

CAPÍTULO 1

SISTEMA DE RÁDIO MÓVEL

1.1 - Introdução

- 1800 $\Rightarrow$ Marconi estabeleceu uma ligação rádio entre uma estação base terrestre e um barco rebocado sobre 18 milhas.
- Utilidade dos serviços de rádio móvel.

$\Rightarrow$ Serviços de segurança pública: polícia, bombeiros, conservação florestal, manutenção de rodovias e serviços do governo local.

$\Rightarrow$ Setores privados: energia, petróleo, movimentação de imagens, manutenção de telefones, serviços de transporte, frotas de táxi e caminhão.

- 1950 $\Rightarrow$ taxa de crescimento dos serviços = 20% ao ano nos Estados Unidos.
- 1963 $\Rightarrow$ número de canais disponíveis ainda muito pouco, aproximadamente 12.
- Sistemas móveis convencionais (CMS)

Consistiam de uma estação base com seu T_x e R_x montados em cima de um monte. Área de cobertura escolhida para ser grande. T_x de alta potência (200 ou 250 W) atingindo uma grande área de cobertura (25 milhas de raio). São sistemas isolados um do outro e alguns acessam a rede pública de comutação telefônica.

- Sistemas móveis telefônicos

CMS que tem conexão com a rede telefônica, onde a unidade de comunicação é designada do assinante e não à localização física $\rightarrow$ maior grau de flexibilidade para o usuário que pode mover-se de um lugar para outro e ainda ser capaz de usar seu telefone.

1.2 - Sistemas Móveis Convencionais

- Fins século XIX $\Rightarrow$ Hertz demonstrou que as ondas de rádio poderiam propagar-se em um meio sem fio. Utilidade: serviços marítimos móveis.
- 1921 $\Rightarrow$ Departamento de Polícia de Detroit colocou em operação o sistema dispatching. Inicialmente somente a estação base podia transmitir. Mais tarde a unidade móvel passou a ser capaz de se comunicar com a estação base. Frequência utilizada: 2 MHz.
- 1930 $\Rightarrow$ FCC autorizou mais 4 canais entre 30 MHz e 40 MHz, devido ao congestionamento do espectro disponível $\rightarrow$ incentivo às companhias privadas para investirem em comunicações móveis.
- 1946 $\Rightarrow$ 6 canais próximos de 150 MHz ficaram disponíveis para uso: mas apenas 3 poderiam ser utilizados para evitar interferência de canal adjacente (a distância de 60 kHz entre canais era muito pequena).
- Estas frequências foram primeiro utilizadas para serviços móveis telefônicos.
- Frequências em torno de 40 MHz disponíveis para uso nas rodovias. Este serviço teve rápido crescimento apesar de parecer que não funcionava bem devido às interferências de rádio.
- 1950 $\Rightarrow$ um total de 11 canais era possível de ser usado em 150 MHz devido à redução do espaço entre canais de 60 kHz para 30 kHz. Em seguida 12 canais ficaram disponíveis em 450 MHz.
- Os sistemas móveis telefônicos eram operados manualmente com cada chamada tendo que ser manuseada através de um operador.
- 1960 $\Rightarrow$ os sistemas automáticos permitiram aos assinantes fazer a discagem direta. Os sistemas automáticos móveis telefônicos operavam inicialmente em 150 MHz, movendo-se mais tarde para 450 MHz.
- 1975 $\Rightarrow$ foi colocada em uso uma banda de 40 MHz entre 800 MHz e 900 MHz.
- 1978 $\Rightarrow$ primeiro sistema celular testado em campo.

1.3 - Evolução Tecnológica

Como em muitas outras áreas, a pesquisa e desenvolvimento em sistemas de comunicações móveis estiveram intimamente ligada aos padrões militares até a segunda guerra mundial.

Entretanto o crescimento da demanda por aplicações civis de sistemas móveis levou a um rápido desenvolvimento de sistemas comerciais. Isto provocou o congestionamento do espectro disponível para tais serviços, exigindo melhor aproveitamento do espectro pelos sistemas de telefonia móvel. Tais melhorias ocorreram principalmente nos três seguintes aspectos:

a) Evolução do empacotamento do equipamento

- Antes de 1930 $\Rightarrow$ equipamentos à válvula, somente os receptores eram móveis. Havia só um sentido de comunicação ($T_x \rightarrow R_x$)
- 1950 $\Rightarrow$ equipamentos ($T_x + R_x$) pequenos o suficiente para serem transportados nas costas dos soldados.
- A partir de 1957 começou o uso de transistores pelas fontes de alimentação e logo depois em parte dos transmissores.
- Equipamentos transistorizados $\Rightarrow$ 50% volume, menor consumo de energia, maior confiabilidade.
- Queda no preço dos transistores e diminuição da exigência de peças sobressalentes, o que causou a diminuição do custo de manutenção.
- Surgiram as placas de circuito impresso, soquetes e dissipadores de calor.
- Válvulas multiuso $\rightarrow$ redução ($T_x - R_x$) e no consumo de energia.
- Mas transistor x válvula = transistor
- 1960 $\Rightarrow$ Estado sólido já dominava, Primeiros rádios portáteis que cabiam na mão.
- 1970 $\Rightarrow$ Telefones sem fios (CI's).
- Hoje $\rightarrow$ LSI, VLSI.

b) Evolução do esquema de modulação

- Inicialmente $\Rightarrow$ AM-DSB $\rightarrow$ HF, depois AM-DSB $\rightarrow$ VHF.
- 1935 $\Rightarrow$ FM (invenção)
- 1940 $\Rightarrow$ FM $\rightarrow$ VHF (móvel militar)
- 1960 $\Rightarrow$ FM $\rightarrow$ VHF (móvel comercial)
- FM dominou, exceto: AM-SSB.
 - $\rightarrow$ militar - 1960 (temporariamente)
 - $\rightarrow$ civil - telefone sem fio (1970), faixa cidadão
- FM continua o melhor esquema de modulação analógica, cedendo espaço para modulação digital.
- FM era usado em telefone sem fio $\rightarrow$ agora é usado em FM rádio celular.

Vantagens e desvantagens dos esquemas de modulação AM-DSB

- Fácil implementação.
- Simplicidade.
- Baixo custo.
- Requer 3KHz de largura de faixa para transmissão de voz.
- Demanda alta potência no transmissor.

Vantagens e desvantagens dos esquemas de modulação FM

- Melhor qualidade de voz em relação ao AM.
- Efeito de captura - sintonia automática do sinal estranho e SNR muito melhor.
- Funciona melhor na presença do desvanecimento que o AM.
- Simples implementação e requer menor potência em relação a AM
- Faixa de voz: 120 KHz $\rightarrow$ 60 KHz $\rightarrow$ 30 KHz $\rightarrow$ 25 KHz $\rightarrow$ 12 KHz
- FM faixa estreita = qualidade razoável, mas não tão notável quanto FM faixa larga.

Vantagens e desvantagens dos esquemas de modulação AM-SSB

- Utilização do espectro de modo mais eficiente, pois utiliza apenas uma das bandas do AM-DSB.
- Na transmissão de voz exige 5 ou 6 vezes menos espectro que a modulação FM.
- O seu principal problema é o desvanecimento.
- Outra restrição é a complexidade de implementação.
- No receptor a portadora de frequência precisa ser gerada localmente para recuperar o sinal, isto se torna um problema nas altas frequências (VHF e UHF), onde a estabilidade de frequência é crítica.

Modulação Digital

- Digitalização da voz
- Transmissão digital

Vantagens e desvantagens da modulação digital

- O sinal digital é mais robusto ante a degradação pelo meio de transmissão e ruído interferente, tal que se alguns bits degenerados ainda puderem ser identificados eles poderão ser restaurados permitindo a recomposição do sinal analógico original.
- Mesmo que alguns bits não possam ser identificados a informação corrompida pode ser corrigida por códigos de correção de erro.
- O sinal digital pode ser implementado com criptografia para permitir privacidade.
- O sinal digital pode ser multiplexado e comutado sem degradação.
- A digitalização habilita o sistema móvel a ser integrado à rede digital emergente com capacidade de transmissão de dados e voz, imagens, etc.
- Permite outras opções de acesso ao canal.

1ª geração: analógica $\Rightarrow$ acesso FDMA (acesso múltiplo por divisão de frequência). Cada conversa  o ocupa exclusivamente o canal de voz enquanto durar.

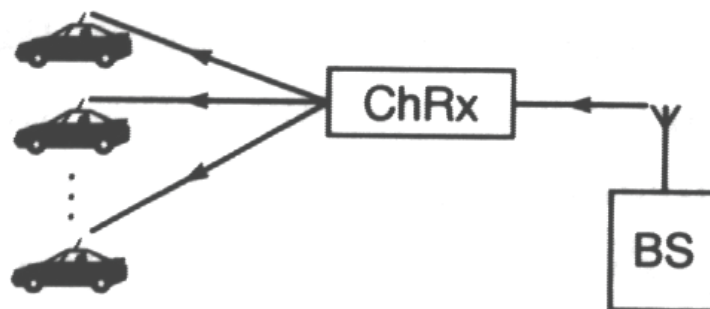
2ª geração: digital $\Rightarrow$ acesso TDMA (acesso múltiplo por divisão de tempo). A portadora é compartilhada no tempo por mais de uma conversação.

3ª geração: digital $\Rightarrow$ CDMA (acesso múltiplo por divisão de código). Utiliza espalhamento espectral.

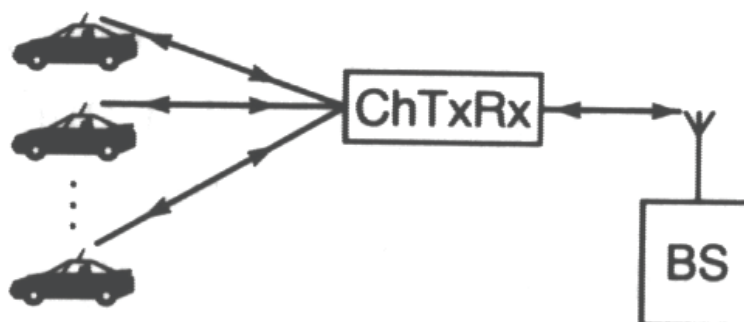
- Desvantagem $\Rightarrow$ PCM = 64 Kbit/s, PCM rádio móvel = 100 KHz de faixa de voz, 100 KHz = 4 x 25 KHz Fm faixa estreita, mas a taxa de transmissão tem sido reduzida (16Kbit/s). Sistema europeu (GSM): 16 Kbit/s, Sistema americano (GSM): 8 Kbit/s.

c) Evolução do Sistema

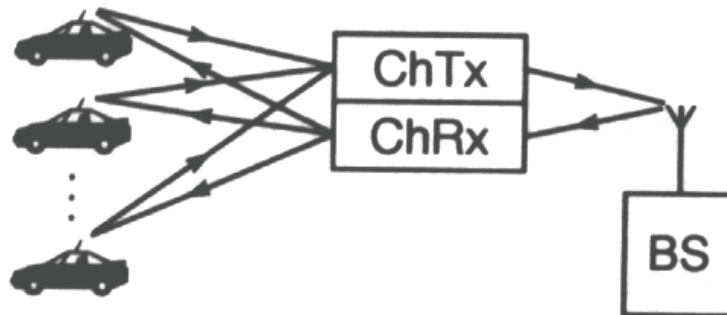
1. **Sistema Simplex (SS)** $\Rightarrow$ Uma única frequência. Só a estação base pode transmitir, a unidade móvel só recebe.



