

CAPÍTULO 4

1. EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE ACESSO

Descrevemos a seguir a evolução dos métodos de acesso e aspectos operacionais dos sistemas de comunicações via rádio móvel.

1.1 - Simplex

Inicialmente temos o *Symplex System* (SS), como um sistema que utilizava apenas uma frequência, e somente a estação base era capaz de transmitir dados para as estações móveis, ou seja, as estações móveis eram simples receptores. Como exemplo desse sistema temos o sistema adotado pela polícia de Detroit em 1921, utilizando somente uma portadora. Um exemplo ainda em operação são os serviços de radiodifusão.

1.2 - Half Duplex

Após esse sistema pode-se citar o *Single Half-Duplex System* (SHDS) o qual ainda utilizava uma frequência, porém tanto a unidade móvel quanto a estação base eram capazes de transmitir e receber mensagens. Este sistema operava na base do *push-to-talk*, onde a estação base competia com a unidade móvel pelo canal de frequência. Como exemplo de utilização desse sistema temos o sistema de telefonia móvel da rodovia Nova Iorque – Boston, implantado em 1947, onde as chamadas eram realizadas com a ajuda de uma telefonista. O serviço de Radioamador ainda opera neste sistema.

1.3 - Double Half Duplex

No sistema *Double Half-Duplex System* (DHDS), a estação base é capaz de transmitir e receber mensagens simultaneamente, ficando a unidade móvel ainda utilizando o sistema *push-to-talk*. Para melhor assimilação, pode-se citar o exemplo dos rádio-taxi que utilizam este sistema.

1.4 - Duplex

Tanto a estação base quanto a unidade móvel operam com sistema *Full Duplex* (DS). É utilizado para transmitir sinais de forma independente, enviando-o em uma frequência e recebendo em outra diferente. Aqui enquadra-se os sistemas de Telefonia Celular.

2 TÉCNICAS DE ACESSO PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO MÓVEL

As técnicas de acesso são utilizadas para permitir o compartilhamento de uma determinada faixa de rádio frequência entre vários terminais móveis. O compartilhamento se faz necessário, pois se objetiva maximizar o número de usuários simultâneos nessa faixa de frequências. Em se tratando de uma comunicação bidirecional, o canal pode ser dividido temporalmente ou na frequência. No primeiro caso tem-se a duplexação por divisão de tempo (TDD - Time Division Duplexing). Quando o canal é dividido em frequência, tem-se a duplexação por divisão em frequência (FDD - Frequency Division Duplexing). Em ambos os casos uma parcela do canal é destinada à transmissão e outra à recepção, independente do canal estar dividido temporalmente ou na frequência. A técnica de duplexação TDD elimina a necessidade de utilização de faixa de frequência distinta para transmissão e recepção, mas possui um atraso inerente - a comunicação não é full-duplex no sentido real. Os sistemas de comunicação móvel podem ser divididos em sistemas de faixa estreita e sistemas de faixa larga. A distinção entre eles é feita baseada na comparação entre a largura de faixa de cada canal de usuário e a largura de faixa de coerência esperada para o canal de comunicação.

2.1 Técnicas de Acesso ao Meio

Buscando uma maior eficiência o uso do espectro disponível aos serviços de rádio móvel, foram criadas técnicas que permitem o acesso de múltiplos usuários ao meio de transmissão, ou seja, o compartilhamento de canais de rádio. A alocação de canais sob demanda é conhecida por *Demand-Assigned Multiple Access* (DAMA), ou simplesmente Múltiplo Acesso.

De acordo com a forma com que o espectro é disponibilizado aos usuários, tem-se a classificação geral de sistemas, como já foi dito, em faixa estreita e faixa larga. Em um

sistema faixa estreita, a faixa de frequências é subdividida em várias faixas menores, os canais, que são alocadas sob demanda aos usuários. Em sistemas faixa larga, toda ou grande parte da banda de frequências é disponibilizada aos usuários, como um único bloco. Três métodos de acesso ao meio se destacaram nos sistemas de comunicação móveis celular diferenciados apenas pela manipulação adequada da frequência, tempo ou código.

- Múltiplo Acesso por Divisão de Frequência (FDMA);
- Múltiplo Acesso por Divisão de Tempo (TDMA);
- Múltiplo Acesso por Divisão de Código (CDMA).

Enquanto o FDMA e o CDMA são, respectivamente, técnicas faixa estreita e faixa larga por natureza, o TDMA permite ambas as formas de implementação.

O *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) é caracterizado pela alocação de diferentes faixas do espectro para os canais e voz. O *Time Division Multiple Access* (TDMA) faz uso do processamento digital do sinal de voz e multiplexa a informação de diferentes usuários em *slots* de tempo diferentes dentro de um mesmo canal físico. Já o *Code Division Multiple Access* (CDMA) multiplica a informação digital por códigos de taxa mais elevada espalhando o espectro do sinal em uma faixa larga compartilhada com outros códigos. Assim a comunicação duplex pode ser feita por divisão de frequência, de tempo ou de código, ou seja, utilizando *Frequency Division Duplex* (FDD), *Time Division Duplex* (TDD) ou *Code Division Duplex* (CDD).

2.1.1 Arquitetura faixa estreita

Em geral, a arquitetura faixa estreita está associada a sistemas com alta capacidade – o número de canais em que a banda é dividida dá uma dimensão da capacidade do sistema quanto ao número de usuários – mas, muitas vezes, baixa qualidade de transmissão – muitos canais significa banda pequena para cada canal. Nesse sentido, há um esforço para que se utilize técnica de modulação que permitam qualidade de voz aceitável sem que se aumente a banda ocupada pelos canais, ou até, que se reduza a banda ocupada. Outro aspecto é a necessidade de se utilizar filtros estreitos para minimizar a interferência de canal adjacente, o que contribui para o aumento no custo de equipamento. E ainda, em sistemas faixa estreita, o sinal propagante sofre o chamado desvanecimento não-seletivo em

freqüência, ou seja, quando ocorre um desvanecimento toda a informação contida no canal é afetada, pois o canal é, em geral, muito estreito.

