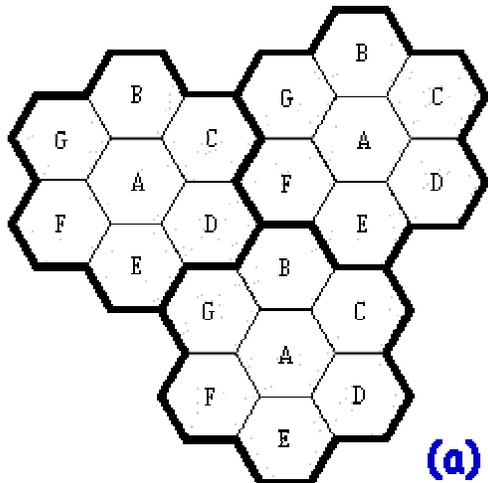


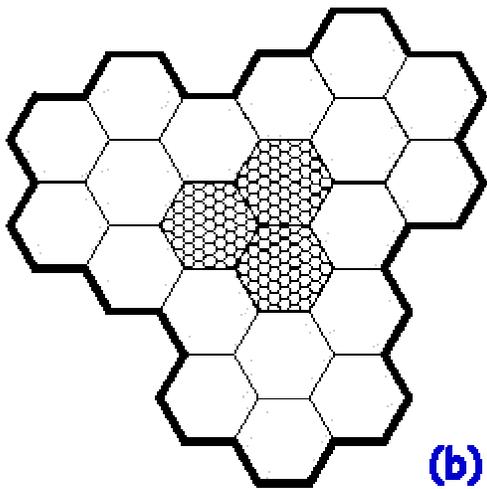
Um telefone móvel, por volta de 1946 estava restrito a usos militares. Era do tipo "aperte para falar", pois havia um botão que o usuário pressionava, cancelando a recepção e iniciando a transmissão de mensagens. Tudo isso devido à utilização de apenas um canal de voz que deveria ser alternado entre os dois participantes da conversa.

Em 1960 foi instalado o IMTS (Improved Mobile Telephone System), como o seu antecessor ele necessitava de um **transmissor de 200 watts** no topo de algum lugar alto. A diferença era a existência de dois canais por ligação, um para a transmitir e outro para receber simultaneamente. **Esse sistema suportava 23 canais de 150 a 450 MHz.** Devido ao **pequeno número de canais** (o usuário esperava demasiadamente para conseguir um tom de discagem) e **a alta potência do transmissor** (as torres transmissoras tinham que ficar a muitas centenas de quilômetros umas das outras para evitarem interferência) esse sistema não foi adiante.

Tudo isso mudou em 1982 com a chegada do AMPS (Advanced Mobile Phone System), também adotado na Inglaterra e no Japão com outras denominações. Nesse sistema uma região é dividida geometricamente em células, com um raio de abrangência de 10 a 20 km. Cada célula usa um conjunto de frequências. A idéia básica é o reuso de frequências em células próximas, mas não adjacentes. Enquanto no sistema anterior só poderíamos ter uma chamada por frequência a cada 100 km, no AMPS podemos ter 100 células com 10 km de raio de ação recebendo, dessa forma, de 5 a 10 chamadas em cada frequência. Células menores implicava menos potência necessária que resultava em equipamentos mais baratos. Telefones pessoais consumiriam cerca de 0.6 watts; transmissores em carros 3 watts, máximo permitido pela FCC (órgão americano).



(a)



(b)

A figura ilustra a idéia de reuso de freqüência. Na figura (a) todas as células são do mesmo tamanho e estão agrupadas em unidades de sete células. Cada letra indica um grupo de freqüências. Há a separação entre cada grupo de freqüências de duas células garantindo assim baixa interferência. Em áreas onde o número de usuários é muito grande, diminui-se a potência e as células são divididas como mostra a figura (b).