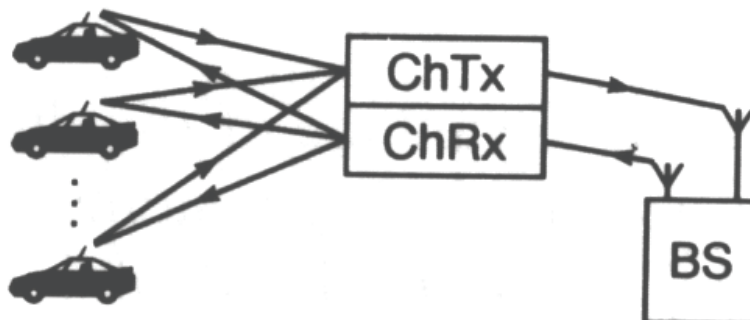
2. **Sistema Half-Duplex Simples (HDS)** $\Rightarrow$ Uma única frequência, estação base e móvel transmitem um de cada vez. Opera na base do “push-to-talk”, BS compete com o móvel.



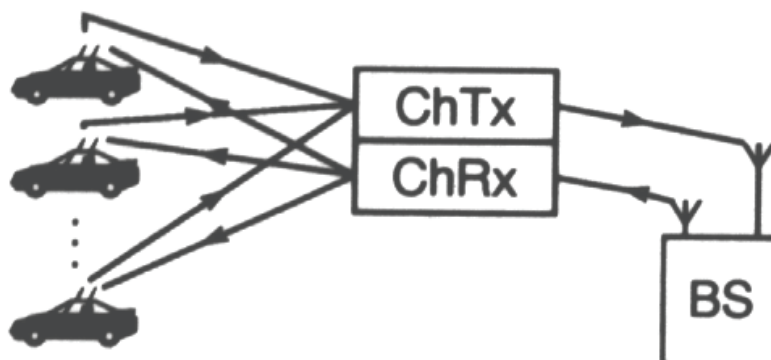
3. **Sistema Half-Duplex duplo (DHDS)** $\Rightarrow$ Duas frequências. T_x do móvel e R_x da Bs $\rightarrow$ uma frequência, R_x do móvel e T_x da Bs $\rightarrow$ outra frequência. Opera na base do “push-to-talk”, mas a BS não compete com o móvel.



4. **Sistema Half-duplex duplo de base duplex (DBDHDS)** $\Rightarrow$ Duas frequências são usadas, mas a estação base pode transmitir e receber simultaneamente.



5. **Sistema Full-Duplex (FDS)** $\Rightarrow$ Opera em duas frequências. São capazes de transmitir em uma frequência enquanto recebem na outra frequência. Base e móvel operam duplex.



6. Sistemas de telefonia móvel (MTS) ⇒ Duas categorias:**a) Sistema móvel não tronco (NTMS)**

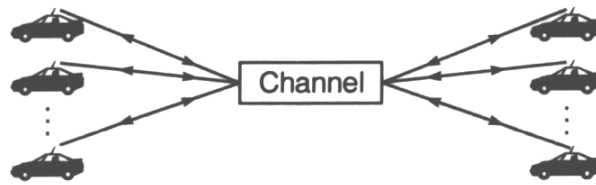
- Só um ou pequeno número de canais estão disponíveis para uso, alocados para propósitos especiais.
- Ausência de privacidade: todos os usuários podem tomar parte na comunicação. Exemplo: rádio-táxi, frotas de caminhões, faixa de cidadão (CB).
- Atendem número limitado de usuários.
- Rádio móvel público: restrições em termos de problemas de bloqueio e de flexibilidade.
- Antes → frequências obtidas por meio de um cristal de quartzo, com a tecnologia de estado sólido → uso de sintetizadores de frequência. Os assinantes eram capazes de selecionar um canal livre para conversação. Isto não foi suficiente para habilitar o sistema para dominar a demanda de tráfego.

b) Sistema Móvel Tronco (TMS)

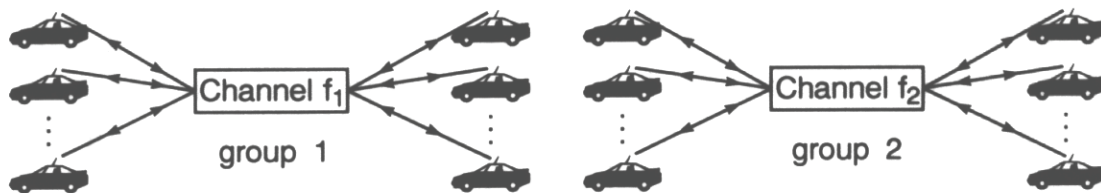
- Vários canais disponíveis e compartilhados.
- Reduz o bloqueio devido ao compartilhamento.
- Aumenta o número possível de assinantes para o mesmo bloqueio NTMS.
- Reserva um canal para controle quando há muitos canais disponíveis (A conservação se inicia neste canal e se move para outro canal).
- Seleção automática de canais.
- Não está ligado à rede pública de telefone → limite na comunicabilidade do assinante (só há comunicação entre os assinantes na área estrita de cobertura do rádio transmissor).

Estágios da evolução do MTS

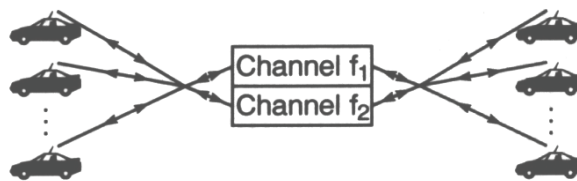
- a) NTMS ⇒ operando em half-duplex e modo push-to-talk com as chamadas sendo manuseadas por um operador móvel especial.
- b) TMS ⇒ devido a maior disponibilidade de canais, mas os canais eram selecionados manualmente. Assinantes móveis → push-to-talk. Assinantes fixos → discagem direta.
- c) TMS ⇒ Operação em modo duplex com ambos os lados (móvel e o fixo) fazendo discagem direta. A seleção dos canais era ainda manual.
- d) TMS ⇒ Seleção automática de canais.



(a) One-channel - NTMS



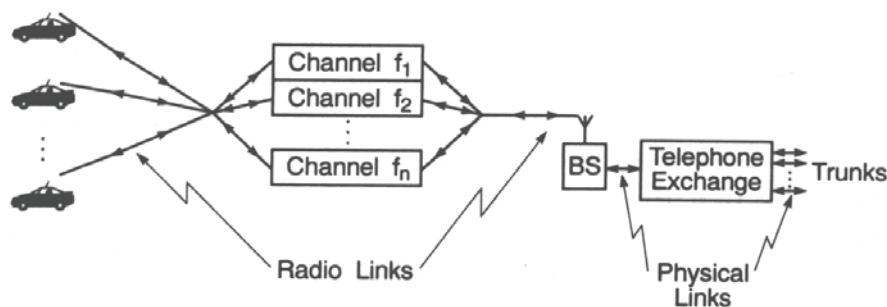
(b) Two-channel - NTMS



(c) Two-channel - TMS

Vantagens e desvantagens da integração do MTS à rede fixa de telefonia

- Maior grau de flexibilidade → permite a mobilidade do assinante de uma região para outra permitindo seu acesso a qualquer pessoa conectada a rede telefônica.
- Privacidade de comunicação, etc.
- Os assinantes da rede fixa experimentarão alguma degradação incomum no sinal de voz devido ao desvanecimento e ao ruído feito pelo homem muito comum para o usuário.

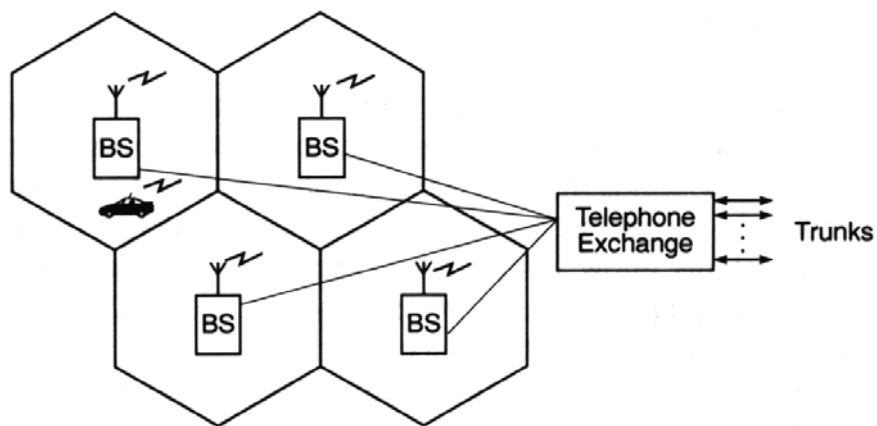


7. Sistemas de Rádio Móvel Celular.

Célula: regiões nas quais a área de serviço no sistema celular é dividida, cada uma das quais contendo um subconjunto do número total de canais disponíveis.

O uso dos canais de uma célula é restrito àquela célula somente e pode ser reutilizado em outra célula distante o suficiente tal que a interferência seja minimizada.

As células podem ser colocadas de uma maneira modular e devido a esta modularidade o caminho pode crescer indefinidamente.



Basic structure of a cellular system.

1.4 - Serviços de Rádio-Móvel

- Coexistência do novo sistema (celular) e do velho sistema (sistema de rádio móvel (MTS)). Alguns dos serviços de rádio móvel:

a) Rádio Paging

- Comunicação em um único sentido entre estação base e usuário móvel.
Bip → o usuário é selecionado pela BS e deve se dirigir a um local fixo para mais informações.
- Sistemas mais avançados permitem mensagens de voz ou alfanuméricas, cobrem pequenas áreas (2 a 5 Km de raio), receptores pequenos de baixo consumo.
- Existem sistemas de rádio paging que cobre uma maior área. Ex: Pocsag

b) Radio Pacotes

- Comunicação de dados entre usuários distantes via rádio em locais onde a conexão física é impraticável, não há conectividade completa na rede, por possível falta de linha de visada entre alguns nós.
- Repetição do sinal nos nós intermediários da rota fonte até destino → necessidade de armazenamento e retransmissão pelos equipamentos.
- A Rede é composta de transmissor, receptor, antena e o controlador.
- A topologia da rede muda dinamicamente, uma vez que os nós são móveis.

c) Sistema de telecomunicações celular fixa: (FPLMTS)

(Future Public Land Mobile Telecommunication Systems)

- Tecnologia móvel celular usada para serviços fixos.
- Usada em áreas rurais, remotas ou áreas urbanas com alta demanda onde a implantação de rede de cabos torna-se difícil e cara.
- Vantagens da FPLMTS ⇒ flexibilidade, projeto modular, capacidade para cobrir áreas geográficas grandes, redução dos custos.

d) Telefone sem fio**1. CT1 - 1ª Geração**

- Tecnologia analógica, alcance (50-200 mt), pequeno número de canais disponíveis, canal fixo por aparelho, dois juntos causam interferência, falta de privacidade.