2.1.2 Arquitetura faixa larga

As técnicas de acesso que se utilizam dessa arquitetura são o TDMA faixa larga e o CDMA, sendo que este último freqüentemente usa toda a faixa disponível. Como grande vantagem dessa abordagem, pode-se citar o fato de que a banda utilizada é maior que a banda dentro da qual ocorre desvanecimento não-seletivo (banda de coerência). Ou seja, o sinal faixa larga experimenta desvanecimento seletivo em freqüência e, então, apenas uma fração das freqüências que o compõem é afetada pelo desvanecimento. Da mesma forma, interferências também podem ser minimizadas com o uso dessa arquitetura.

2.2 FDMA

A maneira usual de se realizar um esquema FDMA é através da associação de um canal a cada portadora. Esse esquema é conhecido por Canal Único por Portadora (SCPC–*Single Channel per Carrier*). A representação do método FDMA está na **Fig. 1**.

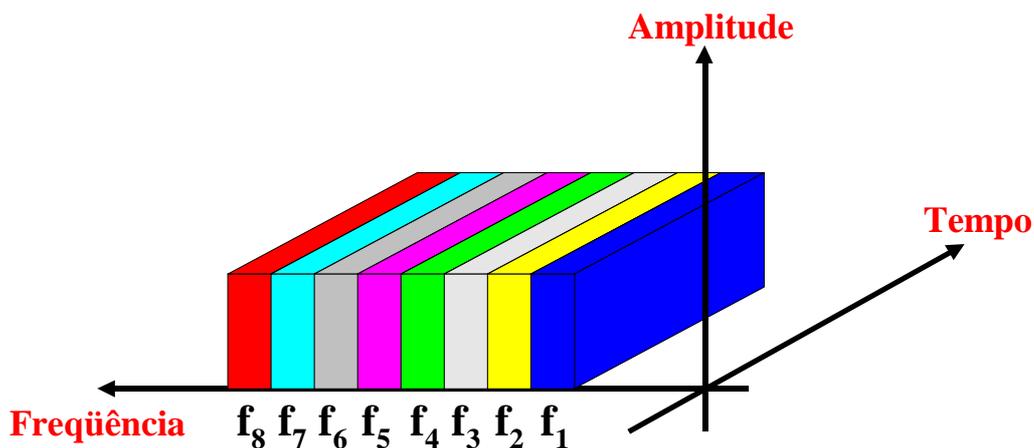


Figura 1: Técnica de Acesso FDMA

Os canais possuem bandas de guarda nas suas extremidades, que são pequenas faixas de freqüências destinadas a minimizar o efeito causado por filtros e osciladores imperfeitos, ou seja, minimizar a interferência de canal adjacente gerada pela invasão de um canal na

faixa ocupada pelos seus canais adjacentes. Usualmente, o que se chama de “canal” são as duas bandas associadas ao par de portadoras, link direto (ERB para móvel) e link reverso (móvel para ERB).

O número de canais no sistema será função da largura de cada canal. Dentre os canais disponíveis, uma pequena porção é dedicada a canais de controle, sendo os demais utilizados para tráfego de voz. No caso do sistema AMPS o espectro é dividido em canais de 30 kHz usados durante toda a duração de uma chamada.

Os canais de uma ERB podem ser acessados por qualquer EM dentro de sua área de cobertura. Para isto basta a EM sintonizar um portadora, sendo a alocação de canais feita sob demanda pela CCC. O esquema *Single Channel Per Carrier* (SCPC) implementa o FDMA atribuindo apenas um canal por portadora, como ilustra a **Fig. 2**.

Os equipamentos eletrônicos de uma ERB apresentam aspectos de não-linearidade. Assim, a informação transmitida pode ser afetada por interferência. O espalhamento espectral corresponde ao alargamento do canal excedendo sua própria faixa causando interferência nos canais adjacentes. A intermodulação acontece quando harmônicas de certas frequências interferem em outras. A transferência de modulação promove distorções na fase e na amplitude do sinal. A supressão do sinal é resultante da amplificação não linear do sinal.

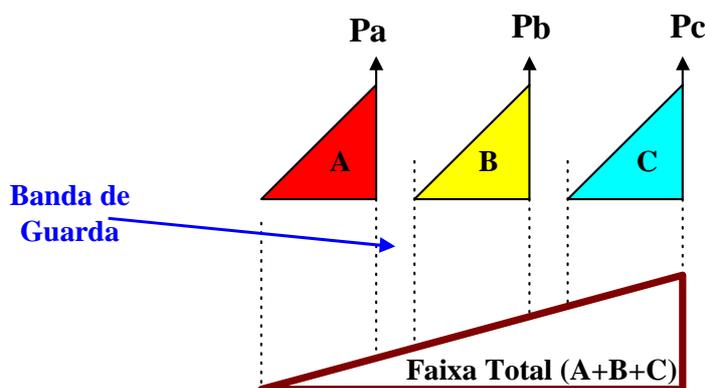


Figura 2: Esquema SCPC

Sistemas FDMA são sempre FDD e usualmente implementados segundo a arquitetura faixa estreita. Tanto sistemas analógicos como digitais podem ser implementados com a técnica FDMA.