No centro de cada célula há uma estação rádio base (ERB) para onde todos os telefones naquela célula transmitem. **A estação base consiste de um computador e um transmissor/receptor conectados a uma antena.** Em sistemas de pequeno porte todas as estações base estão ligadas num único dispositivo denominado MTSO (Mobile Telephone Switching Office) ou MSC (Mobile Switching Center). Em sistemas de grande porte utilizam-se MTSO de nível-2,3,....

Os MTSOs são como as centrais telefônicas e estão realmente conectados a uma.

Em qualquer momento cada telefone móvel está numa célula específica e sobre o controle da estação base daquela célula. Quando ele deixa a célula a estação base daquela célula percebe que a intensidade do sinal está diminuindo e pergunta às células adjacentes quem está recebendo o sinal com a maior intensidade. A estação base então transfere o controle sobre aquele aparelho à célula que informou receber o mais forte sinal. O aparelho é então informado sobre seu novo chefe (boss), se há uma ligação em andamento o telefone recebe uma solicitação para mudar de canal. Esse processo recebe o nome de handoff e leva cerca de 300 ms. A distribuição de canais é feita pelo MTSO.

O sistema AMPS utiliza 832 canais full-duplex divididos da seguinte forma: 832 canais simplex de transmissão de 824 a 849 MHz e 832 canais simplex de recepção de 869 a 894 MHz. Cada canal possui uma largura de 30 kHz utilizando FDM para separar os canais.

Os 832 canais estão divididos em quatro categorias:

1. Controle (base para telefone) para gerenciar o sistema;
2. Paging (base para telefone) para avisar os usuários de chamadas;
3. Acesso (bidirecional) para ajustes de chamadas e distribuição de canais;
4. Dados (bidirecional) para voz, fax ou dados.

Vinte e um dos canais são reservados para controle e são gravados na PROM de cada telefone e como as mesmas frequências não podem ser reusadas em células vizinhas o número de canais de voz disponíveis em cada célula é de aproximadamente 45.

Como funciona uma chamada

Cada telefone no AMPS possui um número serial de 32 bits e um número de 10 dígitos gravados na PROM. Quando um telefone é ligado ele, primeiramente, varre uma lista preprogramada de 21 canais de controle para encontrar o canal mais forte. Eles podem estar *setados* para vasculhar somente a BANDA A, somente a BANDA B ou ambas. Após isso ele envia por broadcast seu número serial e número de telefone. Mesmo sendo analógico, todas as informações, exceto a voz, são transmitidas de forma digital. Quando uma estação base "escuta" o broadcast, ele contacta o MTSO e informa de seu novo "cliente". Também é contactado o MTSO do cliente informando da sua nova localização.

Para efetuar uma chamada o usuário liga o telefone, digita o número de tecla *send*. O Telefone envia, então, o número chamado, juntamente com a sua identidade no Canal de Acesso. Quando a estação base recebe a requisição ela contacta o MTSO, se for o caso de o usuário ser cliente da própria companhia

responsável pelo MTSO que recebeu a ligação, o MTSO procura por um canal que esteja ocioso para a chamada, se um for encontrado ele é enviado pelo canal de controle. O telefone móvel automaticamente muda para o canal selecionado e espera a "outra ponta da linha" atender o chamado.

Receber uma chamada funciona de forma diferente. Todos os telefones (que estão disponíveis e ligados) ficam sempre "escutando" o canal de *paging*. Quando ligamos para um celular, um pacote é enviado para o MTSO daquele celular de forma a localizar esse celular. Um pacote é enviado à estação base na célula corrente. Essa envia sinais por broadcast no Canal de Paging da forma: "*unidade 14, você está aí ?*" O telefone chamado responde com um "*sim*" no canal de controle. A base, então diz, por exemplo: "*unidade 14, chamada para você no canal 3*". Nesse momento o telefone chamado muda para o canal 3 e começa a avisar o dono do aparelho da existência de uma chamada.