2. CT2 - 2ª Geração

- Usa tecnologia digital que possibilita alta qualidade de voz.
- Grau mais alto de segurança
- Possibilita introdução de novos serviços.
- Principais aplicações ⇒ uso doméstico, pabx sem fio, telepoint (telefone público sem fio).
- BS estão conectados à rede telefônica de comutação pública. Estas BS localizam-se em lojas, pontos de ônibus, estações de trem, aeroporto, etc. Os usuários na sua área de cobertura são capazes de fazer chamadas (mas não recebe).
- Usam arquitetura FDMA, largura de banda de 4MHz, 1 canal por portadora e um total de 40 portadoras.

3. CT3 - 3ª Geração

- Usa arquitetura TDMA, largura de banda de 8 MHz, 8 canais por portadora e um total de 8 portadoras.
- Diferença entre o CT2 e o CT3 $\Rightarrow$ CT2 funciona todo o tempo da chamada enviando e recebendo transmissões de rádio todo o tempo, enquanto o CT3 funciona 1/8 do tempo, o resto do tempo pode ser usado para outras ligações.

4. DECT - 3ª Geração

Telefone sem fio digital europeu. Similar ao CT3 usando arquitetura TDMA, largura de faixa de 20 MHz, 12 canais por célula e um total de 12 canais por portadora.

e) Comunicações Pessoais

- Rede de comunicação pessoal $\rightarrow$ telefone que pode ser usado a qualquer tempo com garantia de um serviço de qualidade.
- A idéia é fornecer uma comunicação móvel de baixo custo e alta qualidade para o mercado.
- A arquitetura celular é mantida, mas as células são menores com conseqüente redução da potência do aparelho portátil.
- Aumento do número de estações base.
- O tamanho das células varia de 1 km de raio no centro a 6 km no país.
- Espaço espectral do PCN é de 1,8 GHz onde o espectro é razoavelmente limpo.

f) Comunicações Móveis por Satélite

- Tem aplicação em todos os serviços móveis. Ex: terrestre, marítimo.
- Vantagem $\Rightarrow$ flexibilidade e a possibilidade de uma integração global.

1.5 - Considerações de projeto de Sistema

- O meio de comunicação utilizado em comunicações móvel é o de ondas eletromagnéticas.
- A flexibilidade dos sistemas de comunicações móveis é dada pela ligação à rede fixa de telefone.

Áreas envolvidas no projeto de comunicações móveis:

Projeto de sistema de rádio e propagação ⇒ Estudo da topografia do terreno para o planejamento de cobertura do rádio.

Regulação e planejamento de frequência ⇒ Cada serviço de rádio utiliza sua própria porção do espectro de frequência. O plano de alocação de frequências tem que ser atenciosamente feito tal que interferências sejam minimizadas e a demanda de tráfego seja satisfeita.

Modulação ⇒ Difere entre transmissão de dados e voz. Para voz, a maioria dos sistemas analógicos usam FM faixa estreita. Para os sistemas digitais existem várias possibilidades.

Projeto de antena ⇒ Os primeiros sistemas usavam antenas omnidirecionais. Com o aumento de demanda de tráfego as células foram divididas em setores que utilizam antenas direcionais.

Planejamento de transmissão ⇒ Aspectos a serem considerados → Estrutura dos canais usados para sinalização e voz, características de mensagem/voz transmitida, desempenho dos componentes do sistema de transmissão (capacidade de potência, ruído, largura de faixa, estabilidade, etc), projeto de transmissores e receptores cujas principais características incluam robustez e portabilidade.

Projeto de sistemas de comutação ⇒ Consiste em utilizar a rede de comutação existente para comunicação móvel.

Teletráfego ⇒ Avalia a probabilidade de bloqueio total.

Projeto de software ⇒ Uso de microprocessadores por todo o sistema, existe a aplicação de software na unidade móvel, estação base e na central adaptada para este serviço.

Fatores humanos e econômicos ⇒ O gerenciamento do sistema envolve diferentes organizações → departamentos de política governamental, agências de regulação, companhia de operação, manufaturas de sistemas, equipamentos manufaturados, serviços fornecidos e equipamentos fornecidos.

As etapas do projeto são: definição das exigências, definição do sistema, divisão de funções e o projeto propriamente dito.

1.6 - Planejamento de frequência e alocação do espectro

1.6.1 - *A harmonia universal*

- ITU (União Internacional de Telecomunicações) ⇒ Tem o objetivo de harmonizar e cuidar das telecomunicações em todo mundo, isto inclui a utilização eficiente do espectro de rádio.

1.6.2 - *Distribuição de frequência e controle nacional*

- Várias regiões do espectro de frequência são alocadas para mais de um serviço de rádio, e outras regiões para uso exclusivo de um serviço particular.
- Um órgão central deve regular esta distribuição e uso de frequência (Ministério ou Secretaria ou Departamento de Comunicações).

CAPÍTULO 2

RÁDIO MÓVEL CELULAR

2.1 - Introdução

- Os antigos sistemas móveis convencionais consistiam de uma estação base com transmissor e receptor instalados no alto de uma torre. A área de cobertura era escolhida para ser grande e possuíam um número pequeno de canais disponíveis.
- Inicialmente o controle era manual e depois automático, mas limitado.
- Não havia flexibilidade.
- A área de serviço no sistema celular é dividida em células, cada uma das quais contendo um subconjunto do número total de canais disponíveis. O uso dos canais de uma célula é restrito àquela célula somente, e só pode ser reutilizado em outra célula distante, tal que a interferência seja minimizada.
- As células podem ser colocadas de uma maneira modular e devido a esta modularidade o caminho pode crescer indefinidamente.

2.2 - Os jargões celulares

1. Reuso de frequência $\Rightarrow$ Se um canal de uma certa frequência cobre uma área de raio R , esta mesma frequência pode ser reutilizada para cobrir outra área. Cada uma das áreas constitui uma célula.
2. Co-células $\Rightarrow$ Células que utilizam a mesma frequência portadora.
 - Devem estar suficientemente afastadas tal que a interferência de co-canal esteja dentro de limites toleráveis.
 - Cada célula possui uma estação base que serve seu próprio conjunto de canais.
 - O formato óbvio das células seria um círculo se observados somente os aspectos de propagação de uma antena unidirecional ideal, entretanto, existiriam áreas de “overlap” ou “gaps” que dificultariam o projeto.
 - O hexágono regular é o formato mais conveniente, por se parecer com um círculo, cobre uma maior área que o quadrado ou triângulo, requer menos células (consequentemente) menos estações bases para cobrir a mesma região fazendo o sistema mais barato.

3. Cluster $\Rightarrow$ Conjunto de células nos quais o conjunto de canais disponíveis no sistema é distribuído.

- O mesmo canal (frequência da portadora) pode ser reutilizado somente em diferentes clusters.

4. Padrão de repetição $\Rightarrow$ Número de células por clusters.

- Devido às restrições geográficas somente certos padrões de repetição podem ser utilizadas, os mais comuns são 4, 7 e 12 células/cluster.
- Menor padrão de repetição $\rightarrow$ maior número de canais/célula $\rightarrow$ maior capacidade de tráfego.
- Menor padrão de repetição $\rightarrow$ menor distância entre co-células $\rightarrow$ maior interferência de co-canal.

1. Interferência de canal adjacente $\Rightarrow$ Interferência provocada por canais vizinhos no espectro de frequências.

- Depende da estratégia de alocação de canais.
- A interferência de canal adjacente pode ocorrer quando dois móveis usando canais adjacentes transmitem à estação base de curta e longa distância ao mesmo tempo.
- O problema de interferência é pior na presença de desvanecimento.

6. Handover ou Handoff $\Rightarrow$ Troca de canais sem intervenção do assinante quando o móvel passa de uma célula para outra, não permitindo que a chamada seja interrompida.

- Ocorre sempre que a medida da intensidade do sinal na estação base cai abaixo de um valor limiar.

7. Locating $\Rightarrow$ processo de monitoração da qualidade do sinal, recomendando a troca de canais se necessária.

2.3 - Características essenciais de sistemas celulares

A principal diferença entre sistema convencional (NLS) e sistema celular (ILS) é que o primeiro sistema é limitado por ruído (NLS) e o segundo sistema é limitado por interferência (ILS).

Principais características do NLS e do ILS:**Sistema convencional limitado por ruído (NLS)**

- Serve baixa densidade de assinantes.
- Conta com a disponibilidade do espectro.
- Não utiliza reuso de frequência.
- Exige transmissores de alta potência no alto de torres.
- Grande área de cobertura de serviço.
- Não permite expansão modular.
- Não permite handoff.

Sistema celular limitado por interferência (ILS)

- Serve alta densidade de assinantes
- Considera o espectro disponível como um fator limitante.
- Utiliza a reuso de frequência.
- Exige transmissores de baixa potência localizados em baixa elevação.
- Divide a área de serviço total em pequenas células de cobertura.
- Permite (teoricamente) uma expansão modular infinita.
- Permite Handoff.

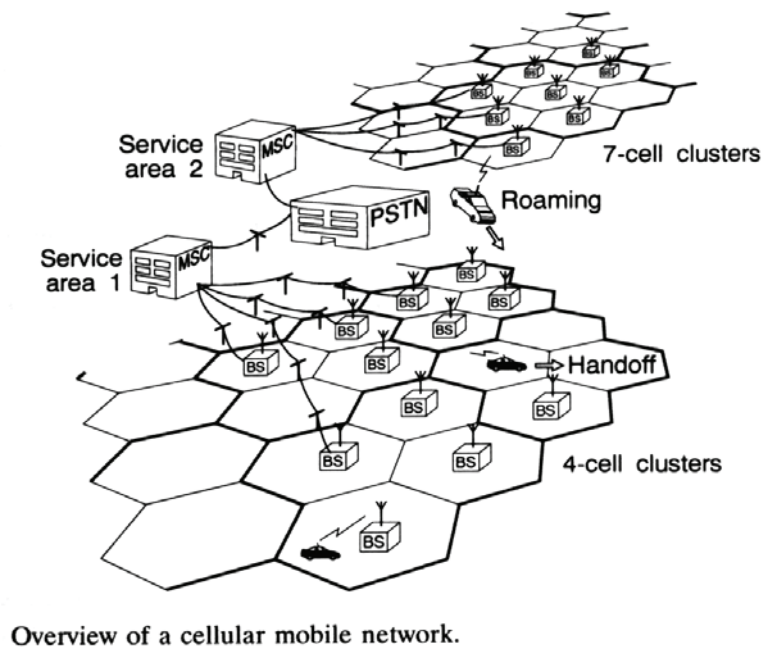
Em termos de números as características dos sistemas celulares são:

- a) Cerca de 650 canais estão disponíveis.
- b) A potência de saída dos transmissores é de 10 a 45 watts.
- c) Transmissores são montados em elevações típicas de 30 a 100 m acima da área de serviço.
- d) Área de cobertura varia de 1 a 16 Km de raio.
- e) Geralmente cada célula é servida de 25 a 75 canais.

OBS: Menos de 20 canais é antieconômico.

2.4 - Componentes básicos de sistemas móveis celulares

- a) Estação móvel.
- b) Estação base.
- c) Central de comutação móvel.
- d) Rede telefônica de comutação pública.
- e) Centro de Controle.



Overview of a cellular mobile network.