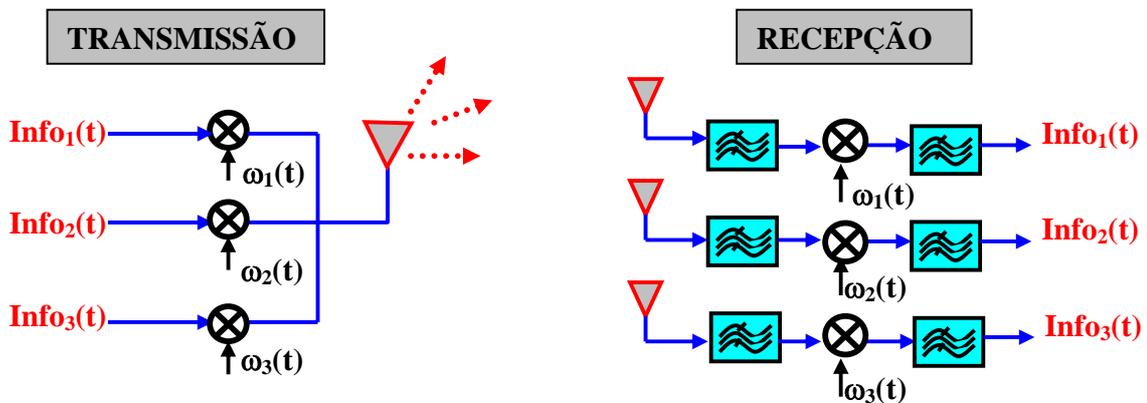


Figura 3: Esquema de transmissão e recepção de um Sistema FDMA

Na técnica de acesso FDMA podemos dizer:

- A faixa de Transmissão é dividida em determinado número de canais
- Os canais são atribuídos aos usuários através do processo de consignação por demanda
- Cada sinal de informação a ser enviado modula uma portadora
- Na recepção os sinais de cada usuário são separados por filtros passa-faixa adequados
- A probabilidade de interferência mútua é maior que nos esquemas digitais

As principais características dos sistemas que utilizam FDMA são:

- Implementação usual baseada em SCPC;
- Transmissão contínua – uma vez alocados, os canais são usados continuamente pela base e pelo móvel até o fim da comunicação;
- Banda Estreita – como cada porção de frequência é utilizada por um único usuário, a banda necessária é relativamente pequena, variando de 25-30 KHz em sistemas analógicos. Em sistemas digitais, o uso de codificação de voz a baixa taxa pode diminuir ainda mais a banda necessária;
- Baixa interferência intersimbólica – problema que afeta apenas sistemas digitais.

Devido à característica de sistemas FDMA digitais trafegarem à baixas taxas de transmissão, esse não é um problema importante;

- Baixa sobrecarga de informações de controle (overhead) – os canais de voz carregam também mensagens de controle, como handoff por exemplo. Pelo fato

dos canais alocados serem usados continuamente, pouco espaço é necessário para controle se comparando ao TDMA, por exemplo;

- Eletrônica simples – pouca ou nenhuma necessidade de processamento digital para combater interferência intersimbólica (em sistemas digitais), entre outras razões, permitem o uso de equipamentos mais simples nas bases e nos terminais;
- Uso de duplexador – como a transmissão é full-duplex e usa-se apenas uma antena para transmissão e recepção, deve-se usar um duplexador para fazer a filtragem entre recepção e transmissão e, assim, evitar interferências entre ambas;
- Alto custo das ERBs – a arquitetura SCPC requer que um transmissor, um receptor, dois codecs (codificador / decodificador) e dois modems (modulador / demodulador) sejam usados para cada canal numa estação base. A alocação de mais usuários em uma mesma portadora, tornaria o sistema mais econômico nesse aspecto;
- Handoff perceptível – pelo fato da transmissão ser contínua, a comutação entre frequências no processo de handoff é perceptível (audível) ao usuário.
- Se um canal não está sendo utilizado existe um desperdício de recurso, pois nenhum usuário está utilizando o sistema, o que aumentaria a capacidade.
- A comunicação é contínua no tempo, o que leva à necessidade de poucos bits de sincronismo e limitação de quadros em uma transmissão digital.
- Os filtros de canal são normalmente caros, pois precisam apresentar seletividade suficiente para reduzir a interferência entre canais adjacentes.

2.3 TDMA

Como dito, o TDMA permite implementação em faixa estreita e faixa larga. No TDMA faixa larga, toda ou grande parte da banda disponível é alocada a cada usuário por determinado intervalo de tempo, denominado *slot*. Em cada *slot* de tempo apenas um usuário terá acesso a toda (ou grande parte) da banda. No TDMA faixa estreita, o usuário tem acesso a uma pequena porção da banda por determinado intervalo de tempo (*slot*). A seguir, ilustra-se o conceito TDMA faixa estreita, **Fig. 4**. No TDMA faixa larga não haveria as subdivisões faixa 1, faixa 2, ... faixa M, ou elas seriam em número muito reduzido comparado ao faixa estreita.

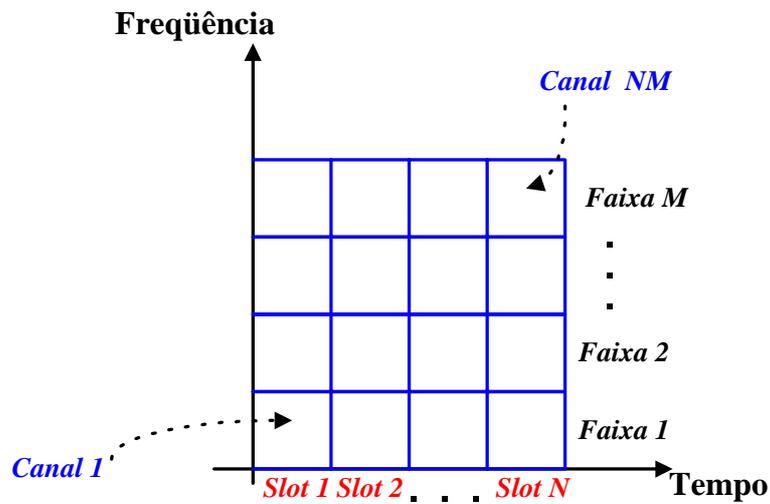


Figura 4: Técnica de acesso TDMA (faixa estreita)

O canal TDMA é definido pelas duas combinações [porção da banda (faixa), slot] alocadas ao usuário, para o link direto e reverso. O TDMA permite utilização tanto de FDD como de TDD.