## Segurança

Os telefones celulares analógicos são totalmente inseguros, uma vez que qualquer pessoa com um *scanner de frequência* está apto a "ouvir" a conversa do celular, podendo inclusive captar o número do celular e o seu código de identificação permitindo a *clonagem* daquele celular. Isso poderia ser resolvido através de criptografia, mas isso inviabilizaria a colocação de *escutas* nos telefones por parte da Polícia Federal.

Feito com base em Tanenbaum: "Computer Networks".

## Telefonia Digital

Os celulares digitais, nas Américas, ao contrário do que aconteceu com os analógicos que utilizavam basicamente a tecnologia AMPS, adotaram mais de um sistema: TDMA e CDMA. As duas siglas identificam formas diferentes de compressão de sinais que permitem que várias pessoas falem simultaneamente por um mesmo canal de voz. Como o CDMA foi inicialmente criado para fins militares e o TDMA para uso civil, os dois modos são incompatíveis. Quando um aparelho CDMA ligar para um TDMA, no caso de ambos poderem alternar para um modo analógico (AMPS), isso será feito e a comunicação entre eles estabelecida. O funcionamento das células e das Estações Base são análogos à telefonia analógica.

Na Europa aconteceu o inverso: havia cinco sistemas analógicos em funcionamento antes de migrarem para o digital, obviamente ligações com um telefone inglês não poderiam ser feitas na França, isso teve influência quando decidiram migrar para um mesmo padrão na telefonia digital: o GSM (*Global System for Mobile communications*). O GSM utiliza FDM e TDM.

Há ainda um sistema japonês que não é compatível com nenhum desses citados.

## Vantagens

**Autenticação:** Processo que permite seu telefone celular e os provedores de serviço confirmarem a identidade de qualquer telefone realizando ou recebendo uma chamada e inibindo o uso fraudulento do sistema.

**Identificação do número de origem:** Permite mostrar o número do telefone de origem da chamada, assim o usuário sabe quem está chamando.

**Indicador de Mensagem:** Avisa se tem algum recado.

**Dual Mode:** Um telefone TDMA ou CDMA contém ambos os modos digital e analógico. Se o serviço digital está disponível, o aparelho funciona no modo digital. Senão opera no modo analógico. Alguns aparelhos fazem essa mudança automaticamente.

**Privacidade:** Transmissões digitais são privadas por implementação porque scanners não são equipados para decodificar ou sincronizar as rajadas digitais. Essas transmissões são facilmente encriptadas.

**Menor consumo:** No modo digital, telefones TDMA são ociosos entre as rajadas, consumindo menos energia que os telefones analógicos. Usuários podem falar aproximadamente o dobro do tempo sem recarregar a bateria.

## TDMA

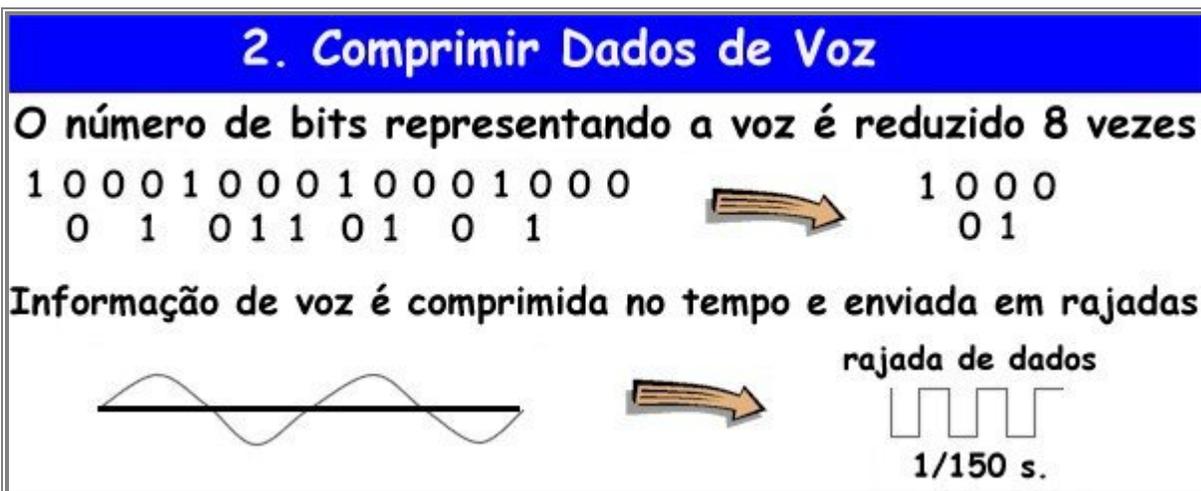
A tecnologia TDMA (*Time Division Multiple Access*) ou Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo é uma tecnologia totalmente digital, baseada na estrutura AMPS, fazendo uso do aparelho, estações base e do MTSO de forma similar.

