

TDMA

Time Division Multiple Access

Pablo Felipe Rocha Barbosa
Técnico em Eletrônica
Prof. Orientador: Israel Gutemberg Alves
CEFET-MG
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Aluno:

Pablo Felipe Rocha Barbosa
Rua Maria Martins Guimarães, 310 apto. 201A
Bairro Sagrada Família Belo Horizonte - MG
CEP: 31035-100 tel.: (31) 3482-6204

Empresa:

Supervisor: Dante Martins Borges
Datacell Tecnologia Ltda.
Av. Bernardo Monteiro, 1428
Bairro Funcionários Belo Horizonte - MG
CEP: 30150-281 tel.: (31) 3249 3030

APRESENTAÇÃO

O estágio a que se refere este relatório foi realizado na Datacell Tecnologia, empresa que atua na área de manutenção de aparelhos celulares. De médio porte conta com aproximadamente 40 funcionários. Autorizada pela Nokia, Gradiente, Ericsson, Philips e NEC recebe de Belo Horizonte e do interior tanto de pessoas físicas como jurídicas, Telemig Celular e outras lojas, uma média de 140 celulares por dia. Criada em 1994, possui um moderno Centro de Reparos, entre um dos maiores e mais bem equipados do Brasil.

Das atividades desenvolvidas, foram as próprias da manutenção corretiva dos aparelhos assim como da geração de orçamentos de reparo e de laudos técnicos. Testes, reparos elétricos e mecânicos, reprogramação de parâmetros e retrabalho com SMD foram as atividades mais desempenhadas.

Como as atividades desenvolvidas foram voltadas tão exclusivamente para aplicação na Telefonia Celular, o tema escolhido por mim para este deveria ser uma das matérias inerentes da área.

Existem vários padrões de Telefonia Celular que são adotados em diferentes partes do mundo, percebendo-se grande amplitude da área. Procurando dar maior aprofundamento numa matéria, observando as circunstância da nossa região e também visando à aplicação no trabalho, decidimos que o tema escolhido seria o TDMA.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 Histórico das comunicações móveis | 5 |
| 2 Conceitos da Telefonia Celular | 7 |
| 2.1 Características | 7 |
| 2.2 Conceitos próprios do Sistema Celular | 9 |
| 2.3 Os componentes | 10 |
| 2.4 Handoff e Roaming | 12 |
| 3 Introdução ao TDMA | 14 |
| 3.1 FDMA | 15 |
| 3.2 Multiplexação no tempo | 15 |
| 3.3 Evolução | 16 |
| 4 Canais TDMA | 18 |
| 4.1 Tipos de canais de rádio | 19 |
| 5 NAM - Numerical Assignment Module | 22 |
| 6 mensagens do sistema | 24 |
| 6.1 Mensagens do FCCH | 24 |
| 6.2 Mensagens do RCCH | 25 |
| 7 Originação de chamadas | 27 |
| 8 Estação Móvel | 29 |
| 8.1 O circuito receptor | 30 |
| 8.2 O circuito de sintonia | 31 |
| 8.3 O circuito de transmissão | 33 |
| 9 Conclusão | 34 |
| 10 Bibliografia | 36 |

1 HISTÓRICO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Hoje em dia a telefonia celular está extremamente difundida e tende a se difundir e se ampliar mais. A competição entre as operadoras fazem com que o serviço se torne mais barato e a entre fabricantes tornam seus produtos mais baratos e com serviços cada vez mais avançados. A história das comunicações móveis começou bem antes do celular digital e por isso devemos nos lembrar brevemente dos principais fatos que levaram à evolução das comunicações móveis:

Em 1921, o departamento de polícia de Detroit opera com o primeiro sistema rádio-móvel, que era simplex e operava com frequência de 2 MHz.

No ano de 1946, a FCC (Federal Communication Commission), órgão que regulariza padrões em telecomunicações, permite que a AT&T coloque em operação o primeiro sistema de telefonia móvel. A conexão era manual entre o sistema de rádio e a rede de telefonia pública. Este serviço foi batizado como rádio urbano e era baseado em uma única antena de transmissão de alta potência, que cobria uma área de cerca de 80 Km de raio e operava com apenas três canais half-duplex FM. Em 1947, é apresentado por Bells Labs o conceito de telefonia móvel celular.

Em 1957, a FCC autoriza novos canais de 50kHz na faixa de 450MHz para telefonia móvel.

Durante a década de 60 surgiu o conceito de sistema de rádio "trunked" (sintonia em frequências diversas). Até então, cada rádio trabalhava em uma única frequência.

Em 1964, o primeiro sistema de comutação telefônica totalmente eletrônica entra em serviço; e, em 1967, é introduzido experimentalmente o IMTS (Improved Mobile Telephone Service). Algumas das características do IMTS eram transmissor de alta potência, operação full-duplex, comutação automática, operação entre 150MHz e 450 MHz com canais de 30 kHz.

Em 1971, é apresentada pela AT&T a proposta do sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System), o qual não possuía hand-off automático, pois este só foi viável anos depois com o grande aumento da velocidade de processamento dos microprocessadores.

No ano de 1976, em Nova York, o sistema Bell só consegue atender a 543 assinantes de telefonia móvel; e, em 1982, são aprovadas as regras finais para implantação do sistema celular.

Em 1983, é colocado em operação, em Chicago, pela AT&T o primeiro sistema de telefonia celular AMPS; em 1984, a Bell é fragmentada em oito empresas menores (anti-trust), e a AT&T retira-se dos negócios de operadora.

Em 1991, é implementado o primeiro sistema celular (AMPS) no Brasil no Rio de Janeiro, sistema escolhido pelo ministério das telecomunicações como padrão; e, em 1998, começam a ser ativados os primeiros terminais com tecnologia digital no Brasil.

2 CONCEITOS DA TELEFONIA CELULAR

Um sistema centralizado (Broadcasting ou Radiodifusão) se baseia na idéia de uma única torre e repetidores reforçadores de sinal com equipamentos de alta potência transmitindo os sinais para toda uma grande área onde se dá o serviço.

As desvantagens desse sistema são o baixo tráfego, uma vez que o número máximo de ligações simultâneas em áreas que variam de 50Km a 100Km de raio é apenas o número de canais disponíveis; a alta potência de transmissão da torre central, que varia de 250W a 300W; e a alta potência das estações móveis, o que as faziam grandes (normalmente veiculares).

A arquitetura do sistema celular permite a utilização do mesmo canal de rádio em localidades diferentes. Vários usuários utilizam simultaneamente o mesmo canal de rádio multiplicando-se a capacidade de tráfego. A essa técnica é dado o nome de "Reutilização de Freqüência".

Um sistema celular consiste na divisão da área a ser coberta por um sistema de telefonia móvel em áreas menores denominadas células, permitindo transmissores de baixa potência e emprego eficiente do espectro por meio do reuso de freqüência.

O grupo de canais que cada torre receberá para sua operação pode ser reutilizado por outras torres desde que sejam suficientemente distantes para que a interferência entre elas seja tolerável.

Com essa nova arquitetura, a eficiência do sistema deve ser medida levando-se em conta os seguintes aspectos: capacidade de atender ao tráfego, qualidade do sinal e custo de implantação.

Tráfego: quanto menores as células e maiores o seu número, mais vezes são reutilizados os canais de RF, e o sistema comportará um tráfego maior.

Qualidade do sinal: quanto maiores as células e menores o seu número, menor é a interferência entre células.

Custo de implantação: quanto menor o número de células, o custo é menor

2.1 CARACTERÍSTICAS

Algumas características dos sistemas celulares são:

- 1- Uso mais eficiente do espectro devido à reutilização dos canais de RF;
- 2- Adaptável ao tráfego: quanto maior o tráfego a ser suprido, menor o tamanho das células;
- 3- Expansão Modular: pode-se expandir para alcançar novas regiões adicionando-se novas células, ou aumentando-se o raio das existentes;
- 4- Necessidade de handoff: passagem de uma célula para outra deve ser transparente para o usuário móvel. O sistema deve perceber quando o móvel está saindo do alcance de uma determinada célula e entrando em outra; e efetuar a troca de canal de rádio da célula atual para um canal de rádio da próxima célula sem interromper a ligação.
- 5- Vantagens econômicas: flexibilidade, sendo compatível com a atual dinâmica de mercados e evolução tecnológica. Embora sua estrutura seja extremamente cara, pode ser implantado em etapas, aumentando gradativamente sua capacidade até atingir a necessidade do mercado, o que torna o seu custo tolerável.