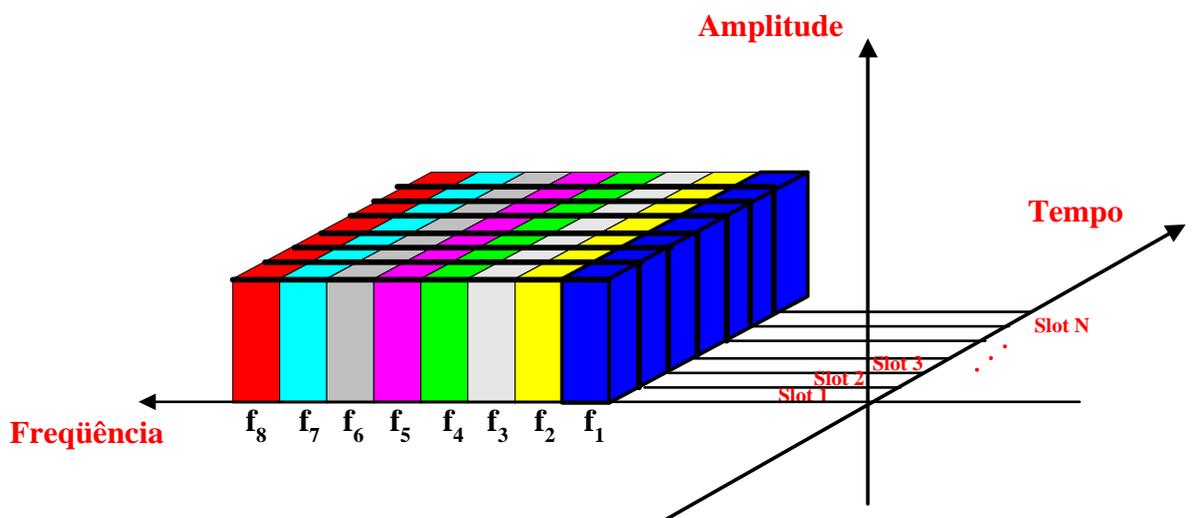


Figura 5: Acesso TDMA em Time-Slots

Como visto, uma única portadora é compartilhada em vários slots de tempo, ou seja, é compartilhada por vários usuários, cada qual em seu instante determinado. Esse mecanismo diferencia o TDMA do FDMA pois, no último, o esquema SCPC fazia com que cada portadora fosse alocada a apenas um usuário até o fim de sua comunicação.

A transmissão entre móvel e base é feita de forma não-contínua. A transmissão entre móvel-base é feita em rajadas, ocorrendo apenas no instante de tempo (*slot*) reservado para que o móvel transmita e/ou receba. Nos demais instantes de tempo, outros usuários poderão ter acesso à mesma portadora sem, portanto, que as comunicações interfiram entre si.

Pelas características apresentadas, a tecnologia digital é a única adequada para o tipo de transmissão envolvido, de forma que sistemas TDMA são sempre digitais.

O TDMA reparte um canal físico em diversos *slots* de tempo fazendo com que cada canal possa ser usado por mais de uma pessoa, uma de cada vez. A cada assinante é alocado uma seqüência periódica e *slots* de tempo dentro de um canal físico, assim uma mesma portadora pode ser compartilhada por diferentes assinantes. Desta forma o TDMA utilizado pelos sistemas digitais é, na verdade, uma combinação FDMA/TDMA.

Observe que quanto maior número de canais lógicos por portadora, maior a taxa de transmissão e maior a largura de faixa necessária ao canal. Técnicas de processamento digital e compressão do sinal de voz reduzem as taxas de transmissão e a largura dos canais. Na verdade a transmissão da informação neste esquema é feita forma *buffer-and-burst*. A informação é primeiramente armazenada e depois enviada em rajadas dentro de seu *slot* de tempo correspondente, assim diversas EMs alternam a transmissão e recepção de *bursts* de dados através de uma portadora comum compartilhada. Este método apresenta um aumento significativo no tráfego atendido em relação ao FDMA.

Pela característica digital do sistema há maior imunidade a ruído e interferência e também mais segurança no enlace de comunicação promovendo privacidade ao usuário. Há também a necessidade de equalização, mas esta pode ser usada para combater o desvanecimento.

Uma grande vantagem deste método é que as taxas de transmissão podem ser variáveis em múltiplo da taxa básica do canal. A potência do sinal e a taxa de erros de bit podem controladas facilitando e acelerando o processo de handoff.