Principais elementos de uma rede móvel celular:

A) Estação Móvel (MS) $\Rightarrow$ Interface entre o assinante móvel e a estação base.

- Faz comunicação de voz, produz funções de controle e sinalização realizados por um microprocessador.
- A unidade móvel é capaz de sintonizar qualquer canal sob o comando do sistema, qualquer canal no espectro de frequência alocada para o sistema.
- Cada canal compreende um par de frequências para uma conversação nos dois sentidos.
- As mensagens de controle são transmitidas em forma digital e podem ser enviadas através de canais de voz ou de sinalização, dependendo da tarefa a ser realizada.

- Os níveis de potência do transmissor podem também ser controlados pelo sistema.
- Toda chamada de um móvel produz a identificação do assinante e os dígitos discados.
- Para um uso mais eficiente de canais, os dígitos são primeiro enviados à memória e quando o número do indivíduo chamado é completado, o assinante aperta um botão para enviar os dígitos iniciando as comunicações com a estação base.
- A estação móvel consiste de dois elementos: aparelho telefônico e aparelho de rádio.

Aparelho telefônico $\Rightarrow$ estabelece um contato entre o assinante e o sistema inclui um fone, teclas, display e algum tipo de sinal alerta (lâmpada ou sinal sonoro).

Aparelho de rádio $\Rightarrow$ compreende o rádio e o controle.

- O rádio distribui todas as frequências disponíveis no sistema no modo full-duplex.
- O transmissor fornece em torno de 0,6W de potência de saída e tem o nível controlado pelo sistema.
- Transmitem voz e dados, que em sistemas analógicos tem diferentes tipos de modulação.
- O receptor demodula voz e dados.
- O controle é uma unidade lógica com um microprocessador que gerencia as tarefas de controle no móvel.

Exemplos de mensagens de controle:

- a) Pedido originado do móvel para o acesso do canal.
- b) Registro do móvel na área de serviço corrente.
- c) Mensagem de distribuição do canal da estação base para o móvel.
- d) Mensagem de handoff para um retorno para outro canal da estação base.

B) Estação Base (BS) $\Rightarrow$ As estações base são responsáveis em servir as chamadas para ou da unidade móvel localizadas em suas respectivas células.

- É conectada à central de comutação móvel (MSC) via cabos.
- Consiste de 2 elementos: o rádio e o controle.
- Rádio compreende: transmissores, receptores, torre e antenas.
- O controle é um microprocessador responsável pelo controle, monitoração e supervisão das chamadas.
- A estação base monitora os níveis do sinal para recomendar o handoff.
- A estação base realiza a distribuição de canais para as unidades móveis.

C) Central de Comutação Móvel (MSC) $\Rightarrow$ Central telefônica especialmente organizada para serviços rádio celular.

- Trabalha como uma central de controle, fazendo a interface entre as unidades móveis e a rede telefônica fixa.
- A MSC usa sinalização de telefone padrão e é equivalente a uma central local classe 5.
- O número de células controladas por uma MSC varia de acordo com a necessidade.
- Uma MSC pode ser responsável por grande área metropolitana ou por um pequeno número de cidades vizinhas pequenas.
- Área de serviço $\Rightarrow$ Área servida por uma MSC.
- Assinante home $\Rightarrow$ Assinante móvel dentro de uma área de serviço.
- Assinante roamer $\Rightarrow$ Quando um assinante passa de sua área de serviço para outra área. (para esta outra área ele é um roamer).
- As principais tarefas da MSC são paging (busca do assinante), locatting (processo de monitoração que recomenda ou não handoff) e handoff.

- A MSC desempenha funções de uma central de comutação digital comuns tais como: sinalização, comutação, conversão A/D de circuitos de áudio (em sistemas analógicos), detecção de on-hook-off-hook, line scanning para sinalização de discagem pulsada.
- As comunicações entre estações de base e a MSC são usualmente realizadas através de cabos produzindo caminhos para voz e dados.
- A MSC é conectada a rede fixa por meio de cabos.

D) Rede Telefônica de comutação pública (PSTN) $\Rightarrow$ Trata as MSC's como centrais telefônicas fixas comuns.

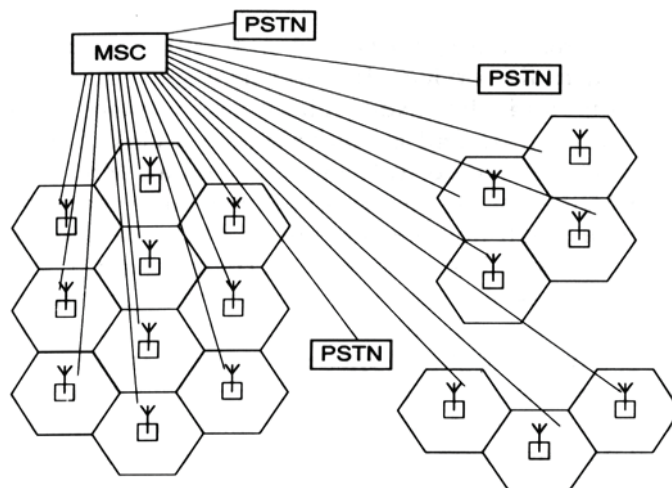
E) Centro de Controle $\Rightarrow$ Os sistemas celulares têm um centro de controle onde algumas operações e informações são centralizadas. Este centro de controle pode estar localizado em uma das MSC's.

- O centro de controle contém a base de dados principal do sistema todo e realiza o seguinte: administração do registro de chamada, análise de tráfego, gerenciamento da rede, manutenção, configurações dos equipamentos, etc.

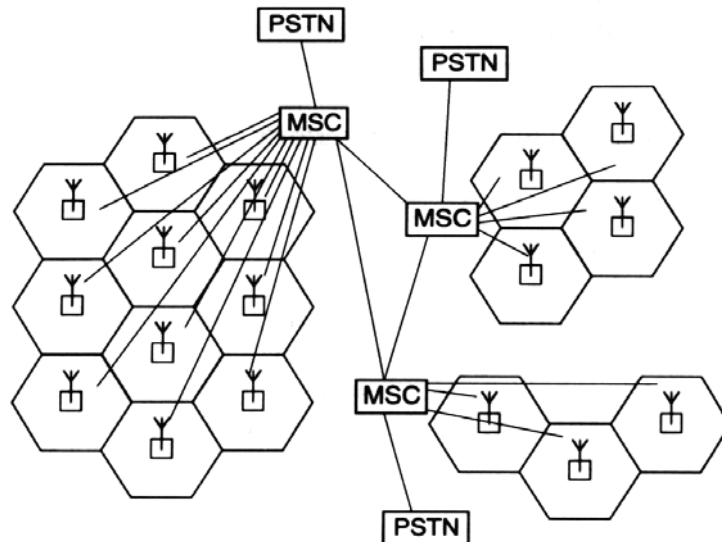
2.5 - Arquitetura do Sistema

Dois tipos de arquitetura: centralizada e descentralizada.

- a) **Centralizada** $\Rightarrow$ a MSC é usualmente muito grande e controla muitas estações base, inclui clusters situados próximos e também em áreas mais remotas.



- b) **Descentralizada** $\Rightarrow$ As MSCs são menores, controlando um menor número de clusters.



- Pequenos sistemas $\rightarrow$ arquitetura centralizada.
- Grandes sistemas $\rightarrow$ arquitetura descentralizada.
- Diferentes graus de descentralização $\rightarrow$ pode ou não haver interconexão entre as MSCs.
 1. No caso de haver conexão somente a chamada de um móvel para um assinante fixo passa pela PSTN.
 2. Não havendo conexão, mesmo que a chamada seja de um móvel para outro, mas em áreas diferentes tem que passar pela PSTN. Nas chamadas entre móveis de mesma área, a própria MSC manipula a chamada sem envolvimento da PSTN.
- Quando um móvel move-se para fora de sua área (roams dentro de outra área) a primeira tarefa a ser feita é informar a MSC a qual pertence que está na nova zona. Isso é feito pelo próprio usuário ou automaticamente nos sistemas mais recentes. A MSC visitada informa a MSC home da presença de seu usuário. Quando aquele móvel particular é chamado, a MSC a qual ele pertence dirigirá aquela chamada a MSC na qual ele estiver registrado (MSC visitada).

2.6 - A teoria de padrões celulares

- A otimização da alocação do espectro de frequência é conseguida com uma maneira ordenada de reutilização de frequência. Isto tem influência direta na regularidade dos layouts celulares.

Os padrões regulares:

Os polígonos regulares a serem considerados são: triângulo equilátero, quadrado e hexágono.

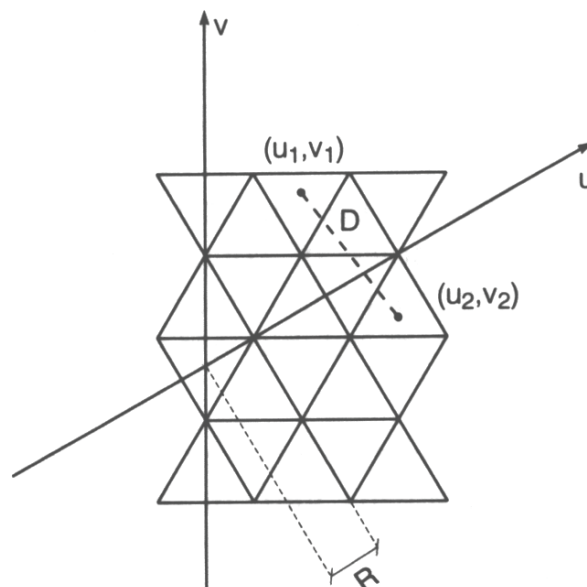
- a) **Triângulo equilátero** $\Rightarrow$ Os dois eixos formam um ângulo de 60° , a unidade de distância ao longo dos eixos é R (onde R é o raio da célula).