Quadro comparativo entre o sistema centralizado e o sistema celular:

| CELULAR | CENTRALIZADO |
|--|---|
| - Várias estações transmissoras | - Uma única torre de transmissão |
| - Baixa potência de transmissão (de 45W a 10W por setor) | - Alta potência de transmissão (250W a 300 W) |
| - Áreas de cobertura menores (2Km a 15Km de raio) | - Grandes áreas de cobertura (50Km a 100Km de raio) |
| - Expansão modular | - Difícil expansão |
| - Unidades móveis pequenas e baratas | - Unidades móveis grandes e caras |
| - Alta capacidade de tráfego | - Baixa capacidade de tráfego |
| - Planejamento complexo | - Planejamento simples |
| - Alto custo | - Baixo custo |

Fonte: SILVA FILHO, Witalaelkes Francisco da. *Telefonia Celular*. Belo Horizonte, Senai, 1998. pág. 13.

A figura a seguir ilustra uma comparação entre o broadcasting e o sistema celular onde ambos os sistemas dispõem de 40 canais. Nota-se que o tráfego no

o sistema celular será multiplicado pelo número de células que fazem reutilização de frequência levando serviço a um número maior de usuários.

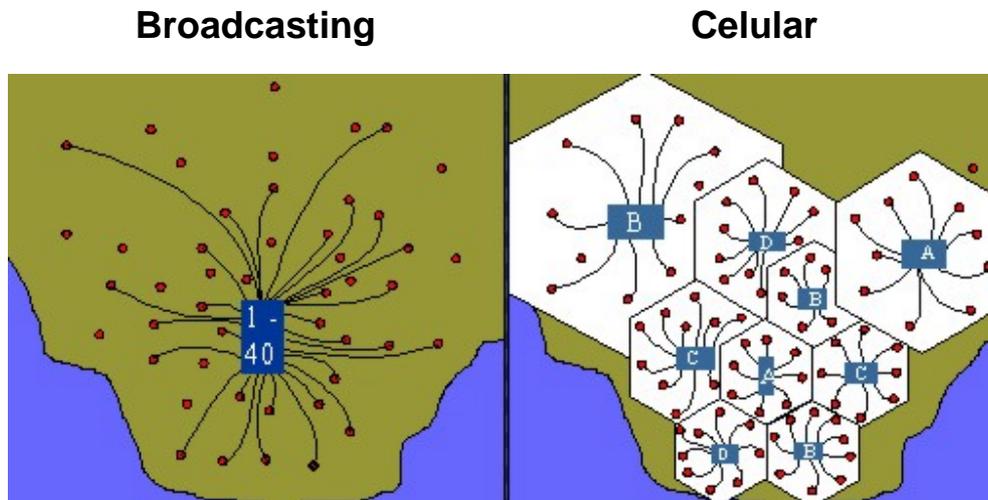


FIG. 1 - Comparação entre Broadcasting e Celular.
Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld020.htm>

2.2 CONCEITOS PRÓPRIOS DO SISTEMA CELULAR

Célula

Área iluminada por uma estação rádio-base dentro da qual a recepção do sinal atende às especificações do sistema.

| | | |
|-------------------------|----------|--|
| HEXAGONAL | FICTÍCIA | |
| REDONDA | IDEAL | |
| SEMDEFINIÇÃO GEOMÉTRICA | REAL | |

FIG. 2 - representação das células
Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld025.htm>

A área a ser coberta por uma torre de rádio em um terreno plano e sem obstáculos tem forma circular. Porém, essa forma não é adequada para elaboração matemática de mapas de cobertura devido às áreas de "overlap" (sobreposição). Para isso, poderia-se representar as células por quadrados ou hexágonos regulares, sendo que os hexágonos se aproximam mais da forma circular e devido à sua boa relação

raio/(distância de repetição), conforme mostra a figura 3, permitem o planejamento da cobertura de uma determinada área com o uso do menor número de células.

Grupos de Canais

Os grupos de canais resultam da distribuição entre células dos canais disponíveis para o sistema. Classificam-se canais de voz e canais de controle no sistema AMPS - Advanced Mobile Phone System (sistema Analógico). No sistema TDMA - Time Division Multiple Access - o canal de voz passou a ser chamado de canal de tráfego.

Deve ser observado que para cada grupo numa célula deve existir um canal de controle, sendo que os grupos são organizados de tal forma a evitar a existência de canais adjacentes. Assim, se um grupo utiliza o canal 335, não deverá utilizar o 336 e o 334 pois os mesmos são adjacentes àquele e causam interferências.

Cluster

São grupos de células onde se distribuem todos os grupos de canais. Entre clusters vizinhos deve-se manter uma distância mínima entre células que reutilizam os mesmos canais (co-células) para que haja a mínima interferência desejada entre eles. As células que usam o mesmo grupo de canais são chamadas co-células . A figura 3 mostra como as células devem ser organizadas nos clusters.

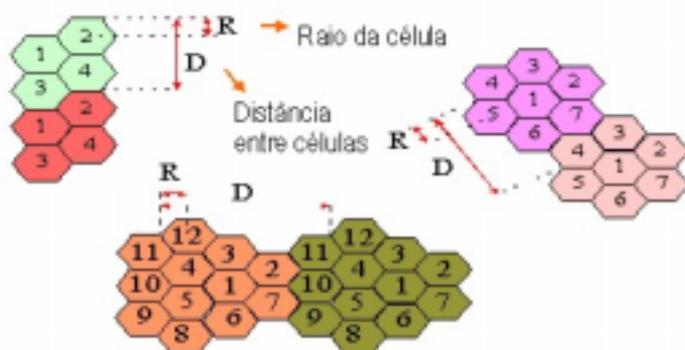


FIG. 3 - Células e Clusters
Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld029.htm>

2.3 OS COMPONENTES

Um sistema celular tem basicamente 4 componentes: Estação Móvel, ERB, Central de Comutação e Controle, e a Rede Pública.

EM - Estação Móvel

Também chamada unidade móvel, móvel ou telefone celular. Sua principal função é fazer a interface entre o usuário e o sistema. A estação móvel pode ser compreendida como uma estação de rádio com potência extraída de uma bateria portátil. É conectada via sinal de rádio a uma estação rádio-base mais próxima que pertença a uma rede de telefonia móvel.

A potência de transmissão de uma estação móvel deve ser suficiente em todo momento a capacitar a estação rádio-base captar seus sinais. A estação rádio-base pode, dentro dos limites definidos na central, ordenar à EM para aumentar ou diminuir a sua potência a qualquer momento.

ERB - Estação Rádio-base

As principais funções da ERB são:

- fazer a interface entre a Central de Comutação e Controle e diversas estações móveis;
- alocar e controlar canais;
- fazer sinalização com as unidades móveis e a Central de Comutação e Controle.

A estação rádio-base é capaz de estabelecer comunicação com as estações móveis que estejam se deslocando em uma área em torno dela. Dependendo do tipo de antenas empregadas, uma ou mais células poderão ser cobertas por uma única estação rádio-base.

A ERB é conectada à Central de Comutação e Controle (CCC) e contém:

- Interface para a CCC;
- Transmissores e Receptores de equipamento de rádio;
- Equipamento de Antena;
- Torre;
- Controle Ambiental.

CCC - Central de Comutação e Controle

A Central de Comutação e controle é o "cérebro" do sistema e apresenta as seguintes funções:

- Interface com a rede de telefonia fixa e com outros sistemas celulares;
- Comutação entre as ERBs;
- Controle das ERBs;
- Processamento de chamada e handoff;
- Funções de administração e manutenção do sistema.



FIG. 4 - Componentes do sistema celular
Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld038.htm>

Rede Telefônica Fixa Comutada - RTFC

A conexão entre a CCC e a RTFC, ou Rede Pública, permite as chamadas entre móveis e telefones fixos e estabelece a conexão entre CCCs de diferentes sistemas.

