**Resumo capítulo 2- A camada física**

**Transmissão de Dados:**

As informações podem ser transmitidas por fios, variando alguma propriedade física, como tensão ou corrente.

Representamos essa variação como uma função de tempo, f(t), e analisamos matematicamente seu comportamento.

**2.1.1- Análise de Fourier:**

No século XIX, o matemático francês Jean-Baptiste Fourier demonstrou que qualquer função periódica razoavelmente estável, g(t), com período T, pode ser construída como a soma de um número (possivelmente infinito) de senos e cossenos.

A decomposição dessa função em senos e cossenos é chamada de série de Fourier.

A partir da série de Fourier, podemos reconstruir a função original no tempo, conhecendo o período T e as amplitudes dos termos.

* + 1. **Largura de Banda**:
  + A largura de banda (ou **bandwidth**, em inglês) é a capacidade de transmissão de dados de um meio, como um cabo ou um espectro de rádio.
  + Ela representa a **velocidade de download e upload** em conexões de rede, como internet banda larga, redes domésticas e redes empresariais.
  + A largura de banda não é exatamente a mesma coisa que a velocidade da internet, mas está relacionada a ela.
  + É medida em **megabits por segundo (Mb/s)** ou **gigabits por segundo (Gb/s)**.
  + Analogia com estradas: Uma rodovia com várias pistas permite mais carros circularem, otimizando o tempo de viagem e evitando gargalos.
* **Influências na Largura de Banda**:
  + Vários fatores afetam a largura de banda, incluindo:
    - **Largura do barramento** (redes cabeadas ou Wi-Fi).
    - **Tecnologia de transmissão**.
    - **Rotas utilizadas pelo provedor até o servidor acessado**.
* **Impacto da Baixa Largura de Banda**:
  + Se a largura de banda for baixa, a experiência de uso piora:
    - **Navegação na web**.
    - **Transferências de arquivos**.
    - **Streaming de vídeo**.
* **Aplicação em Rádio-Frequências**:
  + A largura de banda também se aplica a:
    - **Rádio FM**.
    - **TV aberta**.
    - **Redes de celular**.
    - **Wi-Fi**.

Nesse contexto, a largura de banda não se refere apenas à velocidade em bits, mas também à **frequência em hertz** e ao **espectro** utilizado na transmissão.

**2.2- Meios de Transmissão Guiados**

Na camada física, os meios de transmissão podem ser classificados em guiados e não guiados. Vamos focar nos meios guiados:

**Par Trançado:**

Utilizado na rede de distribuição telefônica e no cabeamento estruturado.

Cabos com vários pares, identificados por um código de cores.

**Cabo Coaxial:**

Empregado em redes de distribuição de CATV (TV a cabo) e CFTV (circuitos fechados de TV).

Usado na interligação entre equipamentos de telecomunicações e nas ligações entre transmissores e antenas.

**Fibra Óptica:**

No coração de todas as redes de telecomunicações (voz, imagem e dados).

Utilizada em redes de transmissão e distribuição telefônicas, CATV e cabeamento estruturado.

Composta por um núcleo e uma casca com índices de refração diferentes.

Tendência de substituir par trançado e cabo coaxial.

**Vantagens da fibra óptica:**

Maior largura de banda: Capacidade de gerenciar larguras de banda muito maiores do que o cobre.

Menor necessidade de repetidores: Devido à baixa atenuação, os repetidores são necessários apenas a cada 50 quilômetros, em comparação com 5 quilômetros no caso do cobre, resultando em economia de custos.

Imunidade a interferências: Não é afetada por picos de tensão, interferência eletromagnética ou quedas de energia.

Resistência à corrosão: Não é afetada por alguns elementos químicos presentes em ambientes industriais desfavoráveis.

Espaço e peso: Mais fina e leve que o cobre, liberando espaço nos dutos de cabos e reduzindo a necessidade de sistemas mecânicos de suporte.