O método TDMA é atribuído à sistemas digitais como GSM, D-AMPS (IS-136) e PDC

Principais características do TDMA são apresentado abaixo:

- vários canais por portadora – como dito, uma portadora é utilizada em vários instantes de tempo distintos, cada qual correspondendo a um canal (usuário). No

sistema Americano IS-54, usa-se três slots por portadora, enquanto que no sistema Europeu GSM cada portadora atende a oito slots;

- transmissão em rajadas (bursts) – como cada portadora é compartilhada no tempo, cada usuário transmite ou recebe sua informação numa rajada dentro dos respectivos slots. Essa forma de transmissão também leva a uma maior economia de bateria se comparado ao FDMA;
- faixa larga ou faixa estreita – a banda de cada canal depende de vários fatores, como o esquema de modulação. Dependendo do sistema os canais variam de dezenas a centenas de kHz. Como exemplo, o GSM usa canais de 200 KHz, enquanto que no IS-54 e IS-136 os canais são de 30 kHz;
- alta interferência intersimbólica – como a taxa de transmissão é muito mais alta no TDMA do que no FDMA digital, começa a haver problemas pelo fato da duração de símbolos ser comparável ao espalhamento por retardo (*delay spread*), a ser explicado. É requerido tratamento especial para minimizar esse problema, em especial em sistemas com taxas mais altas, como o GSM;
- alta sobrecarga de informações de controle (*overhead*) – a característica de transmissão em rajadas requer um tratamento mais minucioso no que diz respeito à sincronização. Os bits requeridos nesse tratamento em conjunto com o fato de haver tempos de guarda entre slots (equivalente à banda de guarda, na frequência), gera um alto *overhead*;
- eletrônica complexa – por usar tecnologia digital, muitos recursos podem ser agregados na unidade móvel, aumentando sua complexidade;
- não requer o uso de duplexador – como transmissão e recepção acontecem em slots distintos, é desnecessário o uso de duplexador. O que há é um switch que liga / desliga o transmissor / receptor quando este não está em uso. O uso de duplexador é dispensável mesmo no TDMA/FDD pois, nesse caso, o que se faz usualmente é acrescentar intencionalmente alguns intervalos de tempo entre os slots de transmissão e recepção para que a comunicação nos dois sentidos não ocorra exatamente no mesmo instante;
- baixo custo de estações base – como são usados múltiplos canais por portadora, o custo pode ser reduzido proporcionalmente;

- handoff eficiente – o handoff pode ser realizado nos instantes em que o transmissor do móvel é desligado, tornando-se imperceptível ao usuário;
- uso eficiente da potência, por permitir que o amplificador de saída seja operado na região de saturação;
- vantagens inerentes a sistemas digitais, como capacidade de monitoração da comunicação quadro a quadro, por exemplo.

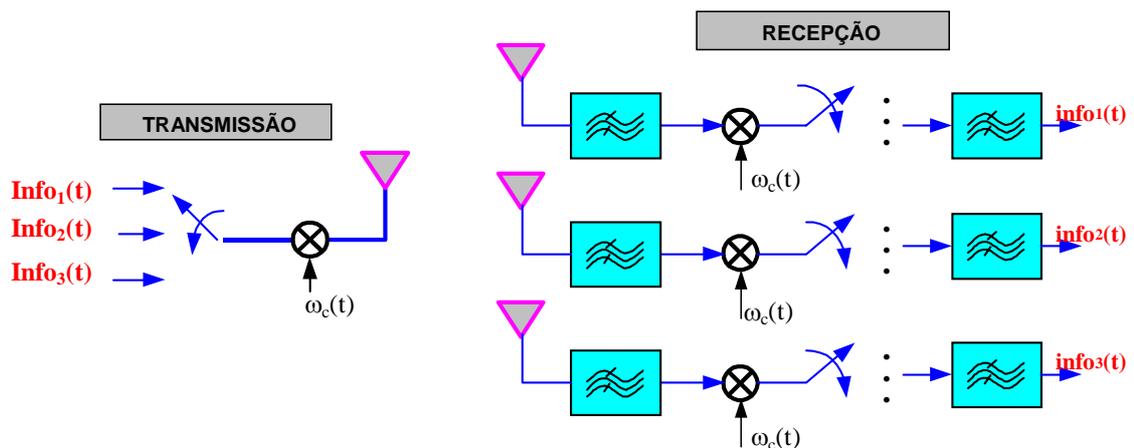


Figura 6: Esquema de transmissão e recepção de um Sistema TDMA

2.4 CDMA

O Acesso Múltiplo por Divisão de Código foi desenvolvido nos EUA pelo segmento militar. Sua primeira utilização foi para a comunicação entre aviões de caça e rádio controle de mísseis teleguiados. Neste método de acesso as EMs transmitem na mesma portadora e ao mesmo tempo, mas cada comunicação individual é provida com um código particular. Isto garante alta privacidade na comunicação.

Fazendo uma analogia, podemos considerar vários pares de pessoas em uma sala se comunicando, só que cada par fala um idioma diferente que só eles entendem. Quanto mais diferentes os idiomas utilizados nesta sala, menor a probabilidade de confusão na comunicação (interferência entre os códigos). Por exemplo, o português e o espanhol são idiomas bastante parecidos; já o português e o alemão têm bastante diferenças.

A técnica CDMA possui as seguintes características básicas : todos os usuários podem transmitir simultaneamente, nas mesmas frequências e utilizando toda a banda disponível.

Ao invés de se fazer a separação entre usuários através de frequência ou frequência / tempo, a cada usuário é designado um código, de forma que sua transmissão possa ser identificada. Os códigos usados têm baixa correlação cruzada (idealmente zero), ou seja, são ortogonais, fazendo com que as informações contidas nas várias transmissões não se confundam. No outro extremo da comunicação, o receptor tem conhecimento do código usado, tornando possível a decodificação apenas da informação de seu interlocutor. A **Fig. 8**, ilustra o sistema.

As conexões simultâneas são diferenciadas por códigos distintos de baixa correlação. Sequências digitais do tipo *pseudo-noise* (PN) são geradas por códigos pseudo-randômicos (PN codes) e ortogonais com taxa alta de transmissão por *Direct Sequence*, ou *Direct Spread*. Obtêm-se, então, um sinal de faixa larga por *Spread Spectrum* (espalhamento espectral) pelo fato de se transmitir o sinal em uma taxa maior que a taxa da informação. A largura de faixa padronizada para os serviços móvel celular é de 1.25 MHz. A razão entre a faixa espalhada do sinal e sua faixa original é conhecida como ganho de processamento.