2.4 HANDOFF E ROAMING

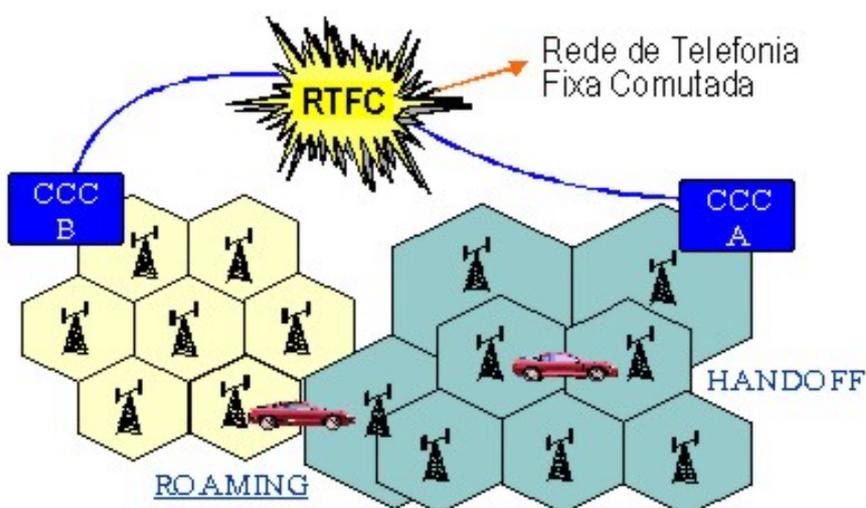
São também conceitos da telefonia celular que, por conferirem mobilidade maior ao usuário que aquela dos outros sistemas, merecem maior destaque.

O Handoff é o procedimento de transferência de uma chamada de uma célula para outra da mesma CCC permitindo mobilidade. Quando a estação móvel, durante uma ligação, se afasta de uma célula e se aproxima de outra, o sinal passa a ser recebido com maior potência na nova célula que se aproxima. A CCC ordena que a chamada seja transferida de uma ERB para a outra, permitindo a continuação da chamada que àquela altura já estava com potência de sinal fraca. Este processo é feito de forma transparente ao usuário.

O Roaming é a utilização de uma EM fora da área de serviço de seu sistema original. A utilização dos serviços de outros sistemas é possível devido à conexão das CCCs através da RTPC e à criação ou registro do usuário móvel visitante - roamer - no sistema hospedeiro. A criação do roamer pode ocorrer de duas maneiras:

- Manualmente : o usuário entra na área de serviço de um sistema, contata o SAC (Serviço de Atendimento ao Cliente) e se registra.
- Automático: permite que a mudança de sistema seja transparente ao usuário. O roaming automático é padronizado por todas as versões do TDMA e pelo padrão AMPS.

Cada CCC tem um número de identificação de sistema, o System Identification ou SID. Este número é transmitido nos canais de controle dos sistemas; assim a EM ao ser ligada varre os canais de controle procurando o SID que nela foi programado no momento da habilitação. Caso a EM não encontre o SID programado, procurará serviço de outro sistema. Ao encontrar, a EM estará em Roaming.



3 INTRODUÇÃO AO TDMA

O problema central do sistema de comunicação celular é a escassez do espectro. Por isso o sistema celular necessita usar seu espectro de rádio limitado da maneira mais eficiente possível. Empresas estão solucionando este desafio de duas maneiras. A primeira envolve a gradual mudança do formato do sinal de analógico para digital, pois permite um sistema celular empregar menos estações rádio-base. O segundo método emprega a modulação de fase digital para permitir um grupo de usuários utilizar o mesmo canal de frequência de rádio simultaneamente.

Nos anos 80, a indústria da comunicação sem fio começou explorar a conversão da rede analógica existente para digital com o intuito de aumentar a capacidade. Em 1989, a Cellular Telecommunications Industry Association (CTIA) escolheu o TDMA ao invés do FDMA da Motorola padrão banda estreita como a tecnologia alternativa dos mercados de celular de 800 MHz existentes e para os emergentes mercados de 1,9 GHz. Com o crescimento da competição tecnológica aplicada pela Qualcomm em favor do CDMA e as realidades do padrão GSM Europeu (variante do TDMA), o CTIA decidiu permitir as empresas a fazerem suas próprias escolhas de tecnologia.

Os dois maiores sistemas concorrentes que dividem a rádio-frequência são TDMA e o Acesso por Múltipla Divisão do Código (CDMA – Code Division Multiple Access). CDMA é uma tecnologia de espectro amplo que permite que os pacotes de dados sejam transmitidos em canais que se alternam no tempo. Cada pacote digital de códigos CDMA é enviado com uma única chave. Um receptor CDMA responde somente àquela chave e pode demodular o sinal associado.

O sistema TDMA é designado para uso em uma variedade de circunstâncias e situações, que vão do uso em um escritório no centro da cidade até um usuário viajando em alta velocidade em uma rodovia. O sistema também suporta uma variedade de serviços para fins do usuário, tais como voz, dados, fax, serviços de pequenas mensagens, difusão de mensagens e WAP - Wireless Application Protocol (internet para celular). O TDMA oferece uma flexível interface aérea, provendo alta

performance acerca da capacidade e cobertura, ilimitado suporte de mobilidade e capacidade para tratar dos diferentes tipos de necessidades do usuário.

O Acesso por Múltipla Divisão do Tempo (TDMA - Time Division Multiple Access) é uma tecnologia de transmissão digital que permite um número de usuários acessar um único canal de frequência de rádio sem interferência, locando um slot (espaço) de tempo para cada usuário dentro de cada canal. O esquema de transmissão digital TDMA multiplexa três sinais sobre um único canal. O TDMA padrão para celular divide um único canal em seis slots de tempo, com cada sinal usando dois slots, promovendo um ganho em capacidade de 3 para 1 sobre o AMPS.

3.1 FDMA

O FDMA - Acesso por Múltipla Divisão de Frequência - (utilizado pelo Padrão AMPS) loca um único canal para um usuário por vez. Se o caminho da transmissão deteriora, o controlador (CCC) passa a ligação para outro canal. Embora tecnicamente simples de implementar, o FDMA desperdiça muita largura de banda: o canal é disponibilizado para uma única conversação. Além disso, ele não pode tratar de formas diversificadas de dados, somente transmissões de voz. A Figura 6 ilustra um gráfico onde cada bloco representa um canal sendo usado por um único usuário.

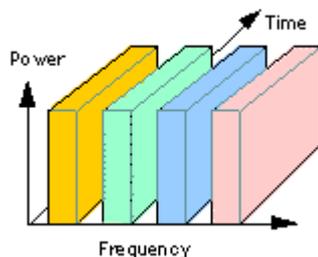


FIG. 6 - Multiplexação em Frequência
Fonte: <http://proenca.uel.br/curso-redes-graduacao/1998/trab-05/equipe-02/tdma2.htm>

3.2 MULTIPLEXAÇÃO NO TEMPO

Como foi dito anteriormente o TDMA divide cada canal em 6 slots de tempo os quais, atualmente, são divididos entre 3 usuários aumentando assim a capacidade do Sistema. A figura 7 mostra o gráfico onde 3 usuários compartilham o mesmo canal.

O período de tempo em que os usuários utilizam o canal é chamado de frame. Um frame na IS-136 tem duração de 40ms e tem capacidade de transmitir 1944 bits, resultando numa taxa de 48,6 Kbps. O frame é subdividido em 6 partes, as quais chamamos de time slots. Uma conversação na realidade é composta por um conjunto de time slots.

MULTIPLEXAÇÃO NO TEMPO

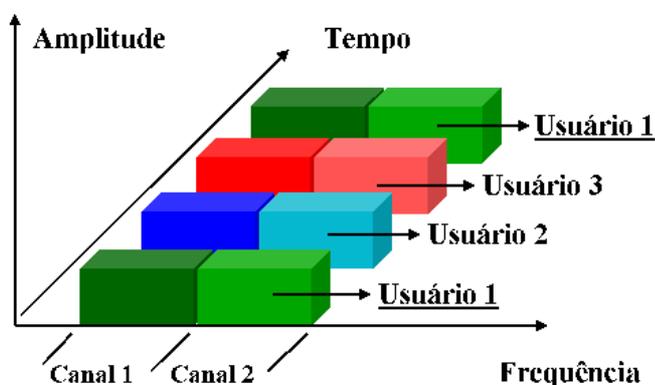


FIG.7 - Multiplexação no Tempo
 Fonte: <http://www.testecell.hpg.ig.com.br/tdma2.htm>

TIMESLOTS

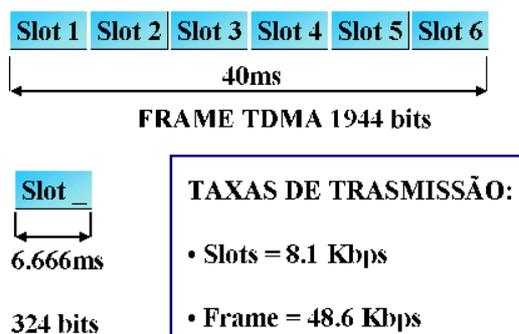


FIG. 8 - Frame TDMA
 Fonte: <http://www.testecell.hpg.ig.com.br/tdma2.htm>

3.3 EVOLUÇÃO

O TDMA foi implantado originalmente em 1988 com o padrão IS - 54 pela TIA/CTIA. O IS - 54 surgiu como uma evolução do sistema AMPS, que vigorava até então. As principais características desta primeira versão do TDMA são a digitalização e codificação da voz para transmissão multiplexada no tempo e os canais de controle semelhantes aos do AMPS com apenas algumas alterações de mensagens.