**Desvantagens da fibra óptica:**

Menos familiaridade: Requer conhecimentos específicos que nem todos os engenheiros possuem.

Sensibilidade a danos: Pode ser danificada facilmente se dobrada em excesso.

Comunicação bidirecional requer mais recursos: Exige duas fibras ou duas bandas de frequência em uma única fibra.

Interfaces mais caras: As interfaces de fibra tendem a ser mais caras do que as interfaces elétricas.

Apesar das desvantagens, o futuro das comunicações fixas para distâncias superiores a alguns metros depende cada vez mais da fibra óptica, devido às suas vantagens em termos de largura de banda, imunidade a interferências e economia de espaço.

**2.3.2 Transmissão de Rádio**

Pontos Principais sobre Transmissão de Rádio:

* **Facilidade de Geração e Penetração**: Ondas de rádio são simples de gerar e podem percorrer longas distâncias, além de penetrar facilmente em prédios, tornando-as amplamente utilizadas em comunicações tanto em ambientes fechados quanto abertos.
* **Natureza Omnidirecional**: As ondas de rádio são omnidirecionais, viajando em todas as direções a partir da origem, o que significa que não é necessário um alinhamento preciso entre transmissor e receptor.
* **Exemplo Curioso da General Motors:** Um exemplo curioso da influência das ondas de rádio ocorreu na década de 1970, quando os novos Cadillacs da General Motors foram equipados com freios controlados por computador. A fiação dos carros acabou atuando como antena, captando as frequências de rádio e causando comportamentos irregulares nos veículos.
* **Propriedades Dependentes da Frequência:** As propriedades das ondas de rádio variam com a frequência. Em baixas frequências, elas atravessam bem obstáculos, mas sofrem atenuação com a distância. Em altas frequências, tendem a viajar em linha reta e podem ricochetear em obstáculos, mas também são mais absorvidas pela chuva e outros elementos.
* **Comparação com Meios Guiados:** A atenuação das ondas de rádio é diferente daquela dos sinais em meios guiados. Enquanto estes últimos têm uma atenuação constante por unidade de distância, as ondas de rádio experimentam uma atenuação constante à medida que a distância dobra no espaço livre.
* **Controle Governamental sobre Transmissores:** Devido à capacidade das ondas de rádio de percorrer longas distâncias e à interferência entre usuários, os governos impõem um controle rigoroso sobre o licenciamento do uso de transmissores de rádio.
* **Propagação das Ondas de Rádio:** Nas bandas VLF, LF e MF, as ondas de rádio se propagam próximo ao solo, alcançando distâncias consideráveis, especialmente em frequências mais baixas.
* **Radiodifusão em AM:** A radiodifusão em frequências AM utiliza a banda MF, permitindo que as ondas de rádio atravessem facilmente prédios, o que viabiliza o funcionamento de rádios portáteis em ambientes fechados.
* **Limitações de Largura de Banda:** Apesar da facilidade de propagação, as bandas VLF, LF e MF têm baixa largura de banda, limitando a quantidade de dados que podem transmitir.
* **Propagação via Ionosfera:** Nas bandas HF e VHF, as ondas de rádio podem alcançar a ionosfera e serem refratadas de volta à Terra, possibilitando comunicações de longa distância.
* **Uso por Radioamadores e Militares:** Operadores de radioamador e militares aproveitam as bandas HF e VHF para comunicações de longa distância, especialmente quando as condições atmosféricas favorecem o ricocheteamento dos sinais.

**2.3.3- Transmissão Micro-ondas**

**Propagação Direcional das Micro-ondas:** Acima de 100 MHz, as micro-ondas trafegam em linha reta e podem ser concentradas em feixes estreitos através de antenas parabólicas, proporcionando uma alta relação sinal/ruído.