A distância entre 2 pontos (u_1, v_1) e (u_2, v_2) é dada por:

$$D^2 = i^2 + ij + j^2$$

Onde:

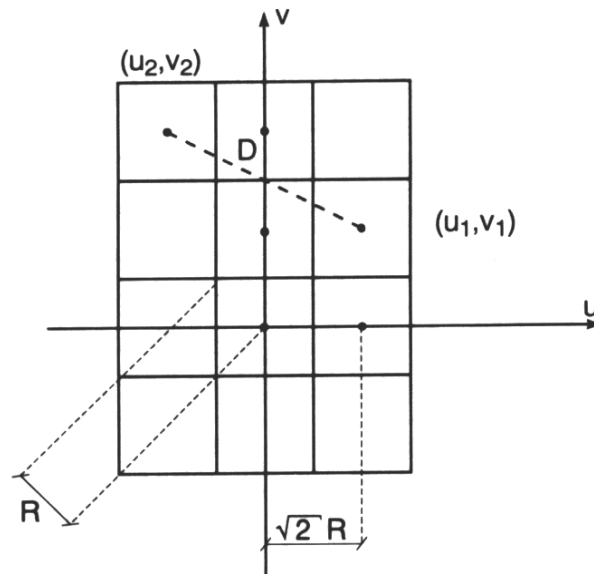
$$i = u_2 - u_1 \text{ e } j = v_2 - v_1$$



- b) **Quadrado** $\Rightarrow$ O conjunto de coordenadas é ortogonal e a distância D é dada por:

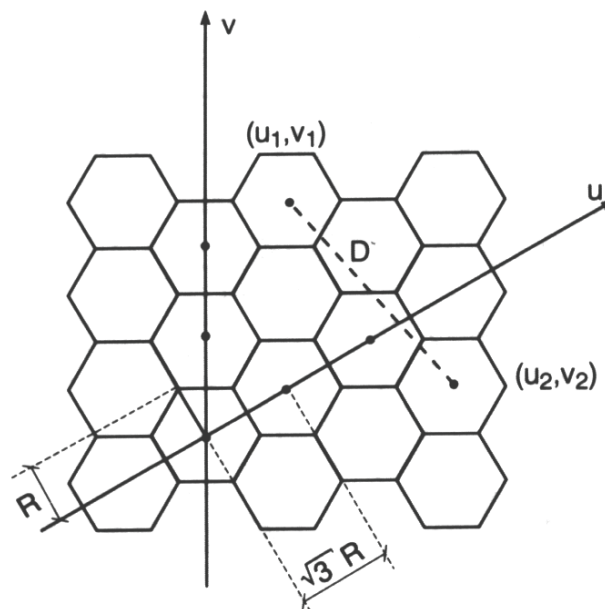
$$D^2 = i^2 + j^2$$

e a unidade de distância é $\sqrt{2} R$.



c) **Hexágono** $\Rightarrow$ O conjunto de eixos escolhidos (u, v) tem suas porções positivas formando um ângulo de 60° e a unidade de distância é $\sqrt{3} R$. Então:

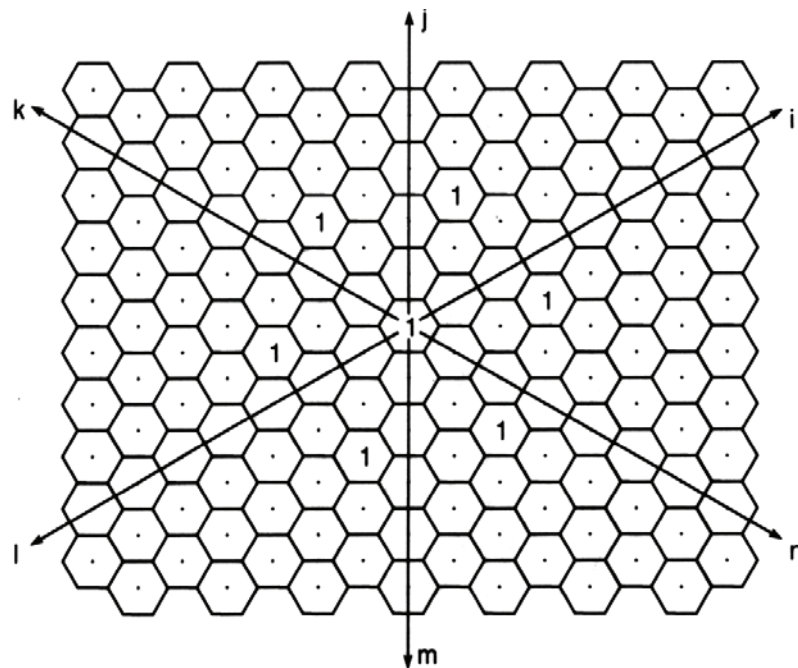
$$D^2 = i^2 + ij + j^2$$



O padrão utilizado é o hexágono.

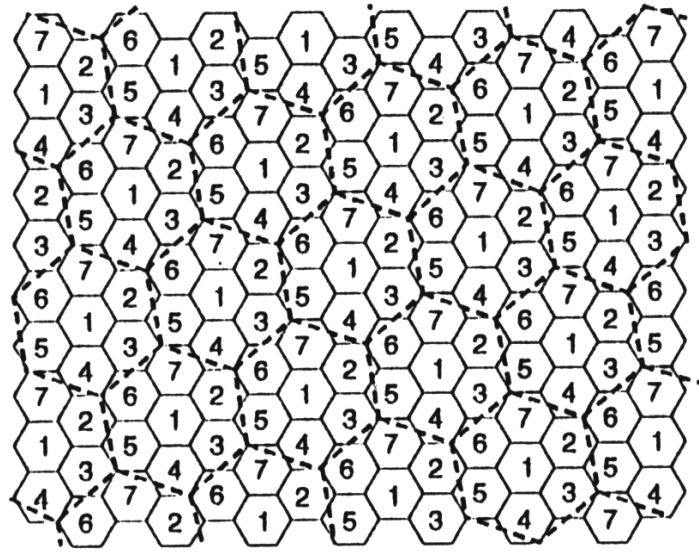
Determinação do padrão da célula (cluster)

- Localizar as co-células em pontos eqüidistantes de uma co-célula de referência. Em seguida outra célula é rotulada como referência e procede-se da mesma maneira anterior.
- Para simplificar este procedimento determina-se o primeiro conjunto de co-célula e então pela translação sem rotação, o primeiro padrão (primeiro conjunto de co-células) pode ser copiado ao redor da referência inicial.



Localização dos pontos das co-células eqüidistantes

- Se for imposto que a distância de reutilização deve ser isotrópica, existirão seis hexágonos eqüidistantes do hexágono de referência.
- Estes hexágonos são localizados através de 6 eixos: ij, jk, kl, lm, mn, no. Para encontrar outro conjunto de células transladamos sem rotacionar o conjunto de co-células obtidas. Isto é feito até completar todo o padrão.
- A teoria de padrões celulares é baseada no conceito no qual um padrão é levantado copiando a área fundamental conhecida como cluster. É assumido que um cluster é um grupo contíguo de células. Conseqüentemente todos os clusters devem ser iguais.



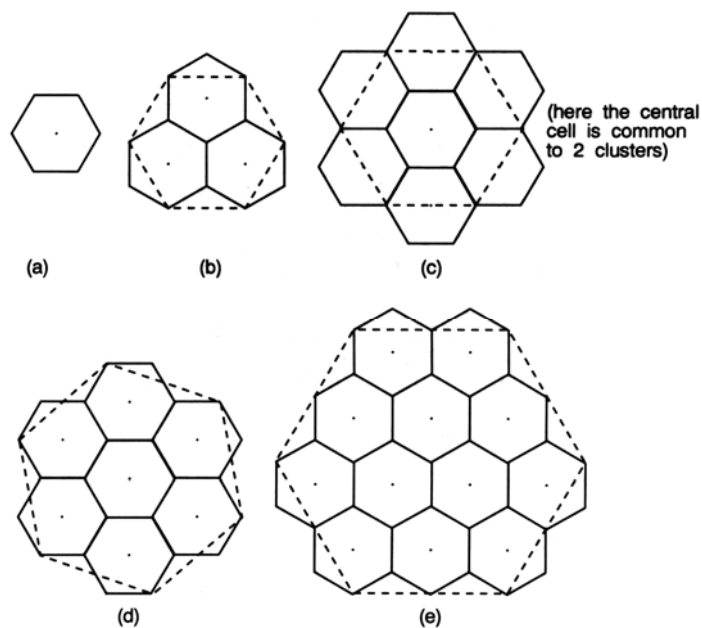
- A forma dos clusters é também hexagonal, isto é deduzido intuitivamente.

A idéia intuitiva é baseada em dois fatos válidos:

- Cada célula tem 6 células co-canais o mais próximo equidistantes.
- Os 6 eixos estão separados um do outro por um ângulo de 60° .

As principais restrições que forçam os clusters a ter forma hexagonal são:

- As distâncias de reutilização devem ser isotrópicas.
- Um cluster deve ser um grupo contíguo de células.



Assumindo que um cluster tem forma hexagonal, a determinação do número N de células hexagonais por cluster é dada por:

$$N = A/a \quad a = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} \quad A = 3\sqrt{3} \left(\frac{D/2}{\cos 30^\circ} \right)^2 \frac{1}{2}$$

Onde: A = área do cluster.

a = área da célula.

D = Distância entre co-células.

Para o hexágono a distância unitária é $\sqrt{3} R \Rightarrow$

$$a = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} = \sqrt{3}/2 \quad A = 3\sqrt{3} \left(\frac{D/2}{\cos 30^\circ} \right)^2 \frac{1}{2} = \sqrt{3} \frac{D^2}{2}$$

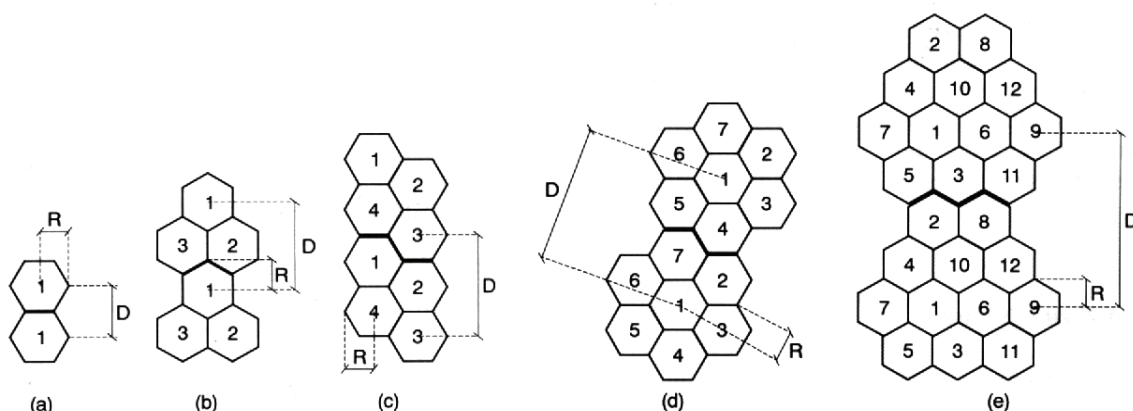
$$N = A/a = D^2 \quad \text{ou} \quad N = i^2 + ij + j^2$$

- Os clusters acomodarão somente certos números de células tais como: 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, ... Padrões mais comuns $\rightarrow$ 7 e 12
- Um parâmetro importante de um layout celular é a relação D/R , conhecida como relação de reutilização de co-canal, que dá uma indicação tanto da qualidade de transmissão quanto da capacidade de tráfego.
- Do lado da transmissão a relação D/R dá uma indicação da estatística de interferência de co-canal, pois esta relação é uma medida da distância entre o pior caso do móvel usando os co-canais. Quanto maior D/R , menor o potencial de interferência.
- A relação D/R pode também dar uma medida de avaliação do desempenho, isto é visto se expressamos esta relação como uma função do número de células/clusters.

$$D/R = \sqrt{N} / (1 / \sqrt{3}) = \sqrt{3N}$$

- $\downarrow N$ ou $\downarrow D/R \Rightarrow \uparrow$ número de canais/célula, isto é, maior densidade de canais correspondendo a uma maior capacidade carrying de tráfego. A qualidade de transmissão e a capacidade de tráfego trabalham em direções opostas.

- Menor tamanho do cluster $\Rightarrow$ menor custo do sistema.
- A determinação de D/R é uma relação de compromissos entre o tamanho do cluster e o custo do sistema e obviamente um ponto intermediário pode ser encontrado tal que um grau razoável de serviço pode ser alcançado.



