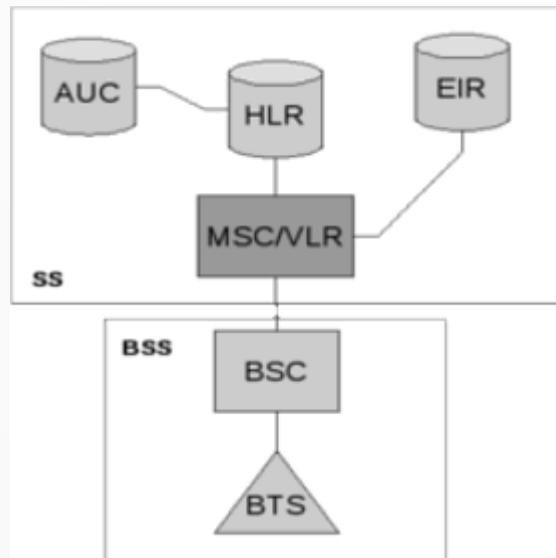
- A central de comutação MSC mantém uma base de dados com informações sobre todos os seus assinantes locais
 - **HLR** (*Home Location Register*)
 - Perfil do assinante, status, localização, informação sobre atividades
- Outra base de dados com informações sobre celulares que estão “visitando” (temp.) célula gerenciada
 - **VLR** (*Visitor Location Register*)
 - Quando chega o visitante, o MTS requisita info do HLR correspondente

GSM: EIR, AUC & GMSC

- A base de dados **EIR** (*Equipment Identity Register*) mantém a lista de identificadores internacionais dos aparelhos
 - números IMEI - *International Mobile Equipment Identity*
 - gravados na fábrica, únicos para o aparelho
 - usados em caso de roubo do aparelho
- O **AuC** é o AUthentication Center – usado para autenticar os assinantes
- Finalmente a última caixinha da figura é o *Gateway Mobile Switching Center* (**GMSC**)
 - faz a conexão da rede GSM com outras redes
 - gerencia *roaming*

GSM: 2 Redes - Acesso & Núcleo

- A rede GSM é organizada em 2 partes distintas:
 - Uma delas é a chamada Rede de Acesso, Radio Access Network (RAN) ou Base Station System (BSS) consiste da estação base (BTS) e o controlador (BSC)
 - A outra rede é o núcleo: Core Network ou Switching System



GSM: Operações

- Registro: ao ser ligado, o celular se comunica com a central de comutação MSC, registrando sua presença e localização
 - quando é desligado, a central de comutação MSC também recebe uma mensagem, informando que o assinante não pode mais receber chamada
 - a central MSC atualiza as bases de dados HLR ou VLR
- Atualização de posição: quando se move o celular também comunica com a central MSC

GSM: Estabelecendo Chamada

- A central de comutação MSC recebe uma requisição de chamada
- Verifica se o celular está autorizado a fazer uma chamada
- Busca nas bases HLR e VLR se o celular está em alguma célula gerenciada
 - Se estiver fora: encaminha mensagem de “paging” para o gateway GMSC, que encaminha para o MSC da rede destino
 - Se estiver dentro: determina qual o controlador BSC correspondente e envia uma mensagem de “paging”
 - O controlador identifica a estação base BTS correspondente e encaminha a mensagem de “paging”, que envia ao celular
 - O celular recebe a mensagem de “paging” indicando chamada recebida e solicita à BTS um canal para a chamada. O canal é provido pelo BSC

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...

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

ITU: IMT-2000

- Desde 1992 a ITU vinha trabalhando em propostas de padrão para uma rede celular voz+dados
- IMT: International Mobile Telecommunications
- 2000 representa três significados:
 - o ano que deveria entrar em operação
 - a faixa de frequência em que deveria operar 2000MHz (2GHz)
 - a largura de banda que deveria oferecer: 2000Kbps (2Mbps)

IMT-2000

- Nada disso aconteceu 😂
- Particularmente importante:
 - não é realista querer prover 2Mbps para usuários em movimento
 - parados sim!
 - para uma pessoa andando: 384Kbps
 - para automóveis: 144Kbps
- As faixas de frequência foram reservadas na China apenas, nenhum outro país!
- Mas a tecnologia 3G se baseou muito nos trabalhos do IMT-2000

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

Conclusão

- Redes Celulares
- Conceitos básicos
- Da 1G até começar a 3G
- Próxima aula: seguimos com 3G e mais!

Obrigado!

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