**Uso na Telefonia de Longa Distância:** Antes do advento das fibras ópticas, as micro-ondas foram amplamente utilizadas na transmissão telefônica de longa distância, como demonstrado pela antiga empresa MCI.

**Necessidade de Repetidores:** Devido à propagação em linha reta, a Terra pode interferir no trajeto das micro-ondas entre torres muito distantes, exigindo a instalação de repetidores em intervalos regulares.

**Problemas de Propagação**: As micro-ondas enfrentam problemas como o enfraquecimento por múltiplos caminhos e a absorção pela água, especialmente em frequências mais altas, requerendo precauções na instalação e roteamento.

**Economia e Versatilidade:** A comunicação por micro-ondas é econômica e oferece flexibilidade na expansão da infraestrutura, especialmente em áreas onde a instalação de cabos de fibra óptica é impraticável ou dispendiosa.

A utilização de micro-ondas continua sendo uma opção viável para a transmissão de dados em longas distâncias, oferecendo vantagens como economia, facilidade de instalação e capacidade de contornar obstáculos naturais e infraestruturais.

**A política do espectro eletromagnético**

1. **Alocação do Espectro Eletromagnético**: A distribuição das frequências do espectro é regulada por acordos nacionais e internacionais para evitar conflitos e garantir o uso eficiente.
2. **Agências Reguladoras**: Agências como a ITU-R coordenam a alocação do espectro mundialmente, enquanto órgãos governamentais nacionais, como a FCC nos Estados Unidos, fazem a alocação internamente.
3. **Métodos de Alocação**: Três métodos principais de alocação incluem concursos de beleza, sorteios e leilões. Cada um tem vantagens e desvantagens, com os leilões sendo a abordagem mais utilizada atualmente.
4. **Bandas ISM (Industrial, Scientific, Medical)**: Algumas bandas de frequência são reservadas para uso sem licença, como as bandas ISM, onde dispositivos de baixa potência podem operar sem exigir uma licença específica.
5. **Inovação nas Comunicações Sem Fio**: O uso de bandas não licenciadas estimulou a inovação em tecnologias sem fio, como o Wi-Fi e o Bluetooth, permitindo o desenvolvimento de redes locais e pessoais sem fio.
6. **Novas Oportunidades de Espectro**: A liberação de espaços vazios de frequência, como os espaços em torno de 700 MHz nos Estados Unidos, e o acesso a faixas de alta frequência, como 60 GHz, estão abrindo novas oportunidades para inovação e desenvolvimento de tecnologias sem fio de alta velocidade.

* A política do espectro eletromagnético envolve uma série de considerações técnicas, políticas e econômicas para garantir o uso eficiente do espectro de frequência e promover a inovação nas comunicações sem fio.

**2.3.4 Transmissão em Infravermelho**

1. **Uso da Comunicação por Infravermelho:** A comunicação por infravermelho é comumente utilizada em dispositivos de controle remoto para aparelhos eletrônicos, como TVs, videocassetes e equipamentos estereofônicos, devido à sua natureza direcional, econômica e fácil de montar.
2. **Limitações da Comunicação por Infravermelho:** As ondas de infravermelho não atravessam objetos sólidos, o que limita sua utilidade em ambientes onde é necessária comunicação através de paredes ou obstáculos.
3. **Segurança e Privacidade**: A incapacidade das ondas de infravermelho de atravessar objetos sólidos também garante maior segurança e privacidade, pois sistemas de infravermelho instalados em ambientes fechados não interferem em sistemas semelhantes em salas adjacentes, proporcionando uma comunicação mais segura contra bisbilhotagem.
4. **Não Requer Licença:** Diferente dos sistemas de rádio, que exigem licenciamento governamental, os sistemas de infravermelho não necessitam de licença para operar, especialmente quando utilizam bandas como as ISM.
5. **Limitações de Uso:** A comunicação por infravermelho tem uso limitado em comparação com tecnologias de rádio devido à sua incapacidade de atravessar obstáculos e sua aplicação principalmente em comunicações de curto alcance.