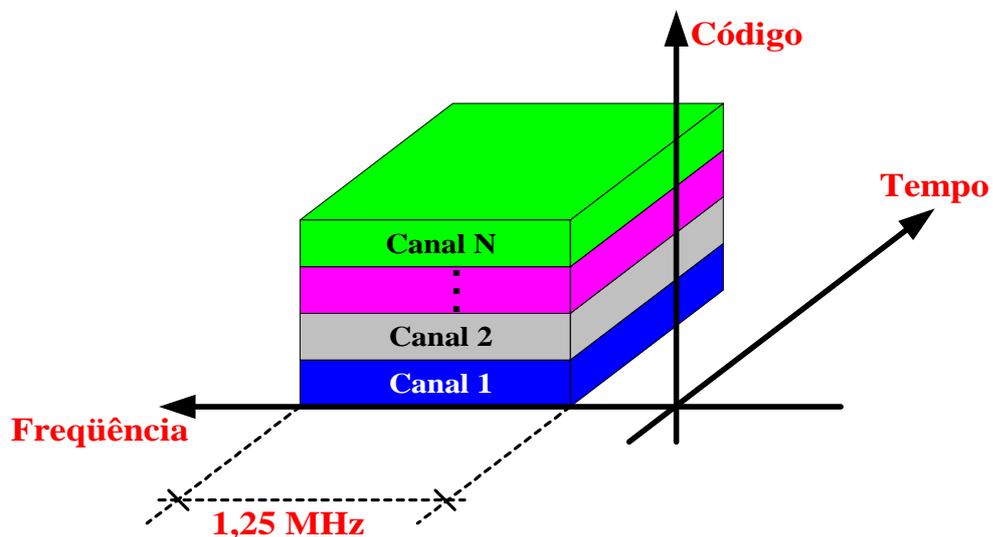


Figura 7: Técnica de acesso CDMA

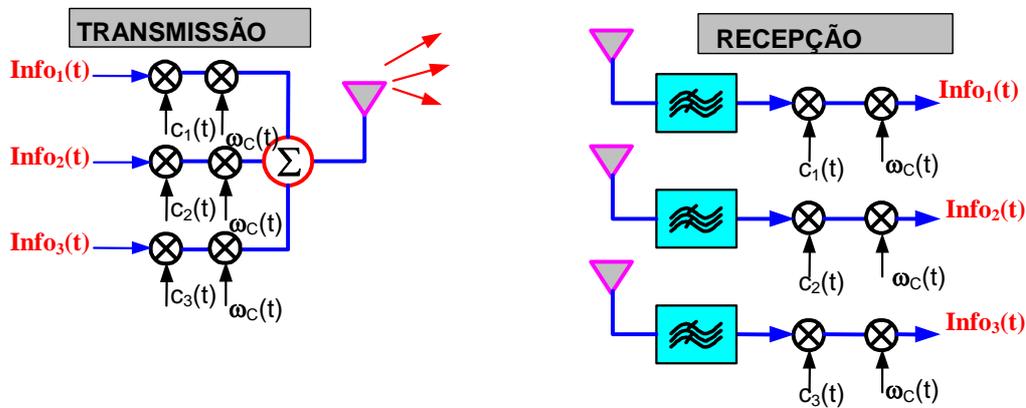


Figura 8 : Esquema de transmissão e recepção de um Sistema CDMA

Espalhamento Espectral

Através dessa técnica, o sinal original que se deseja transmitir é espalhado por uma banda muito maior que a necessária a sua transmissão. Esse efeito é obtido, no caso do CDMA (espalhamento espectral por seqüência direta, como será explicado), pela multiplicação do sinal por um código com taxa de transmissão muito superior, de forma que o sinal resultante ocupa uma faixa muito larga. A energia total é mantida, sendo distribuída uniformemente por toda a banda, assemelhando-se ao espectro de ruído branco. Todos os sinais oriundos dos diversos usuários / estações base e o próprio ruído agregado à transmissão são superpostos no espectro. Através do código apropriado, a informação do usuário desejado é extraída em meio ao “ruído”.

Nessa breve descrição, já é possível observar a alta imunidade intrínseca do espalhamento espectral a ruído e interferência, uma vez que sinais de outros usuários bem como ruído/interferência são tratados da mesma forma e seus danos à informação de determinado usuário são eliminados, teóricos e idealmente, quando da aplicação do código de recuperação.

Há duas formas principais de se realizar o espalhamento espectral: Salto em Frequência – Frequency Hopping (FH) e Seqüência Direta – Direct Sequency (DS). O que se chama comumente de CDMA é, na verdade, a técnica de múltiplo acesso por seqüência direta.

2.4.1 Salto em Frequência – Frequency Hopping (FH)

Nessa técnica, a portadora “salta” entre as várias frequências do espectro alocado. A faixa original do sinal é mantida, porém, como a portadora percorre rapidamente uma faixa muito grande de frequências, o efeito final é de espalhamento espectral. Um sistema FH pode ser pensado como um sistema FDMA com diversidade de frequência.

Esta técnica provê um alto nível de segurança, uma vez que um receptor que queira interceptar a comunicação e que não saiba a seqüência pseudo-aleatória usada para gerar a seqüência de “saltos”, necessitará buscar por frequências de forma muito rápida e acertar a frequência em uso em cada instante (e no slot de tempo exato). Pode apresentar problemas de colisão entre usuários e é crítico quanto à necessidade de sincronização entre transmissor e receptor. A **Fig. 9** ilustra essa técnica, através de dois usuários, “X” e “0”.