CELLULAR MOBILE RADIO

TABLE 2.1. Traffic Capacity and Cochannel Interference

Cluster Size	D / R	Channels per Cell	Traffic Capacity	Transmission Quality
1	1.73	360	Highest	Lowest
3	3.00	120	↑	↓
4	3.46	90		
7	4.58	51		
12	6.00	30	Lowest	Highest

2.7 - Técnicas de expansão do sistema

Uma das muitas vantagens de um sistema celular é a capacidade de crescimento modular. Quando a demanda de serviços cresce, o sistema tende a absorver os novos usuários até um limite onde ele ainda ofereça um bom grau de serviço. Qualquer crescimento adicional que cause uma degradação desastrosa impõe ao sistema uma adaptação, de modo a acomodar mais assinantes. As técnicas de expansão do sistema utilizadas são:

a) **Adição de novos canais**

- Somente quando há canais disponíveis.
- No sistema em funcionamento inicialmente nem todos os canais são utilizados.

b) **Empréstimo de frequência**

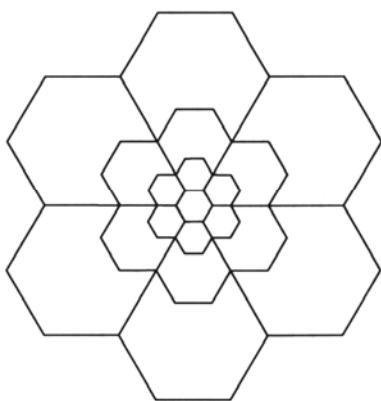
- Os canais são alocados nas células de acordo com a distribuição geográfica de tráfego.
- Se algumas células tornam-se mais sobrecarregadas que outras é possível realocar canais transferindo frequências das células menos carregadas para as mais carregadas. Se houver um novo crescimento, as frequências emprestadas deverão retomar as células de origem.
- Vantagem: não exige uma grande mudança no hardware do sistema.

c) **Mudança do padrão de célula**

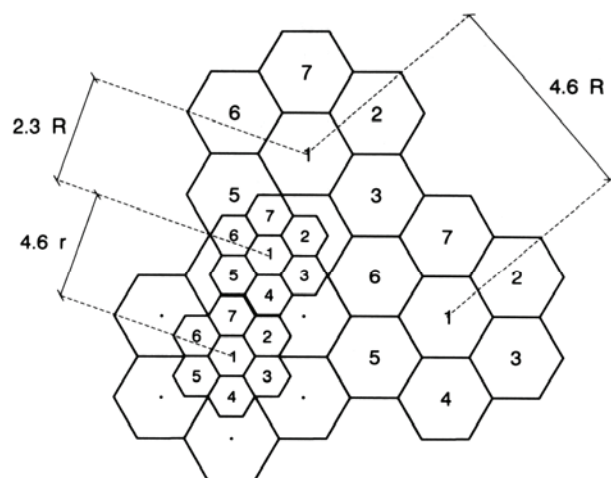
- Menor número de célula por cluster representa uma alta capacidade de tráfego, que corresponde a uma degradação da qualidade de transmissão (interferência de co-canal mais alta).
- Esta técnica é cara e raramente aplicada.

d) **Divisão de célula**

- Diminuição do tamanho de células maiores dividindo-as em um número de células menores.



Two-stage cell splitting.



Mixed cell sizes in a seven-cell cluster system after splitting.

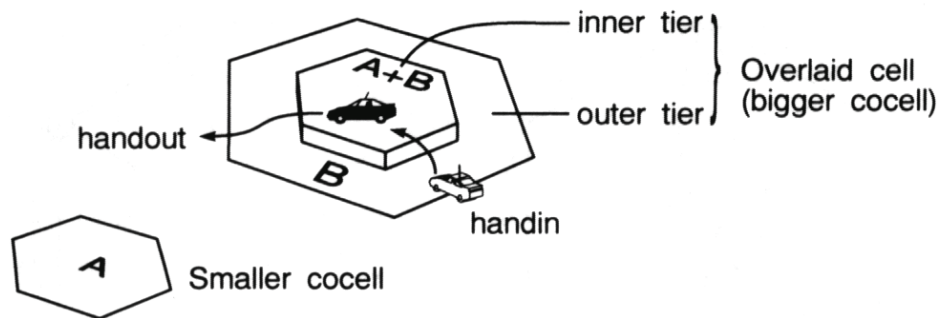
- Reduzindo o tamanho das células mais células por área estarão disponíveis, com um conseqüente aumento de canais na área e um aumento na capacidade de tráfego.
- Redução do raio por um fator K reduz a área de cobertura e aumenta o número de estações base por um fator de K^2 .
- É aconselhável escolher K tal que células de tamanhos variáveis possam coexistir levando também vantagem de uso de velhas estações base.
- A divisão de células tem lugar no ponto médio da área congestionada. A divisão pode continuar até o raio da célula atingir o valor mínimo.
- O tamanho mínimo é determinado pela distância de reutilização do co-canal mínima que pode ser obtida enquanto os objetivos da qualidade de voz forem mantidos.
- Problemas de alocação de estação base e custo alto.

Quando a divisão de célula ocorre, existem células de diferentes tamanhos no sistema.

- O sistema é concebido tal que a relação D/R é mantida na rede.
- Devido a diferentes tamanhos de célula uma atenção especial deve ser tomada tal que a interferência seja minimizada.
- A interferência de co-canal entre as células maiores deve estar dentro de limites toleráveis pelo sistema, aplicando-se também as células menores desde que a relação de reutilização de co-canal é mantida.
- As chamadas dentro de pequenas co-células, não causam excessiva interferência nos canais das células maiores, pois se a relação de reutilização de co-canal é satisfeita para as células menores, é também satisfeita para as maiores.
- O inverso não ocorre: chamadas, sendo servidas por células menores sofrerão interferência dos co-canais das células maiores.

e) **Células reforçadas/sobrepostas (underlay/overlay)**

Técnica para resolver o problema da interferência $\Rightarrow$ visualizar a célula maior como se fosse composta por 2 setores (ou camadas). A área de cobertura da célula é a mesma, só que agora existe a camada mais interna e a camada mais externa operando com conjuntos de canais distintos. A principal restrição: setor mais externo não pode ser servido por qualquer das frequências usadas nas co-células menores.



Overlaid-underlaid cell concept.

- A área de cobertura das células interna é controlada pela redução da potência de transmissão e parâmetros de controle de handoff.
- Handout → handoff que ocorre quando o móvel move-se do setor mais interno para o externo
- Handin → o contrário do handout
- A célula é ainda servida pela mesma quantidade de frequências e os canais de voz externos estão também disponíveis para os móveis dentro do raio interno.

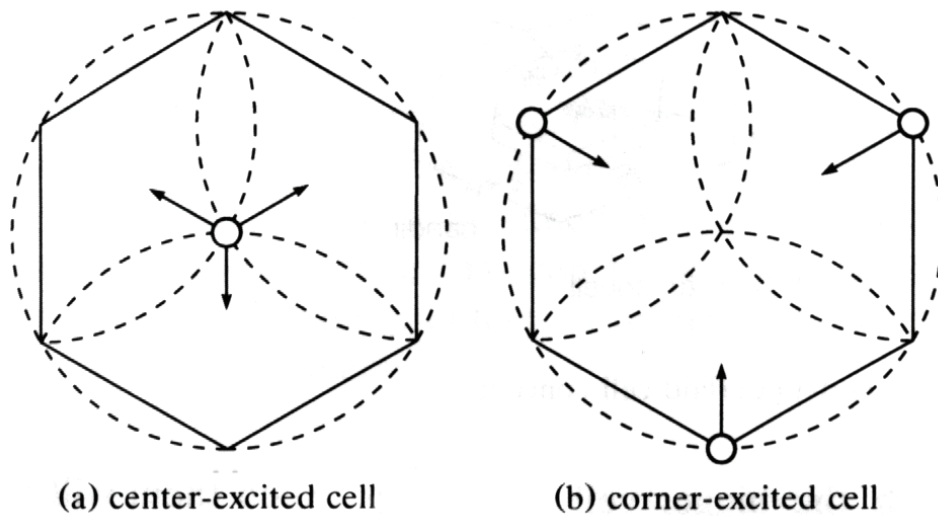
f) Setorização

Na teoria a divisão de célula pode ser realizada indefinidamente. Na prática, tem algumas restrições óbvias, tais como:

1. Quando a distância entre as células é reduzida, mais interferência de co-canal aparece, embora o mesmo padrão de repetição seja mantido.
2. Dificuldade de encontrar uma localização conveniente para a estação base.
3. Custo total do sistema é elevado, pois o número de estações base exigidas é aumentado.

Uma alternativa para a divisão de células é a setorização.

Esta técnica consiste na divisão das células em um número de setores, cada um dos quais servido por um conjunto diferente de canais e iluminados por uma antena direcional. O setor pode ser considerado como uma nova célula. Os mais comuns arranjos são 3 e 6 setores/célula.



- Células excitadas no centro $\Rightarrow$ a estação base está localizada no centro da célula.
- Células excitadas pelos cantos $\Rightarrow$ as estações base localizam-se nas extremidades da célula.
- Não há diferença entre os sistemas acima.
- Antenas direcionais diminuem substancialmente a interferência de co-canal, permitindo um menor espaçamento entre as co-células.
- Células menos espaçadas $\Rightarrow$ D/R menor $\Rightarrow$ menor número de células por cluster.
- Mais canais por célula pode ser usado $\Rightarrow$ maior capacidade, desde que a quantidade total de canais disponíveis no sistema seja constante.
- Setorização é atrativo, pois permite o crescimento do sistema com um reduzido investimento comparado à técnica de divisão de célula.
- Na concepção do sistema móvel celular, o objetivo é ter poucas estações base quando possível para cobrir a área desejada, pois estações base constituem um alto investimento. Inicialmente antenas omnidirecionais são usadas, pois são mais baratas. Quando o sistema é expandido, o objetivo é manter a mesma localização das células, mas reduzir a área celular para aumentar a capacidade. Isto é conseguido por meio da setorização com o uso de antenas direcionais.

2.8 - Medidas de desempenho e eficiência

No sistema de rádio móvel a maior exigência está relacionada com a capacidade de tráfego. Os parâmetros principais disso são:

1. Relação da interferência de portadora para co-canal (C/I_C),
 2. Probabilidade de bloqueio (E) ou grau de serviço (GOS).
- A relação C/I_C varia de acordo com o padrão celular. Esta relação é facilmente calculada se é assumido que os móveis estão fixos e posicionados no caso de pior desempenho.
 - A C/I_C é uma variável aleatória afetada por fenômenos aleatórios tais como: localizações dos móveis, desvanecimento (Rayleigh e Gaussiano), características da antena e localizações das estações base.
 - A conexão entre o parâmetro de desempenho C/I_C e a capacidade de tráfego é que as variações em C/I_C podem ser diretamente traduzidas pela distância de reutilização (D/R) dando uma medida da solidez do layout celular.
 - Maior C/I_C (menos interferência) $\Rightarrow$ maior relação $D/R \Rightarrow$ maior padrão celular. Maior padrão celular $\Rightarrow$ menor número de canais por célula $\Rightarrow$ menor capacidade de tráfego.
 - Especificações de projeto requerem que C/I_C mínimo (usualmente 17dB ou 18 dB) deva ser obtido para uma grande porcentagem da área de cobertura (usualmente 90%).
 - Probabilidade de bloqueio ou grau de serviço é um parâmetro de desempenho facilmente associado com a capacidade de tráfego. A fórmula mais usada é a Erlang-B dada por:

$$GOS = E(A,N) = \frac{A^N / N!}{\sum_{i=0}^N A^i / i!}$$

Onde:

A - é o tráfego oferecido em Erlang (erl)

N - número de canais

A fórmula é usada para a taxa de desempenho de tráfego rápido. Não leva em conta vários fenômenos dos sistemas de rádio móvel (Hand-off, etc).