* Enquanto a comunicação por infravermelho é eficiente e segura para comunicação de curto alcance, suas limitações em atravessar objetos sólidos restringem seu uso em ambientes onde a comunicação através de obstáculos é necessária.

**2.3.5 Transmissão via luz**

1. **Transmissão Óptica não Guiada:** A transmissão óptica não guiada, utilizando lasers, tem sido utilizada para conectar LANs entre prédios. É uma tecnologia unidirecional que oferece alta largura de banda e é relativamente segura, pois é difícil interceptar um feixe de laser estreito.
2. **Instalação e Licenciamento:** A instalação de sistemas de transmissão óptica não requer licença governamental, ao contrário das micro-ondas. No entanto, a precisão na mira do raio laser e a necessidade de evitar condições climáticas adversas são desafios.
3. **Desafios Técnicos:** A transmissão óptica pode ser afetada por fatores como mudanças no vento, temperatura e condições climáticas. Por exemplo, o calor do sol pode causar correntes de convecção que desviam o feixe de laser.
4. **Potencial Futuro:** A comunicação óptica via luz visível pode se tornar mais predominante, especialmente com a proliferação de câmeras e telas. A codificação de informações nos padrões de luz emitidos por LEDs pode criar redes de comunicação seguras e de baixa velocidade na vizinhança imediata, permitindo uma variedade de aplicações na computação ubíqua.

Embora a transmissão óptica não guiada tenha desafios técnicos, como precisão na mira do raio laser e sensibilidade às condições climáticas, seu potencial futuro, especialmente na comunicação via luz visível, é promissor para uma variedade de aplicações.

**2.4 Satélites de comunicação**

1. **Origens dos Satélites de Comunicações**: As primeiras tentativas de comunicação via satélite envolviam sinais refletidos em balões meteorológicos, porém, eram pouco práticos devido à fraqueza dos sinais recebidos. A Marinha dos Estados Unidos utilizou a Lua como um "satélite natural" para comunicações entre navios e bases.
2. **Satélites Artificiais de Comunicações**: A verdadeira revolução veio com o lançamento do primeiro satélite de comunicações artificial. A principal diferença entre um satélite artificial e um real é que o artificial amplifica os sinais antes de enviá-los de volta, transformando a curiosidade em um sistema avançado de comunicações.
3. **Propriedades dos Satélites de Comunicações**: Os satélites de comunicações funcionam como grandes repetidores de micro-ondas no céu. Eles possuem transponders que amplificam os sinais de entrada e os retransmitem em outra frequência para evitar interferência. Alguns satélites podem ter processamento digital para manipular os dados ou retransmiti-los separadamente.
4. **Órbitas dos Satélites de Comunicações**: A escolha da órbita do satélite é crucial. Os satélites de órbita baixa têm um período orbital curto e saem rapidamente do campo de visão, exigindo muitos satélites para cobertura contínua. Os cinturões de Van Allen, camadas de partículas carregadas ao redor da Terra, representam uma ameaça para satélites em órbitas mais baixas.
5. **Regiões Seguras para Posicionamento de Satélites**: Existem três regiões principais onde os satélites podem ser posicionados com segurança: órbita geossíncrona (GEO), órbita terrestre média (MEO) e órbita terrestre baixa (LEO). Cada uma tem suas próprias características e aplicações específicas.

Em resumo, os satélites de comunicações desempenham um papel crucial na infraestrutura de comunicações global, oferecendo amplificação de sinal e retransmissão para uma variedade de aplicações. A escolha da órbita e a consideração dos desafios físicos são essenciais para o posicionamento seguro e eficaz dos satélites.