Entretanto, TDMA permite que vários usuários compartilhem o mesmo canal sem interferência ou sacrifício da qualidade de voz. Isso é possível pois TDMA converte o som para um canal de informação digital. A voz é amostrada e comprimida por um codificador, resultando num sinal de 8000 bits por segundo.



Os dados de voz são comprimidos em rajadas de somente um terço do sinal de áudio original.

A codificação, transmissão e decodificação são quase instantâneos, assim o tempo restante é deixado para os outros usuários que, na sua "fatia de tempo", possuem para si toda a largura de banda para a transmissão.



Para compartilhar o canal entre os vários usuários, cada um envia e recebe os dados em tempos distintos.

Os tempos são alocados em slots de 1/150 segundos e compartilhados entre 3 usuários.

A comunicação dos usuários são encaixadas precisamente nos slots.

Um telefone digital recebe a informação e a expande para um canal de dados completo. Os dados expandidos são decodificados para reproduzir o sinal de voz original. Uma vez que é utilizado o padrão PCM (*Pulse Code Modulation*) na digitalização do som, nenhuma informação é perdida entre os interlocutores de uma conversa.

### CDMA

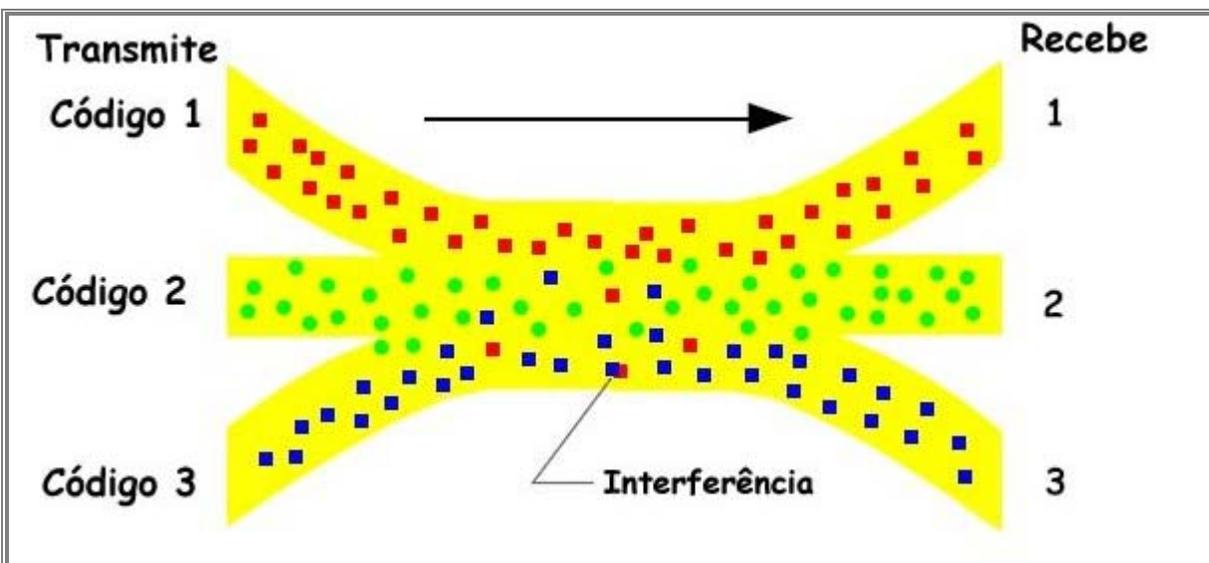
O CDMA (Code Division Multiple Access) ou Múltiplo Acesso por Divisão de Código é uma técnica de alocação diferente de todas as vistas neste Tutorial: o FDM tem como base a divisão do canal em Bandas de Frequência e a sua atribuição de forma estática; o TDMA aloca o canal inteiro em Rajadas (intervalos de tempo); o CDMA permite que cada cliente transmita em todo o espectro de frequências continuamente.