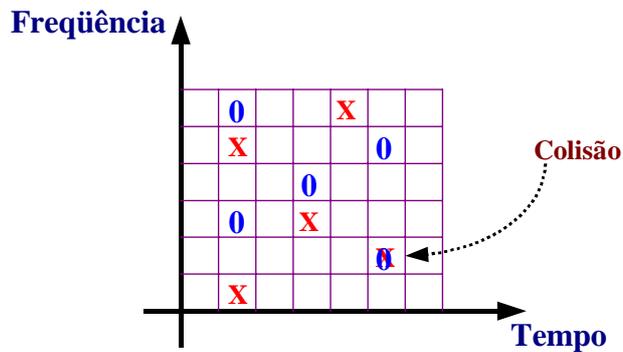


Figura 9: Salto em Frequência (Frequency Hopping)

2.4.2 Seqüência Direta – Direct Sequency (DS)

No CDMA como dito, a técnica baseia-se em associar códigos ortogonais aos usuários, de forma que suas comunicações não interferem entre si mesmo compartilhando o mesmo espectro e tempo. Para determinado usuário, todos os outros são vistos como sendo ruído.

O código utilizado na transmissão deverá ser conhecido na recepção. Na teoria poderíamos tantos assinantes quantos códigos geradores existentes, mas isto não é verdade uma vez que a comunicação se processa em um ambiente ruidoso. Cada EM gera uma parcela do ruído total do sistema que é proporcional ao número de chamadas em curso. Assim, o receptor correlaciona os sinais recebidos com o código gerador multiplicando-os,

detectando o sinal desejado que agora se destaca sobre os demais. Um sistema de comunicação utilizando o CDMA é mostrado em blocos na **Fig.10**.

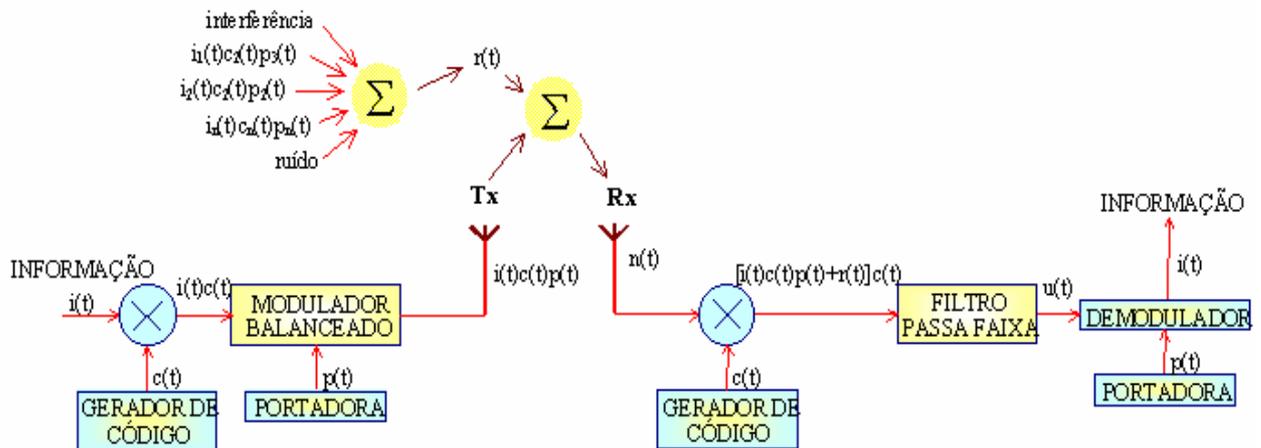


Figura 10: Diagrama de comunicação CDMA.

No processo de transmissão pelo método do CDMA a voz é primeiramente codificada, passa por um expansor (*spreader*) que a multiplica por seqüência preestabelecida e única para cada EM o sinal de espectro agora espalhado é modulado em amplitude e transmitido. Logo abaixo é exemplificado o processo de transmissão e recuperação da informação pelo método CDMA descrito pela **Fig. 11**.

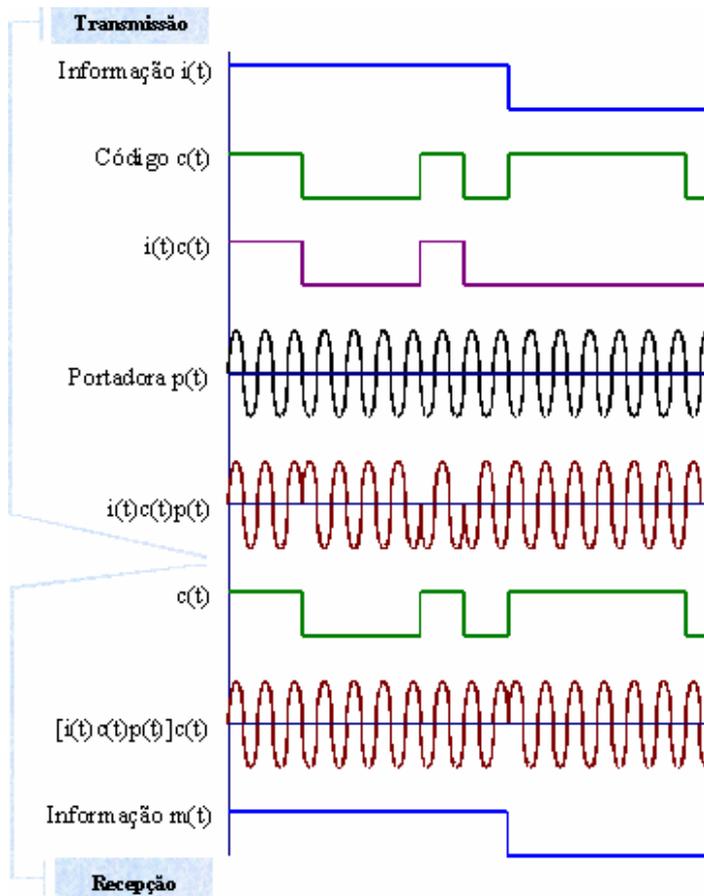


Figura 2.11: Transmissão por espalhamento espectral

O ruído pode ser trabalhado utilizando-se taxas menores nos períodos de silêncio em uma conversação. O controle da potência nas EMs equaliza o nível de interferência provocado por usuários próximos ou distantes da ERB. A utilização de antenas diretivas limitando o ângulo de chegada dos sinais também reduz o nível do ruído.