- C/I_C e GOS constituem parâmetros isolados não expressando claramente a performance do sistema como um todo.
- GOS pode ser associado com uma célula específica, enquanto C/I_C pode ser determinado para uma região ou situação específica.

À primeira vista alta C/I_C e baixa GOS é a situação ideal, mas note que neste caso o cluster pode não estar usando os canais eficientemente.

Desta forma para se medir a eficiência total do sistema deve ser levado em conta todos os parâmetros relevantes de um sistema de rádio móvel.

Há três principais medidas de eficiência que são: Eficiência Espectral (η_s), Eficiência Tronco (trunking efficiency) e Eficiência Econômica.

1) Eficiência Espectral

A eficiência espectral é a medida de quão eficientemente espaço, frequência e tempo são usados.

$$\eta_s = \frac{\text{Número de Reusos}}{\text{Área Coberta}} \times \frac{\text{Número de Canais}}{\text{Largura de Banda}} \times \frac{\text{Tempo Ocupado do Canal}}{\text{Tempo Total do Canal}}$$

η_s é expresso em erl/m² Hz.

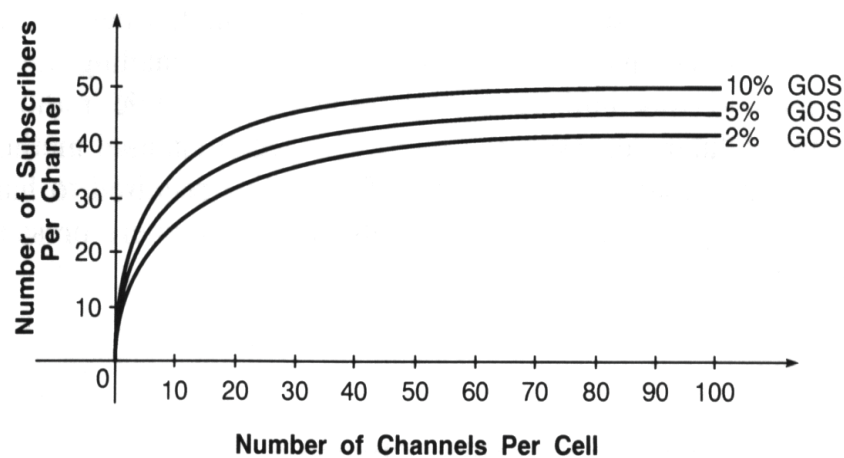
Técnicas para melhorar a eficiência espectral:

1. Dado que a largura de faixa disponível é fixa, a única maneira de aumentar o número de canais é reduzir a largura do canal. Isto pode ser feito através de técnicas de modulação, resposta de filtros, etc.
2. A área da célula pode ser reduzida por técnicas de divisão da célula ou setorização.
3. O uso do canal pode ser otimizado se a mensagem for comprimida ou intercalada. O uso do canal pode ser aumentado com a aplicação de alguma estratégia de alocação dinâmica de canais ou roteamento alternativo.

2) Eficiência Tronco (trunking efficiency)

A eficiência tronco mede o número de assinantes que cada canal em cada célula pode acomodar. Depende intrinsecamente do grau de serviço que o sistema é preparado para oferecer.

Dado um grau de serviço e o número de canais, o tráfego total pode ser calculado pela fórmula Erlang-B. Se na média cada assinante gera um certo montante de tráfego, então o número total de assinantes é estimado.



Trunking efficiency.

3) Eficiência Econômica

A eficiência econômica depende de vários fatores. Ela é uma medida de quão barato o serviço é para o assinante e para o operador celular. Em outras palavras, está diretamente relacionada ao custo do serviço por assinante.

2.9- Sinalização de Dados e Controle

Similarmente a outras redes de comunicação, os canais do sistema rádio móvel necessitam manusear transmissões de dados, pelo menos para propósitos de sinalização.

Há duas maneiras de transmitir dados:

1. Usando canais de voz
2. Usando canais dedicados.

No primeiro método, quando o canal não está sendo usado com transmissão de voz, um tom é inserido para indicar sua disponibilidade para transmitir dados.

No segundo método uma percentagem do total de canais é usada exclusivamente para transmissão de sinalização.

O primeiro método foi utilizado nos sistemas móveis antigos. Nos sistemas celulares, devido à grande quantidade de sinalização requerida para trabalhar com uma enorme quantidade de canais de voz, células e assinantes presentes no sistema, o segundo método é adotado.

2.9.1- Controle sobre canais de sinalização

A proporção de canais de sinalização varia com a capacidade do sistema. A alocação de canais para determinadas funções também varia com o sistema. No sistema AMPS os canais de sinalização são divididos em 3 grupos:

1. Canais de Controle Dedicado (CC)
2. Canais de “Paging” (PC)
3. Canais de Acesso (AC)

1) Canais de Controle Dedicado (CC)

Os canais CC são comuns a todos os móveis do sistema celular. Cada móvel é programado para sintonizar um dos canais CC (o mais forte).

Os canais CC transportam mensagens dando informações específicas sobre o sistema. Essas mensagens incluem a identificação da área de serviço, o número de canais de paging disponível, etc.

2) Canais de “Paging” (PC)

Os canais PC são usados para procurar um móvel que está sendo chamado.

Os PC transmitem a identificação do assinante chamado na área de serviço total. Os PC também transportam o número de canais de acesso naquela região.

3) Canais de Acesso (AC)

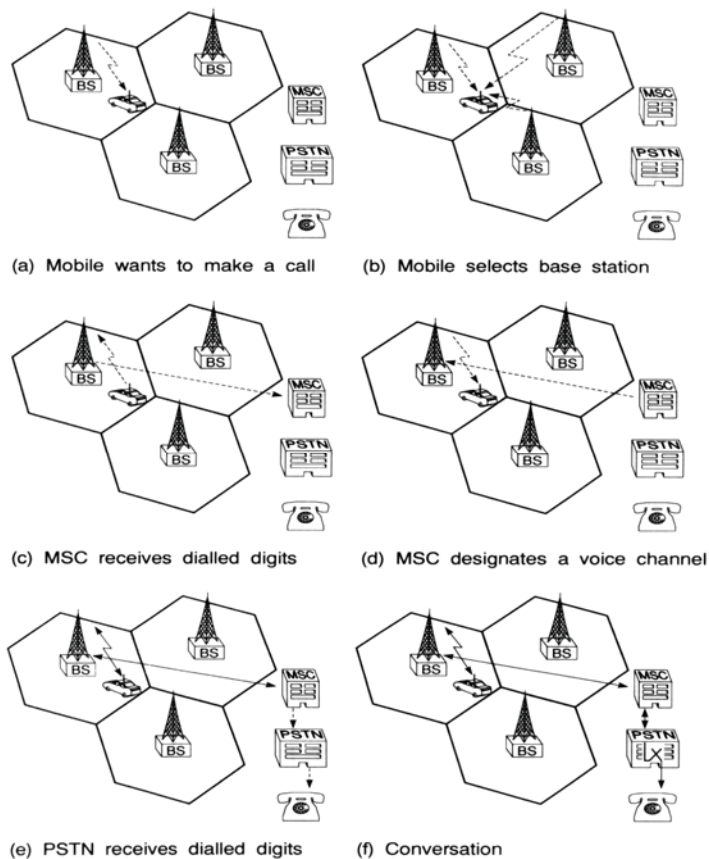
Os canais de acesso são utilizados quando o móvel deseja fazer uma chamada. Cada canal de acesso tem um bit identificando se o canal está ocupado ou livre para uso.

Descrição de uma chamada:**1) Inicialização.**

Assim que o móvel é ligado, ele faz uma varredura em todos os canais CC e sintoniza o mais forte. O móvel é então informado sobre os canais PC disponíveis naquela área. Ele varre esses canais e sintoniza o mais forte.

2) Chamada de um móvel para um assinante fixo.

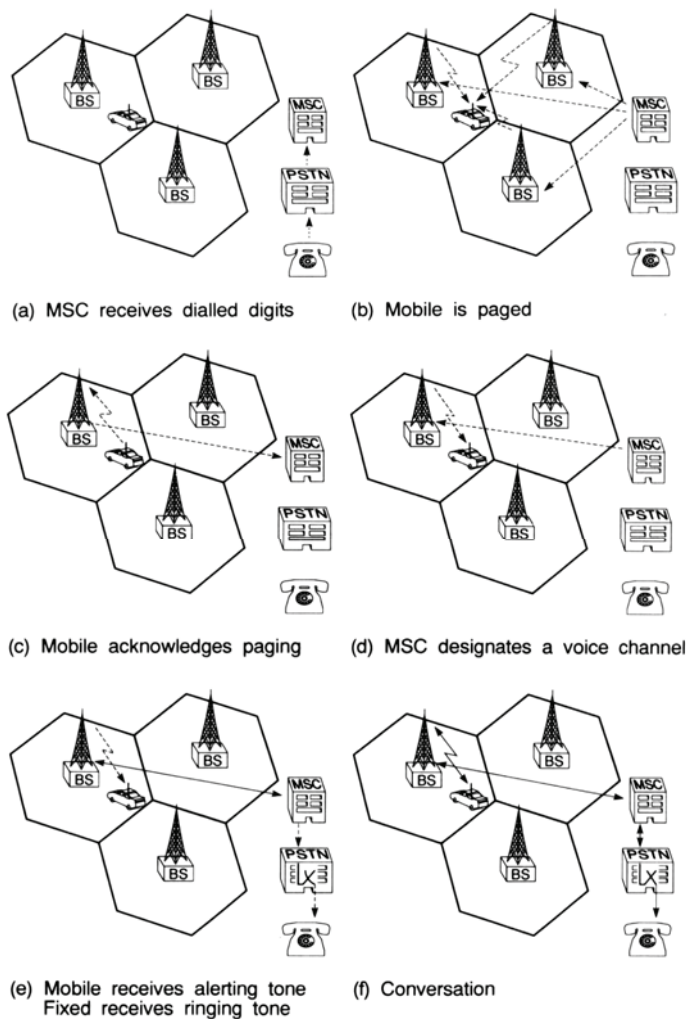
- O móvel recebe através do PC o número de canais AC disponíveis na área.
- Ele varre os AC e sintoniza o mais forte. O canal AC selecionado provavelmente pertence à estação base mais próxima.
- O móvel envia os dígitos discados e a sua própria identificação. A estação base recebe e roteia esses dígitos ao MSC.
- O MSC determina e transmite o número do canal de voz a ser alocado para o móvel, e o móvel sintoniza esse canal.
- O MSC envia os dígitos discados para a PSTN.
- A PSTN completa a chamada.



Mobile calling fixed subscriber.

3) Chamada de um assinante fixo para um móvel.