O sistema CDMA também é dual mode, oferecendo aos usuários ambos os serviços AMPS e digital. Assim como outros sistemas digitais, CDMA compartilha um único canal entre vários usuários.

Tecnicamente CDMA difere de TDMA em três pontos:

- Os canais CDMA são 6 vezes mais largos.
- O sistema atribui a cada usuário um único código de ruído pseudo-randômico; os aparelhos então fortalecem os sinais carregando o código atribuído, deixando os outros sinais inaudíveis (eles são realmente tratados como ruído aleatório).

Teoricamente, CDMA oferece potencial para servir mais usuários por canal do que TDMA ou AMPS. Entretanto, o aumento de 20 vezes na capacidade do sistema é aproximado. Nenhuma capacidade fixa de usuários pode ser atribuída ao sistema CDMA, porque sua capacidade depende da capacidade de controle dos níveis de potência do aparelho. Por causa dos níveis de potência, menos usuários podem ser atendidos. A ilustração abaixo tenta mostrar como o sistema de codificação funciona, e porque o sistema é sensível aos excessos de dados em níveis de potência.



Aos bits enviados em cada caminho de comunicação são atribuídos um único código. Para assegurar que existe informação suficiente para descrever corretamente a voz, cada bit codificado é repetido várias vezes. Esses bits redundantes são misturados num canal com bits de outros caminhos de comunicação. Para decodificar essa mistura de bits, o sistema deve direcionar o receptor 1 a acenar somente os bits codificados com quadrados, o 2 com os círculos e o três com os quadrados azuis. Cada bit é repetido muitas vezes, mas mesmo com alguns bits sendo perdidos um número suficiente de bits para manter o sinal é recebido.

Para acomodar tráfego intenso, o sistema CDMA pode variar a taxa de codificação e aceitar maiores taxas de erro, mas se eventualmente muitos dados passarem pelo canal, muitos dados são perdidos, e o usuário percebe uma deteriorização da qualidade do sinal. Entretanto, isto pode ser solucionado pelo aumento do número de canais disponíveis.

O handoff da tecnologia CDMA difere um pouco das outras tecnologias digital e analógica, pois permite aos aparelhos simultaneamente monitorar e comunicar-se com múltiplas células, fazendo com que os handoffs sejam menos perceptíveis.

Uma boa analogia entre esses sistemas seria imaginar um salão com várias pessoas. Há um grupo de pessoas, separadas em bloco, conversando entre si, esse seria o sistema FDM. Há grupos de pessoas conversando alternadamente, um de cada vez, esse é o TDMA. Há pares de pessoas na sala conversando por todo o tempo, cada par em um idioma diferente, esse é o CDMA.

**Feito com base em Tanenbaum: "Computer Networks" e André Costi Nacul e Eduardo Kenzo K. Porto: "Tutorial de Celular".**