O IS - 54 foi substituído posteriormente pelo IS - 136. Este padrão tornou o TDMA totalmente digital com a adição do Canal de Controle Digital - DCCH. O codificador de voz utilizado na IS - 54 também foi substituído por outro que apresentou maior qualidade de voz. O IS - 136 trouxe novos serviços como os de SMS (envio de mensagens curtas), identificador de chamada e outros.

O IS - 136A foi criado para estabelecer serviço celular na faixa de 1.900 MHz e introduziu novos serviços programados. E finalmente, a implantação do IS-136B incluiu mais serviços como broadcast SMS, dados de pacotes, etc.

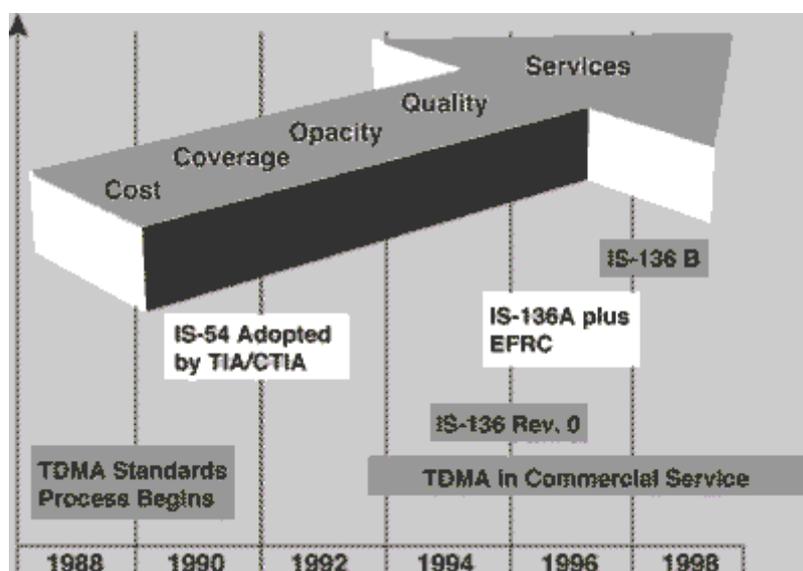


FIG. 9 - Evolução do TDMA

Fonte: <http://proenca.uel.br/curso-redes-graduacao/1998/trab-05/equipe-02/tdma7.htm>

Há previsão de implantação do ETDMA - Extended Time Division Multiple Access. O ETDMA permite que a transmissão pare quando um usuário não estiver falando, liberando o canal para outra conversação. O ETDMA poderá até duplicar a capacidade do TDMA e multiplicar a capacidade do AMPS por 10.

4 CANAIS TDMA

Um canal TDMA assim como um canal AMPS é constituído, na realidade, de um par de canais: um chamado forward ou direto (para comunicação no sentido ERB - móvel) e outro reverse ou reverso (no sentido móvel - ERB), ambos de largura de 30 kHz e distância entre eles de 45 MHz (separação full-duplex).

Originalmente, o sistema celular trabalhava com 666 pares de canais em uma faixa de frequência de 825MHz a 845MHz para canais diretos e 870MHz a 890MHz para canais reversos, sendo que os primeiros 333 eram os canais da banda A e os acima de 334 os de banda B. Posteriormente, em 1986, o sistema se expandiu e novos canais foram adicionados às bandas A e B.

As bandas A e B são utilizadas por operadoras diferentes. No Brasil, determinou-se que a banda A seria usada por operadoras estatais do sistema Telebrás e a banda B para operadoras privadas.

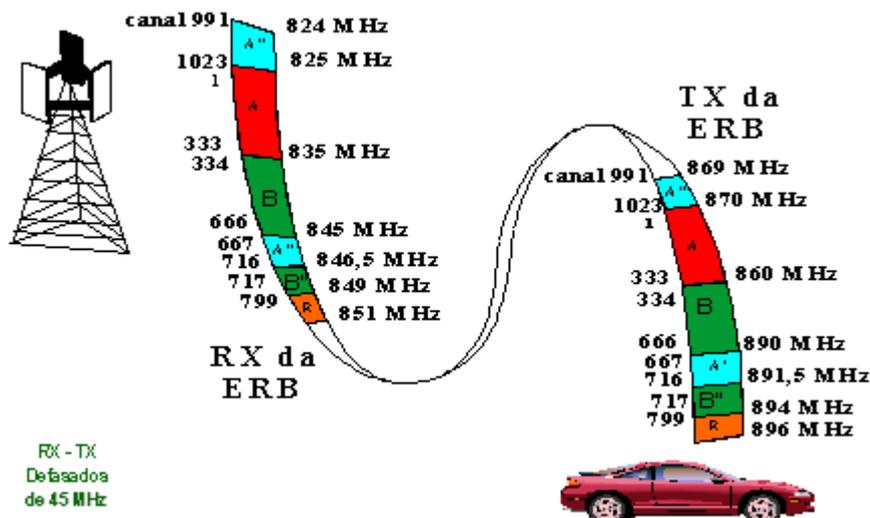


FIG. 10 - Canais TDMA - Faixa de 800 MHz
 Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld037.htm>

Veja na figura 10 como ficou o espectro de frequência do sistema celular na faixa dos 800MHz atualmente, essa canalização é chamada de EAMPS - Extended AMPS. O "R" na figura representa faixas reservadas e não utilizadas.

Já existe e é padronizada pela IS-136A e IS-136-B uma faixa no espectro em 1900MHz a qual é usada por outras operadoras.

No Brasil a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) divulgou a faixa de frequência para a nova Banda C, que será de 1,8 GHz, utilizando o padrão GSM (Global System Mobile - um sistema variante do TDMA), utilizado na Europa e Ásia.

Dual Mode TDMA/AMPS

Como foi visto o TDMA usa os mesmos canais do sistema AMPS na faixa de 800MHz. Isso permitiu o Modo Duplo de sistemas dentro do TDMA. Em outras palavras, o sistema AMPS permaneceu dentro do TDMA depois que este foi implementado e foram mantidos os canais sem multiplexação do tempo.

A grande vantagem do Dual Mode é a conexão de tecnologias digitais diferentes. Outros padrões digitais, como o CDMA, também possuem duplo modo de funcionamento Digital/AMPS, assim quando uma estação móvel TDMA está numa área coberta por serviço CDMA, conseguirá serviço AMPS nessa área. Isso é muito importante porque em localidades diferentes podem ser adotados padrões diferentes. Esta variação de padrões pode acontecer entre países, estados, cidades e até mesmo entre operadoras que cobrem uma mesma área.

4.1 TIPOS DE CANAIS DE RÁDIO

Tanto para TDMA quanto para AMPS, os canais são divididos em dois grupos. Um deles transmitem dados (ou voz) específicos de um usuário e o outro é dedicado a monitorar e controlar o sistema. A seguir são dadas a nomenclatura e descrição desses canais.

DTCH - Digital Traffic Channel

No velho sistema AMPS a voz é modulada em frequência e transmitida no Canal de Tráfego. Esse canal é dedicado a transmissão da conversação e dados do usuário. O canal de voz AMPS é também chamado de AVCH - Analog Voice Channel (Canal de Voz Analógico). No TDMA a voz é processada e transformada em dados, esses dados e outros dados do sistema são transmitidos no canal de tráfego, que pelo fato de ser digital passou a ser chamado de Canal de Tráfego Digital - DTCH.

No processamento da voz, esta após algum tratamento vai a um digitalizador baseado na lei μ do CCITT (8 bits por amostra), transformando-se em dados a 64Kbps.

Devido a voz humana possuir uma forte redundância e embora seja grande o número de vocábulos, o número de vocábulos diferentes é bem limitado. Pode-se então, criar um alfabeto desses sons e suas seqüências de bits criando um código mais curto. Assim não é difícil criar algoritmos de compreensão de voz que a comprima uma taxa menor que 64Kbps.