Verifica-se que o fator limitante do método CDMA é a relação sinal-ruído por EMs. Assim, a capacidade do sistema é determinada pelo nível da relação sinal-ruído e pelo ganho de processamento. Mesmo assim considera-se um ganho da ordem de 8 vezes em relação à capacidade do método FDMA

Os sistemas que utilizam o método CDMA têm como padrão de reuso somente uma célula por *cluster*. Isto dispensa o planejamento de frequências. O que diferencia uma célula de outra são os conjuntos de códigos utilizados já que todas as células utilizam a mesma frequência portadora. Isto facilita a implementação do procedimento de *soft-*

handoff. Neste procedimento a EM cruzando a fronteira entre duas células poderá utilizar os sinais das duas ERBs ao mesmo tempo, transmitindo o mesmo código, combinando os sinais recebidos para melhorar a recepção.

Os sistemas que utilizam o CDMA seguem o padrão IS-95 com taxa de espalhamento a 1,2288 Mbps utilizando uma portadora de 1,25 MHz de faixa. O uso de uma taxa básica de 9,6 kbps implica em maior capacidade do sistema e em menor qualidade de transmissão. Utilizando 14,4 kbps teremos uma menor capacidade do sistema, porém uma melhor qualidade de transmissão. Um fato curioso é que as operadoras podem prover serviços em ambas as taxas com tarifas diferenciadas.

Para a expansão de um sistema baseado em CDMA basta aplicar aceitar uma degradação do grau de serviço pelo o aumento do número de usuários no sistema, o que simplesmente aumenta a interferência total, e não implica em nenhuma alteração física do sistema.

Principais características do CDMA são apresentadas abaixo:

- usuários comunicam-se usando as mesmas frequências, simultaneamente, por divisão de código;
- ao contrário do FDMA e do TDMA, o CDMA não tem um limite de capacidade bem definido, e sim o que se chama de limite soft. Ao aumentar o número de usuários, o nível mínimo de ruído é aumentado linearmente, de forma que há um decréscimo gradual de desempenho do sistema, percebido por todos os usuários;
- efeitos do canal nocivos e seletivos em frequência podem ser minimizados pelo fato do sinal original estar espalhado por uma banda muito grande. E ainda, o receptor utilizado – RAKE - permite que se faça um especial tratamento nos sinais recebidos por multipercurso, de maneira que o sinal recebido tenha a melhor qualidade possível;
- no caso de handoff entre células co-canal (todo o espectro é utilizado pelas células – possível no CDMA), o processo pode ser suave. Mais de uma estação base monitora o nível do móvel e a central de controle pode escolher a melhor versão do sinal, sem necessitar comutar frequências;
- problema perto-distante, caso não haja controle de potência eficiente.

- Sigilo na comunicação.

2.5 Acesso Híbrido

As técnicas híbridas combinam as três técnicas citadas anteriormente. Elas são: FDMA/TDMA, FDMA/CDMA e TDMA/CDMA. Na técnica híbrida FDMA/TDMA o espectro disponível é dividido em sub-faixas onde cada uma transporta a comunicação de um determinado número de usuários que compartilham essa sub-faixa em instantes de tempo distintos. Na técnica FDMA/CDMA o espectro disponível é dividido em sub-faixas onde cada uma transporta a comunicação de um determinado número de usuários que compartilham essa sub-faixa ao mesmo tempo, porém utilizando seqüências pseudo-aleatórias distintas (códigos distintos). Na técnica híbrida TDMA/CDMA cada célula utiliza uma seqüência pseudo-aleatória comum, sendo que em uma determinada célula a cada usuário é alocado um instante de tempo distinto dos demais.

2.6 Comparação entre FDMA, TDMA e CDMA

Uma vantagem básica do CDMA é sua capacidade muito maior de tolerar sinais interferentes, se comparado a FDMA e a TDMA. Como resultado dessa qualidade, problemas de alocação da banda e interferência entre células adjacentes são simplificados, enquanto que sistemas FDMA e TDMA precisam de cauteloso estudo de alocação de frequência e slots para evitar interferência, exigindo filtros sofisticados e tempos de guarda entre slots. Aumento de capacidade no CDMA pode ser conseguido através do fator de atividade de voz, utilizando-se os instantes de tempo nos quais não é detectada voz para prover aumento de usuários atendidos (utilização de *vocoders* eficientes).

Em termos de capacidade, teoricamente o CDMA possui uma vantagem sobre sistemas analógicos por um fator de 20. Por outro lado, toda a vantagem teórica do CDMA exige que uma série de requisitos como, controle de potência eficiente, ortogonalidade entre códigos e necessidade de sincronismo perfeito (bases são sincronizadas por GPS – Sistema de Posicionamento Global, e passam o sincronismo aos móveis), entre outros, sejam atendidos. Na prática, dada a dificuldade de se implementar todos os requisitos, sistemas CDMA em geral não exploram toda a capacidade teórica prevista para essa técnica, embora os avanços tecnológicos os levem cada vez mais próximos a esse ideal.