- A PSTN roteia a chamada para a MSC na qual o móvel é registrado.
- O MSC determina que todas as suas estações base transmitam nos seus PCs, o número de identificação do móvel chamado.
- O móvel identifica o seu número, sintoniza o canal AC mais forte e envia um sinal de reconhecimento. A estação base retorna esse sinal de reconhecimento ao MSC.
- O MSC seleciona um canal de voz desocupado naquela estação base e o móvel sintoniza esse canal de voz.
- Um tom de alerta é enviado através do canal de voz ao móvel e um tom de discagem (ringing) é enviado ao assinante que está chamado.
- O caminho de voz será completado assim que o assinante chamado responder.



Fixed subscriber calling mobile.

2.9.2- Controle sobre canais de voz

Os canais de voz transportam alguns tipos de informação de sinalização, tais como: nível de sinal, informação de hand-off, detecção de status on-hook-off-hook.

Essas tarefas de controle são realizadas por tons de supervisão inseridos acima da faixa de voz nos canais de voz.

O sistema AMPS usa um tom de sinalização (ST) e tom de áudio de supervisão (SAT).

1. O tom ST é um tom de 10 KHz de sentido único (do móvel para estação base), usado em rajadas (bursts) para desconexão, alerta, hand-off, e flashing.
2. O tom SAT é composto de um conjunto de três tons contínuos (6 KHz e 6 KHz $\pm$ 30 Hz, entretanto somente uma frequência é usada pela estação base de um dado cluster).

Clusters vizinhos usam uma das duas frequências que restaram.

Este esquema de alocação permite um controle de supervisão mais confiável, porque a interferência é bastante reduzida.

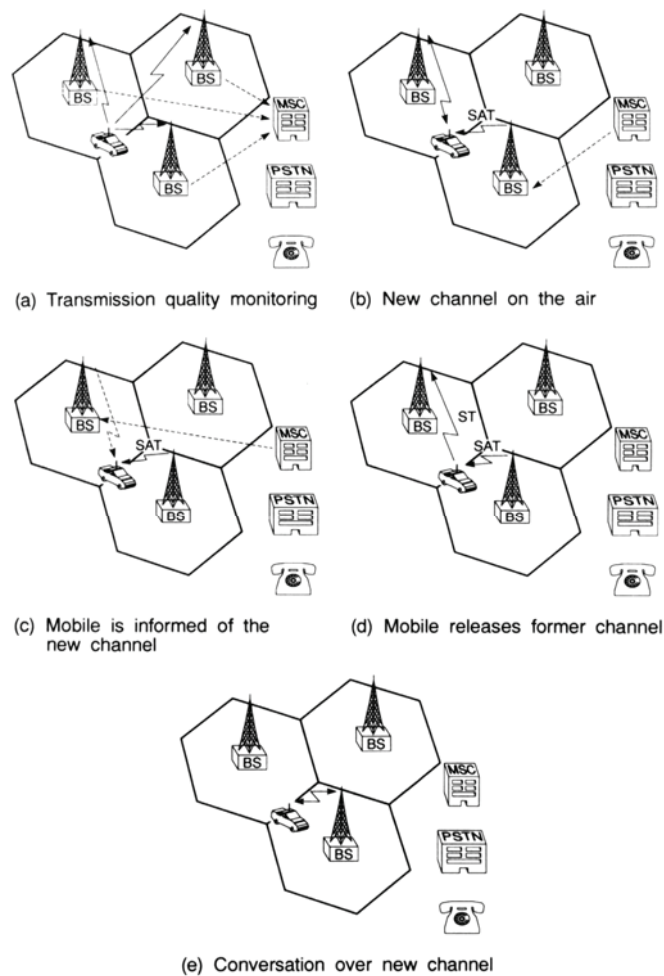
O tom de áudio de supervisão (SAT) é continuamente enviado pela estação base ao móvel, que retorna o tom de volta à estação base. Se o tom recebido difere do tom que foi enviado, algum tipo de interferência pode estar ocorrendo. Se nenhum tom é retornado, o móvel está em um fading ou seu transmissor está desligado.

Os canais de voz podem também transmitir dados enquanto o móvel está em conversação, isto ocorre em processos de hand-off.

- Processo de Hand-Off

- a) A estação base que está servindo a chamada e as estações bases vizinhas, monitoram a qualidade de transmissão do canal em uso. O MSC recebe essa informação. Uma análise é feita e o MSC decide para qual estação base a chamada deve ser realocada (handed-off).

- b) O MSC informa à nova estação base que a chamada será realocada em um determinado canal. A estação base chaveia seu transmissor e o tom SAT é enviado através do canal.
- c) O MSC informa à estação base que esta servindo a chamada, que esta será realocada para um novo canal tendo um dado SAT. Essa informação é passada para o móvel através do canal de voz em uso.
- d) O móvel envia uma rajada de ST, sintoniza o novo canal e retorna o SAT.
- e) A estação base que estava servindo cancela a chamada, a nova estação base pelo reconhecimento do SAT que é retornado, ativa a chamada.



Hand-off sequence.

Os algoritmos usados para hand-off podem variar de acordo com o sistema. O critério mais simples é baseado apenas na medida do sinal.

O SAT pode também estar envolvido para determinar a distância do móvel à estação base.

2.10- Técnicas alternativas para melhorar a performance de tráfego

2.10.1- Algoritmos de designação de canal

O uso eficiente dos canais determina a boa performance do sistema e pode ser obtido por diferentes técnicas de designação de canal.

1 - Alocação Fixa de Canais

Nesta técnica um subconjunto dos canais disponíveis no sistema é designado para cada célula. O mesmo subconjunto é utilizado nas co-células. Se todos os canais estão ocupados numa célula uma nova chamada será bloqueada.

2 - Alocação Dinâmica de Canais

Este algoritmo compreende um número de estratégias com a característica comum de que todos os canais no sistema são disponíveis a todas as células. A designação dos canais é feita de acordo com a demanda dinâmica de tráfego dos assinantes. O algoritmo apresenta resultados ruins em altos tráfegos.

3 - Alocação Híbrida de Canais

Esta técnica é uma combinação das duas técnicas anteriores. Cada célula tem uma porcentagem fixa de canais pré-alocados, enquanto que o restante dos canais é alocado dinamicamente.

4 - Alocação com Empréstimo de Canais

Nesta técnica, uma célula que tem todos os seus canais ocupados, procura por um canal livre nas células vizinhas. Se não há canais disponíveis, então a chamada é bloqueada. É possível melhorar isto, forçando o empréstimo da célula adjacente sempre que a célula é bloqueada. Se a célula adjacente também estiver bloqueada, ela força o empréstimo de uma outra célula.

5 - Divisas Indistintas de Células

Vários aspectos do projeto e performance de rádio celular são estudados assumindo a divisa das células como fixas. Praticamente a divisa da célula é incerta e deslocada, porque a rádio propagação é variável no espaço e no tempo. Procedimentos de Hand-off levam isso em conta, normalmente sendo baseados nos níveis de sinais relativos de dois caminhos do móvel a duas estações base.

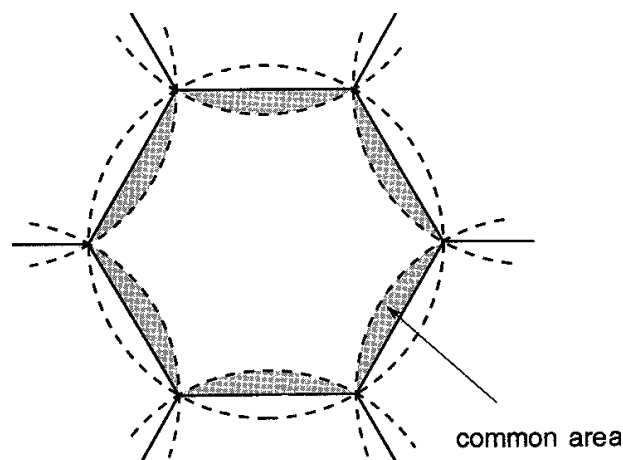
Se um móvel está perto da divisa da célula ele pode ter comunicação adequada com mais de uma estação base. Pode ser então possível usar esta propriedade como a base para técnicas de rotas alternativas.

O primeiro passo na avaliação de estratégias de roteamento alternativo é o de estimar a proporção do tráfego que pode razoavelmente ser tratado como disponível para roteamento alternativo.

5.1 - Móveis com mais de um caminho - uma estimativa simples

A forma hexagonal das células é considerada como o modelo ideal. Na prática ela não pode ser obtida. Com o uso de antenas omnidirecionais, a área de cobertura pode idealmente ser aproximada por um círculo.

Em um arranjo de células hexagonais, se cada célula é coberta por um círculo, haverá áreas sobrepostas que representam regiões sendo servidas por duas estações bases (isto é uma estimativa simples porque na realidade o móvel pode ser servido por várias estações base).



Usualmente o sinal mais forte é escolhido para comunicação. Mas a escolha do canal poderia ser baseada não apenas no nível do sinal, mas também na carga de tráfego do sistema.

O hand-off só pode ser feito se tivermos essa área de sobreposição. Essa região sobreposta dá uma certa flexibilidade ao sistema (A célula vizinha pode não ter canais disponíveis no momento da requisição de hand-off, ou uma outra tarefa de maior prioridade está sendo realizada no momento).

$$\text{Definimos } \gamma = \frac{\text{area de sobreposicao}}{\text{area total do hexagono}}$$

Pelo simples cálculo de área (da figura) achamos $\gamma \cong 21\%$. Assumindo que os móveis estão uniformemente distribuídos na célula, pode ser concluído que 21% dos móveis podem ser servidos por duas estações base.

Se a área de cobertura for expandida para dar uma maior flexibilidade, haverá áreas sobrepostas comuns a três estações base. Seja δ a proporção de áreas sobrepostas comuns a três células vizinhas.

É óbvio que δ é uma função de γ . Uma variação linear em γ implica numa variação quadrática de δ pois isso é refletido numa variação de área.

$$\delta \cong \gamma^2$$

5.2 - Benefícios Potenciais do Roteamento Alternativo para três Células Contiguas

Considere um sistema de três células com a seguinte distribuição de tráfego:

Célula 1 com 0,75 erl, **Célula 2** com 4,25 erl e **Célula 3** com 2,5 erl.

Se γ é a proporção de móveis com dois ou mais caminhos e δ é a proporção de móveis com três ou mais caminhos, então a proporção de móveis com apenas 2 caminhos é $(\gamma - \delta)$.

Assumindo a aproximação que $\delta = \gamma^2$, com $\gamma = 45\%$, então a distribuição de tráfego fixo e flexível é mostrada na figura.

$$\text{Tráfego flexível entre células 1 e 2} = (0,75 + 4,25) \left(\frac{\gamma - \delta}{2} \right)$$

$$\text{Tráfego flexível entre células 2 e 3} = (4,25 + 2,5) \left(\frac{\gamma - \delta}{2} \right)$$

$$\text{Tráfego flexível entre células 3 e 1} = (2,5 + 0,75) \left(\frac{\gamma - \delta}{2} \right)$$

Tráfego flexível entre células 1, 2 e 3 = $(0,75 + 4,25 + 2,5) \delta$

Foi assumido que o tráfego flexível de cada célula é igualmente distribuído entre seus limites. Esta é a razão do fator $\frac{1}{2}$ nos cálculos.