Na primeira fase do TDMA, o VSELP - Vector Sum Excited Linear Predictive Coding - era o algoritmo que transformava 64Kbps em 7,95Kbps. Esse algoritmo usado no IS-54 deixava a voz metalizada e foi substituído na versão IS-136 pelo ACELP - Algebraic Code Excitation Linear Predictive - que corrige o problema da voz metalizada e apresenta maior qualidade de voz. O ACELP tem taxa de 7,4Kbps.

Os "espeech coders" existentes hoje (64 x 8 Kbps) permitem a transmissão da voz de um usuário em 2 time slots limitando a utilização do canal TDMA a 3 usuários, no futuro 6 usuários poderão dividir o canal.

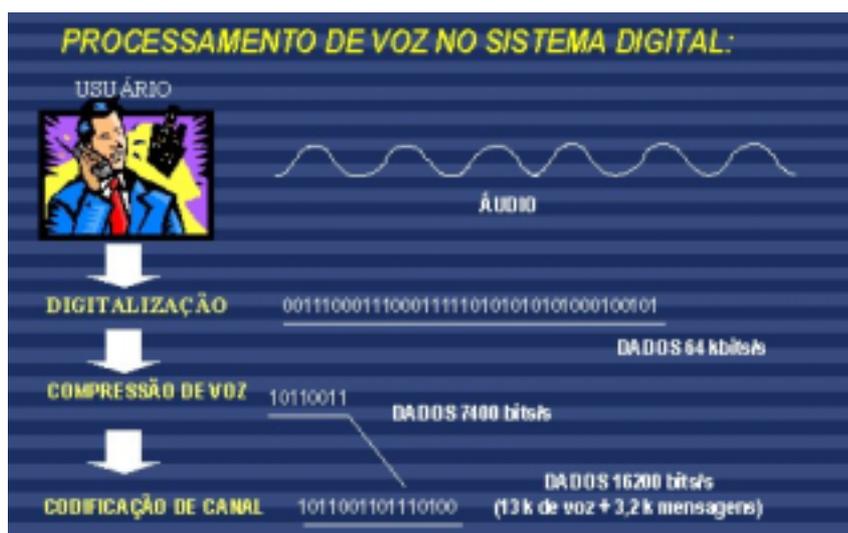


FIG.11 - Processamento de voz no TDMA
Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld063.htm>

Finalmente os 16,2Kbps de voz e mensagens do sistema são modulados em $\pi/4$ DQPSK ($\pi/4$ Differential Quaternary Phase Shift Keying) e transmitidos no canal de tráfego.

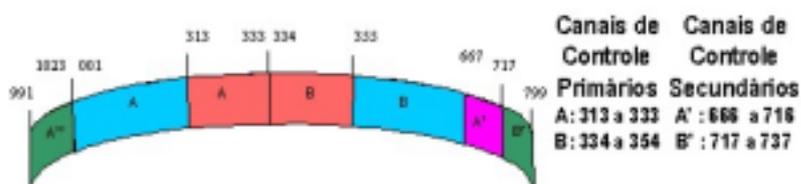
DCCH - Digital Control Channel

Esses canais não são dedicados a nenhum usuário em particular e são utilizados para troca de mensagens e dados do sistema. Quando foi implantado o TDMA (IS-54), o canal de controle tinha quase as mesmas características do canal de controle AMPS com exceção de algumas mensagens. Esse canal de controle é modulado em FSK e transmite dados digitais. Na versão IS-136 o canal de controle passou a ser modulado em $\pi/4$ DQPSK promovendo maior velocidade e serviços adicionais como por exemplo, mensagem e e mail, este é o DCCH. O canal de controle AMPS/IS-54, apesar de ser digital FSK, por ser característico do sistema analógico é chamado de Canal de Controle Analógico (ACCH - Analog Control Channel).

Os canais DCCH e ACCH contém principalmente:

- Mensagem de Overhead - dados gerais do sistema, de interesse de todos os usuários (SID, DCC e Etc.)
- Paging - Busca de um usuário para receber uma chamada
- Access - Acesso de um usuário para originar uma chamada.

A figura 12 mostra os canais de controle e tráfego na faixa de 800MHz. Com o aumento da capacidade do sistema digital os canais de controle primários se tornaram insuficientes, então se passou a utilizar as bandas A' e B' para canais de controle. As bandas A B e A" são usadas para canais de tráfego.



5 NAM - NUMERICAL ASSIGNMENT MODULE

Em uma EM são gravados numa memória EPROM ou EEPROM alguns códigos que identificam o aparelho e o sistema ao qual este está associado. Esta programação é chamada de Nam (Programação Numérica de Assinante) e os principais códigos são o ESN, MIN e SID, que serão descritos a seguir.

ESN - Electronic Serial Number

A unidade do usuário possui um número serial de 32 bits que identifica esta estação em qualquer sistema, haverá somente uma EM em todo o mundo com um determinado ESN. Esse número é gravado na fábrica e não pode ser alterado posteriormente. O móvel deve transmitir para a ERB seu ESN em várias situações (num access, paging, serviços de mensagens e etc.), para que a central, conferindo o serial number cadastrado em sua base de dados, possa proteger contra fraudes o sistema.

O ESN é formado por dois números

- Serial Number: 18 primeiros bits, identificam a unidade móvel;
- MFR Code (Manufacturer Code): 8 últimos bits, identificam o fabricante da unidade móvel;

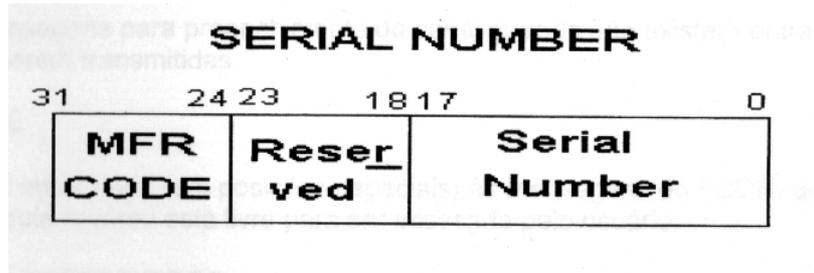


FIG. 13 - ESN.

Fonte: SILVA FILHO, Witalaelkes Francisco da. *Telefonia Celular*. Belo Horizonte, Senai, 1998. pág. 27.

Mobile Identification Number - MIN

Número de 10 dígitos que é derivado do número de habilitação e o representa. Por exemplo, em Minas Gerais o MIN é formado pelo código de área e o número de habilitação sem o primeiro 9. Assim se um número de telefone for (032) 9123 4567 o MIN ficará 0321234567.

O MIN pode ser reprogramado uma vez que deve ser dado ao usuário o direito de habilitar o seu celular em qualquer operadora quando quiser.

SID

System Identification Code – número de 5 dígitos que identifica a CCC. Também pode ser reprogramado.

6 MENSAGENS DO SISTEMA

As mensagens do sistema são aquelas usadas para sinalização e controle do mesmo. Elas ocorrem tanto no canal de controle quanto no canal de tráfego, sendo o primeiro dedicado somente a elas. As mensagens no canal de tráfego são as necessárias durante a chamada como controle de potência da EM, processo de handoff e etc. No AMPS, como no AVCH a voz está modulada em frequência, o único modo de transmissão de dados é a interrupção da voz por 0,1032 segundos e transmissão dos Data bursts (surtos de dados modulados em FSK), já no TDMA a voz não é interrompida para a transmissão dos dados uma vez que os slots dos usuários têm capacidade para transmissão simultânea dos dados do sistema e da voz codificada.

6.1 MENSAGENS DO FCCH (CANAL DE CONTROLE DIRETO)

São mensagens no sentido ERB-móvel com a função de controle. Estas mensagens são as de overhead, para controle de todas as EMs sem distinção entre elas, e as mensagens próprias de cada EM.

Mensagens de Overhead

As mensagens de overhead contêm dados do sistema e são repassadas a todas as unidades móveis ativas presentes na área de serviço, carregando as seguintes informações:

- Identificação do Sistema (SID)
- DCC para identificar canal de controle
- Outras mensagens do sistema.

DCC

Nos canais de controle, juntamente com outros dados de controle do sistema é transmitida uma seqüência de sete bits chamada de Código Digital de Cor ou DCC - Digital Color Code. A função do DCC é identificar um cluster entre os demais, através dele a EM irá diferenciar o sinal de um canal de controle no qual está sintonizado do co-canal de outro cluster. O DCC tem quatro valores distintos:

DCC1 - 0000000

DCC2 - 0011111

DCC3 - 1100011

DCC4 - 1111100



FIG.14 - DCC

Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld050.htm>

Menagens de controle da Estação Móvel

Contém informações direcionadas a uma determinada EM:

- Dados de busca como: MIN, Número do Canal Inicial de Tráfego (ITCD - Initial Traffic Channel Designed).
- Potência de transmissão da EM no canal de tráfego.
- Paging (recebimento de chamada)
- Ordem

6.2 MENSAGENS DO RCCH (CANAL DE CONTROLE REVERSO)

São as mensagens de controle no sentido móvel-ERB. São elas:

- Mensagem de originação de chamada (access)
- Resposta ao paging
- Resposta a recebimento de ordem
- Ordem

Bit Busy/Idle (ocupado/livre)

É um bit adicionado (em posições especiais) às mensagens do FCCH, que indica se o canal de controle reverso está livre para ser acessado pelo usuário. Quando setado o canal está livre, quando em 0 o canal está ocupado.

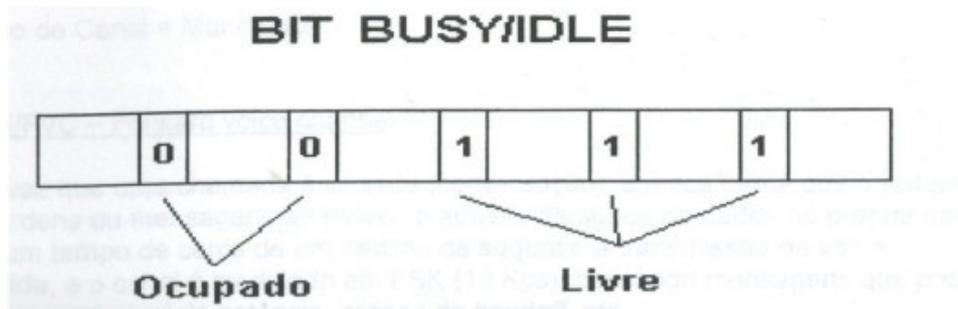


FIG.15 - Bit Busy/Idle

Fonte: SILVA FILHO, Witalaelkes Francisco da. *Telefonia Celular*. Belo Horizonte, Senai, 1998. pág. 30.

7 ORIGINAÇÃO DE CHAMADAS

- Pelo sistema (paging)

Ao ser ligado, o celular procura serviço buscando no canal de controle o SID que nele foi programado, encontrando, ele envia à ERB o seu ESN e seu MIN para que seja feito seu registro no sistema. A partir deste momento a CCC saberá em qual célula e canal de controle o móvel está sintonizado. O celular passará a periodicamente ler o canal de controle, a fim de receber uma mensagem que o sistema poderá lhe enviar.

Se alguém telefonar para este celular, a CCC lerá em seu banco de dados que o móvel está ativo (ligado) no sistema e em qual célula está localizado. Então a CCC ordena a ERB que envie uma mensagem de paging para o móvel e define qual será o canal de tráfego utilizado. O móvel sinaliza no canal de controle reverso a confirmação da ordem e sintoniza no canal de tráfego estabelecido. A ERB envia à EM, via canal de tráfego, a mensagem de alerta, então a EM alerta o usuário com campainha, vibrador e outros. Se o usuário atender, a conversação estará estabelecida.

Se este móvel se afasta da ERB e se aproxima de outra com sinal agora mais forte, o celular e a ERB farão medidas de RSSI para definir qual canal está mais propício para o handoff. O móvel usa os slots que não está recebendo informação

para ler outros canais, medir suas potências e auxiliar o handoff. Ao decidirem o canal, a EM o sintoniza e espera que a ERB transmita o primeiro slot pois é ela que sincroniza a comunicação. A EM transmite 45 dibits (pares de bits) depois da ERB e assim é mantida a comunicação entre ERB e EM.

A liberação da chamada é feita tanto pelo usuário do móvel quanto pelo usuário da RTPC. Quando um ou outro liberar a chamada, a comunicação entre ERB e EM via canal de tráfego será desfeita e o móvel voltará a sintonizar e monitorar o canal de controle.

- Pelo móvel (access)

O usuário, digita o número desejado e tecla send. O móvel lerá o bit busy/idle do canal de controle direto para observar se o reverso está ou não disponível, observando que esteja, envia no canal de controle reverso o pedido de access. A ERB envia a mensagem de pedido de access a CCC que define qual será o canal de tráfego e faz a ligação com a RTFC. A ERB envia ao móvel uma mensagem de confirmação do pedido de access e o canal de tráfego definido pela CCC. A ERB transmite o primeiro slot e é feito o sincronismo entre a ERB e o móvel.

Daqui em diante tudo segue como na originação pelo sistema.

8 ESTAÇÃO MÓVEL

As funções lógicas de uma estação móvel são:

- Prover a interface entre o usuário e o sistema;
- Converter sinais de áudio em sinais de RF e vice-versa;
- Decodificar ordens e sinalização da ERB, como sintonizar um canal designado, alertar o usuário sobre chamadas, alertar o sistema sobre tentativas de originar chamadas, liberar chamadas e etc;
- Efetuar a varredura dos canais de controle e identificação do mais forte para sintonia;

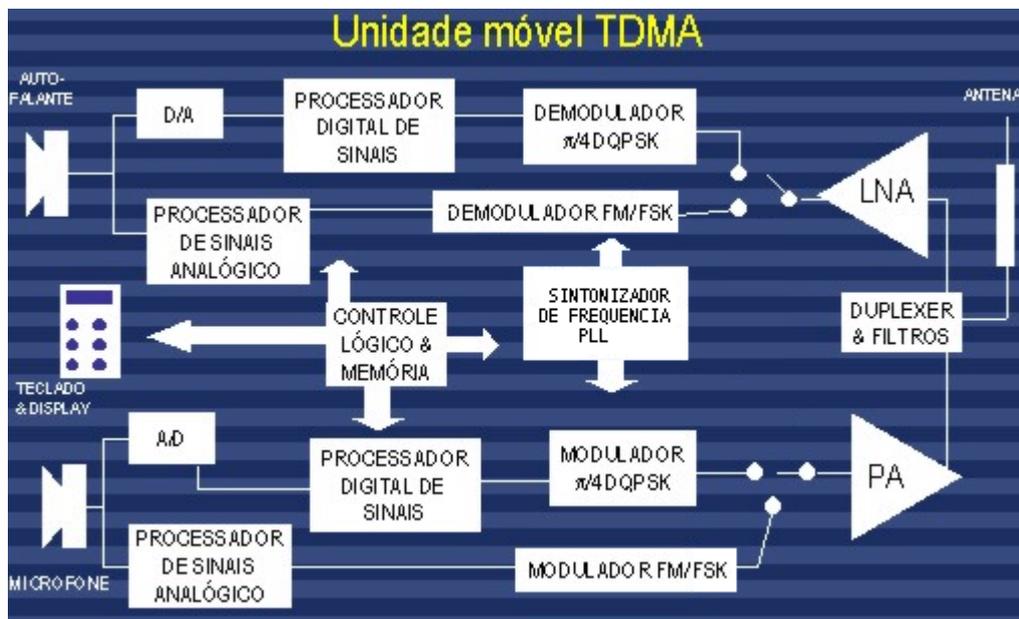


FIG.16 - Blocos da Estação Móvel
 Fonte: <http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/sld066.htm>

As estações móveis possuem 3 blocos funcionais:

1- Bloco de Interação com o usuário (Handset)

Este bloco executa a interface com o usuário e é composto pelo microfone, alto-falante, teclado, display e indicadores de processo de chamada.

2- Bloco Lógico

É composto pelos microprocessadores e memórias e tem a função de sinalizar controle para a ERB e controlar os blocos de Handset e Rádio.

3- Bloco de Rádio

A função do bloco de rádio é promover a comunicação com a ERB. O bloco de rádio é formado pelo circuito transmissor, circuito receptor e circuito seletor de canais.

8.1 O CIRCUITO RECEPTOR

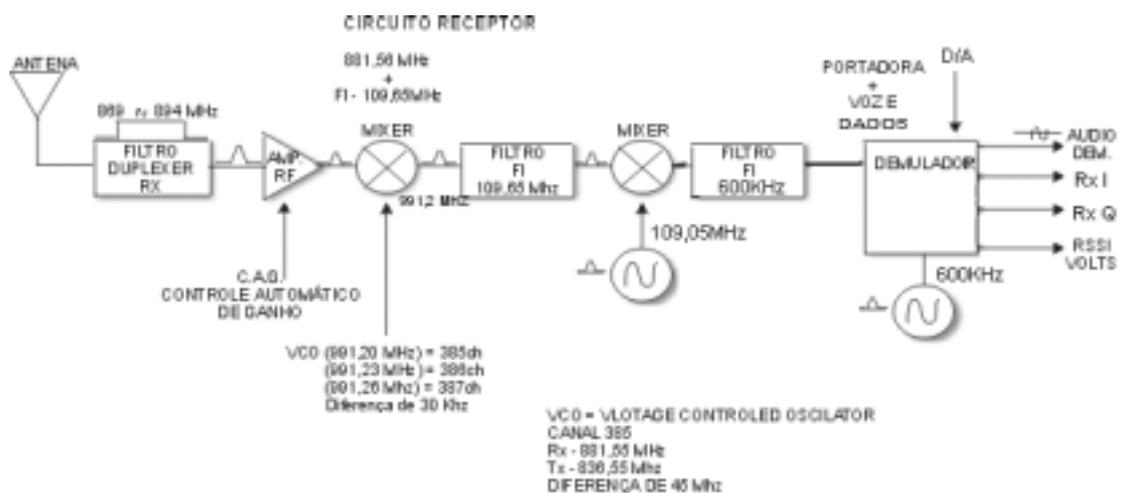


FIG. 17 - Receptor de uma EM
 Fonte: <http://www.senwt.hpg.ig.com.br/index.htm>

O circuito receptor tem a função de amplificar e demodular o sinal que chega à antena. Neste circuito, primeiramente se encontra a antena e o filtro Duplex que são comuns ao sistema de recepção e transmissão. O sinal que chega à antena é filtrado pelo duplex deixando passar a faixa de 869MHz a 894MHz, que é a faixa dos canais diretos. O duplex separa os sinais de transmissão e recepção uma vez que ambos estão presentes na antena. Filtrado, o sinal é amplificado no LNA - Amplificador de Baixo Ruído - o qual recebe o sinal C.A.G. - controle automático de ganho - que determina o nível de amplificação que o sinal deve receber.

A seguir o sinal é mixado com um sinal gerado por um oscilador controlado por tensão, este oscilador pertence ao circuito seletor de canais. A frequência deste oscilador será a frequência sintonizada mais a primeira FI que é de 109,65 MHz.

Assim, o sinal sai do primeiro mixer com FI de 109,65MHz, é filtrado e novamente mixado com um sinal de frequência de 109,05MHz produzindo uma segunda FI de 600KHz. Daí o sinal é novamente filtrado e vai para o demodulador. Este possui a entrada A/D que liga o demodulador $\pi/4$ DQPSK caso o modo seja TDMA ou liga o demodulador FSH/FM caso o modo seja AMPS ou recepção de ACCH no TDMA.

A modulação $\pi/4$ DQPSK é derivada da modulação PSK, com a vantagem da transmissão de 2 bits (dibit) a cada variação de fase da portadora. A saída do demodulador será então as saídas RxQ e RxI correspondentes ao dibit.

Quando o sistema é AMPS, a voz (FM) ou dados de controle (FSK), estarão demodulados na primeira saída (audio dem.) do bloco demodulador.

O RSSI é a medida da potência do sinal que controlará o C.A.G. e auxiliará o Handoff.

8.2 O CIRCUITO DE SINTONIA

Um PLL - Phase Locked Loop (Elo Travado em Fase) é basicamente um circuito que em conjunto com um Oscilador Controlado por Tensão - VCO, produz na saída um sinal de mesma frequência e fase de um sinal de entrada. O PLL compara dois sinais, um de referência e outro gerado pelo VCO e produz um sinal DC que é proporcional ao erro de fase dos dois sinais de entrada. Esse sinal de erro realimenta o VCO, assim ele produzirá um sinal que tem a mesma fase e frequência do sinal de referência.

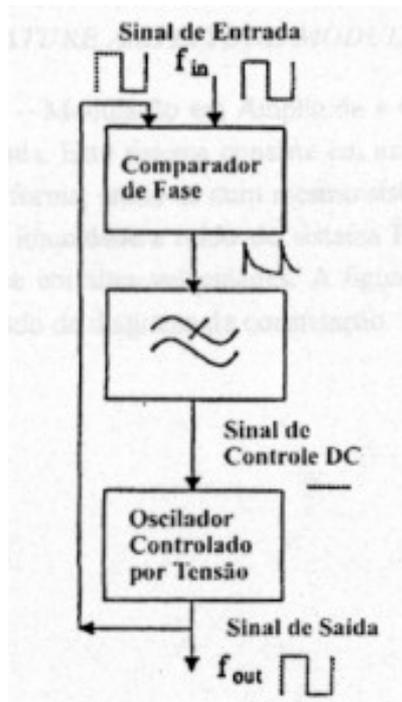


FIG.18 - Funcionamento básico do PLL

Fonte: SILVA FILHO, Witalaelkes Francisco da. *Comunicações Digitais*. Belo Horizonte, Senai, 1998. pág.

21.

Se a frequência do sinal do VCO for dividida n vezes antes de ser comparada à do sinal de referência, o VCO então produzirá uma frequência n vezes maior na sua saída. Desta forma o PLL pode ser usado como um multiplicador de frequência.

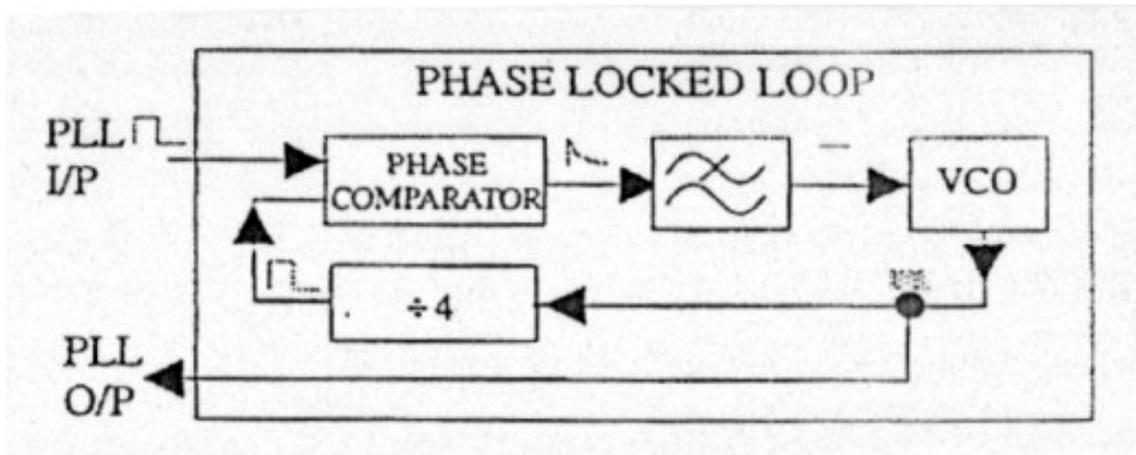


FIG. 19 - PLL como multiplicador de frequência por quatro.

Fonte: SILVA FILHO, Witalaelkes Francisco da. *Comunicações Digitais*. Belo Horizonte, Senai, 1998 pág.

22.

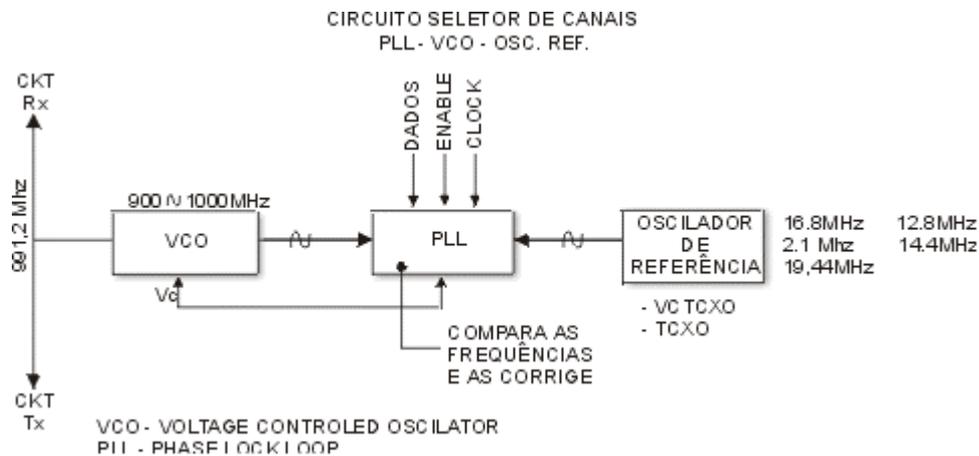


FIG. 20 - Sintonizador de uma EM.

Fonte: <http://www.senwt.hpg.ig.com.br/index.htm>

O diagrama de blocos acima (figura 20) é um circuito de sintonia de uma EM. O PLL recebe os sinais do oscilador de referência, do VCO e do bloco lógico (dados) e produz a saída vc para a realimentação do VCO. O sinal que vem do VCO é dividido por um número definido pela entrada dados; assim o circuito produz na saída do VCO um sinal de frequência multiplicada n vezes a frequência do oscilador de referência. Uma EM possui dois circuitos de sintonia, um para recepção e outro para transmissão.

8.3 O CIRCUITO DE TRANSMISSÃO

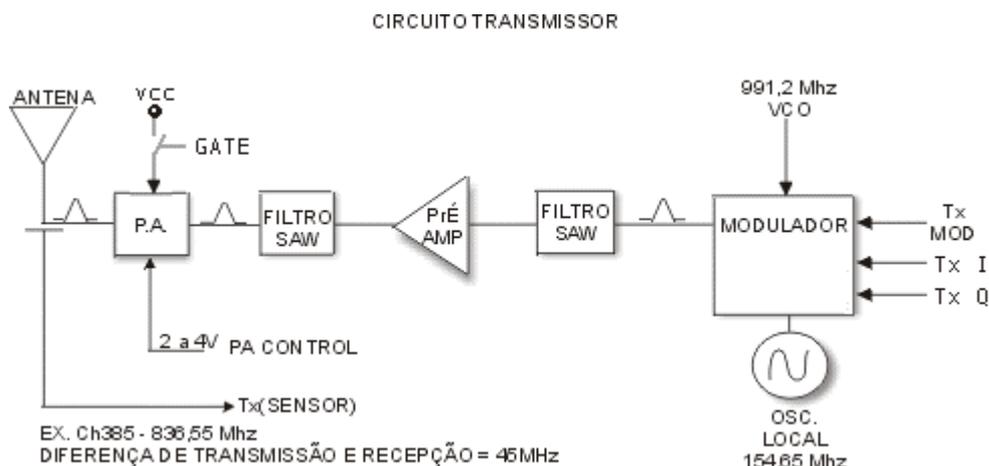


FIG.21 Circuito de transmissão de uma EM
Fonte: <http://www.senwt.hpg.com.br/index.htm>

O sinal de áudio ou controle entra no modulador pela entrada Tx Mod quando a EM está em modo AMPS; quando em modo TDMA, o sinal vem de Tx I e Tx Q. O modulador então modula o sinal na freqüência do oscilador local que é de 154,65MHz. Daí, o sinal modulado é mixado com o sinal do VCO de sintonia atingindo a freqüência do canal de transmissão desejado. Então o sinal é filtrado, pré-amplificado e entra no P.A. (Amplificador de Potência). Este circuito de amplificação deve amplificar o sinal com a potência necessária para a comunicação com a ERB obedecendo o nível máximo permitido pela Anatel que é de 2W. O PA possui uma entrada de controle (PA CONTROL na figura) que controla o nível de potência do sinal transmitido.

O PA é ligado quando o Gate é acionado. Em modo TDMA, como já foi mencionado, a EM não transmite a todo tempo, assim o Gate deve chavear para que o PA só fique ligado no tempo em que há transmissão.

A menor potência média conseguida controlando o nível de potência de transmissão e chaveamento do PA promovem a vantagem do menor consumo de bateria o que significa durabilidade da mesma para o usuário.

O sinal amplificado pelo PA passa pelo duplex e chega à antena onde é irradiado para a atmosfera.

O circuito de transmissão, sobretudo o PA, é o circuito que mais consome num celular portátil, por isso, a preocupação com a multiplexação no tempo e aumento da velocidade de transmissão a fim de que este fique o mais tempo possível desligado.

Os valores descritos nestes circuitos são utilizados em modelos reais de EM, mas fabricantes variam tais valores obedecendo sempre às especificações de cada padrão TDMA.

9 CONCLUSÃO

A tecnologia digital trouxe os maiores benefícios para a telefonia celular. Os usuários ganharam uma série de serviços adicionais, segurança, durabilidade de bateria e maior qualidade de voz. O TDMA, assim como é capacitado para comunicação por voz, pode ser facilmente adaptado para a transmissão dados, podendo transmiti-los a velocidades de 64 kbps a 120 Mbps (expansíveis em múltiplos de 64kbps). Isto permite às operadoras oferecerem serviços de comunicações pessoais incluindo fax, dados de banda de voz, serviços de pequenas mensagens bem como ampla largura de banda para aplicações como multimídia e videoconferência.

Quanto às vantagens da tecnologias digitais sobre a analógica é indiscutível a superioridade e o melhor atendimento daquelas em relação a esta, porém não há ainda a conclusão de qual tecnologia digital apresenta o melhor custo-benefício.

Os defensores do CDMA tem afirmado a eficiência da largura de banda que é 13 vezes maior do que a do TDMA e entre 20 a 40 vezes a da transmissão analógica. Além disto, eles observam que a tecnologia de divisão do espectro é mais segura e oferece maior qualidade de transmissão do que o TDMA porque aumenta a resistência conta distorção por múltiplos caminhos (é a degradação dada pela alteração na fase do sinal que chega às EMs por múltiplos caminhos graças aos fenômenos de reflexão, refração e difração).

Do outro lado os defensores do TDMA apontam que para a data não tem havido um sucesso maior comprovado da tecnologia CDMA em relação as capacidades observadas. Além disso, apontam que os teóricos melhoramentos na eficiência da largura de banda observadas no CDMA estão agora começando a ter esta diferença diminuída em relação a tecnologia TDMA que vem melhorando. A evolução do TDMA permitirá aumentar a capacidade de 20 a 40 vezes sobre o sistema analógico em um futuro próximo. Isto combinado com a tecnologia vastamente mais cara necessária para o CDMA (\$300.000 por ERB comparada a \$80.000 do TDMA) chama para uma questão qual econômica real a tecnologia CDMA pode oferecer. Assim, o IS-136 é provavelmente o caminho mais econômico da migração da rede AMPS para o sistema digital.

Ao analisarmos os benefícios de cada tecnologia, estas parecem estar equiparadas, assim as operadoras fazem escolha tanto pelo TDMA como para o CDMA. Se houver a evolução maior de alguma, ou até de outra nova, é possível que a estagnada ceda seu espaço a outra. A preocupação com a escolha da tecnologia digital que tem ocorrido está mais voltada para esta evolução, pois a atualização do

sistema da tecnologia que evoluiu, pressupõe-se menos cara que a substituição da estagnada.

O TDMA e variantes estão na liderança contra o CDMA. Aquele é utilizado nos EUA e tem representação no Japão com o Japanese Digital Cellular (JDC) e também na Europa e na Ásia com o GSM (adotado também no Brasil como o padrão da banda C). No Brasil, a maioria das operadoras preferem o TDMA. A ATL presta serviço TDMA no Rio de Janeiro e Espírito Santo utilizando a banda B enquanto a Telefônica Celular presta serviço CDMA na mesma área utilizando a banda A. Em São Paulo a Telesp presta serviço CDMA na banda A; a BCP - Telecomunicações, na banda B, serviço TDMA na capital; e a TESS presta serviço TDMA na banda B em Campinas e interior. Em Minas Gerais a Telemig Celular presta serviço TDMA na banda A e a Maxitel, também TDMA na banda B.

Por fim, a única certeza que temos é que a Telefonia Celular digital está cada vez mais difundida e popularizada num mercado de intensa ascensão. A competição entre as operadoras contribuem para a popularização e a entre fabricantes estimulam investimentos para a evolução. Esta evolução implicou maior qualidade, facilidades e serviços extras aos usuários e lucro para as operadoras que ganharam maior largura de banda. A tecnologia dominante do futuro é incerta e esta só no futuro saberemos.

10 Bibliografia

FERRARI, Antônio Martins. **Telecomunicações: evolução & revolução**. 4.ed. São Paulo, Érica, 1999.

SILVA FILHO, Witalaelkes Franscisco da. **Telefonia Celular**. Belo Horizonte, Senai, 1998.

_____. **Comunicações Digitais**. Belo Horizonte, Senai, 1998.

<http://sites.uol.com.br/hugom/AMPS-TDMA/index.htm>

<http://www.testecell.hpg.ig.com.br/tdma2.htm>

<http://www.senwt.hpg.ig.com.br/>

<http://proenca.uel.br/curso-redes-graduacao/1998/trab-05/equipe-02/tdma1.htm>

<http://www.datacell.com.br/>