**2.4.1 Satélites Geoestacionários**

1. **Origem dos Satélites Geoestacionários**: Em 1945, Arthur C. Clarke propôs a ideia de satélites geoestacionários para comunicações. No entanto, a tecnologia da época não permitia sua viabilidade. Com o advento do transistor, essa ideia se tornou possível, e o primeiro satélite artificial de comunicações, o Telstar, foi lançado em 1962.
2. **Funcionamento e Características dos Satélites Geoestacionários**:
   * **Órbita e Cobertura**: Os satélites geoestacionários estão localizados em uma órbita equatorial fixa a uma altitude de 35.800 km, aparentemente imóveis em relação à Terra. Cada satélite pode cobrir cerca de um terço da superfície da Terra.
   * **Distribuição de Slots de Órbita**: Os slots de órbita para satélites geoestacionários são alocados pela União Internacional de Telecomunicações (ITU), e o processo é altamente político devido aos interesses de diversos países e organizações.
   * **Tamanho e Consumo de Energia**: Os satélites modernos podem pesar até 5.000 kg e consumir vários quilowatts de energia elétrica dos painéis solares.
   * **Manutenção e Desativação**: Os satélites precisam de ajustes periódicos devido aos efeitos da gravidade solar, lunar e planetária. Quando o combustível se esgota, eles são desativados e eventualmente reentram na atmosfera terrestre.
   * **Banda de Frequência**: As transmissões de satélites para a Terra interferem com usuários de micro-ondas, então a ITU alocou bandas de frequência específicas para uso satelital, como as bandas C, L, S, Ku e Ka.
3. **Tecnologias e Aplicações**:
   * **Transponders e VSATs**: Os satélites possuem transponders que ampliam sinais e os retransmitem. Os VSATs (Very Small Aperture Terminals) são microestações de baixo custo que se comunicam com o satélite através de uma estação terrestre especial, chamada de hub.
   * **Atraso de Propagação**: Os satélites introduzem um atraso substancial devido à longa distância de ida e volta, geralmente entre 250 e 300 ms para satélites geoestacionários.
   * **Propriedades de Difusão**: Os satélites são meios de difusão, permitindo que uma mensagem seja enviada para várias estações simultaneamente, independentemente da distância.
   * **Custo de Transmissão e Segurança**: O custo de transmissão de uma mensagem via satélite é independente da distância percorrida. No entanto, a segurança e a privacidade podem ser comprometidas, exigindo criptografia para proteger informações sensíveis.
   * Os satélites geoestacionários desempenham um papel crucial na comunicação global, oferecendo ampla cobertura e conectividade em áreas remotas e urbanas. Suas características e tecnologias subjacentes moldaram significativamente a infraestrutura de comunicações moderna.
     1. **Satélites de Órbita Média (MEO)**:
   * Localizados entre os dois cinturões de Van Allen, os satélites MEO operam em altitudes mais baixas que os GEOs.
   * Esses satélites se movem mais lentamente em relação à Terra, levando cerca de seis horas para completar uma órbita.
   * Devido à sua órbita mais baixa, os satélites MEO têm uma área de cobertura menor no solo em comparação com os GEOs.
   * Atualmente, os satélites MEO não são utilizados para comunicações, mas um exemplo conhecido de satélites MEO são os trinta satélites do Sistema de Posicionamento Global (GPS), que operam a uma altitude de cerca de 20.200 km.

* Os satélites MEO, como os do sistema GPS, desempenham um papel crucial na prestação de serviços de navegação e posicionamento global, mas não são amplamente utilizados para comunicações devido à sua área de cobertura menor e outras limitações associadas à sua órbita mais baixa.

**2.4.3- Satélites de Órbita Baixa (LEO)**:

* + Esses satélites estão localizados a altitudes menores em comparação com os geoestacionários, resultando em menor atraso de ida e volta e custos de lançamento mais baixos.
  + Devido ao seu rápido movimento, são necessários grandes números desses satélites para manter uma cobertura constante.

1. **Exemplos de Constelações de Satélites LEO**:
   * **Projeto Iridium**: Iniciado pela Motorola, propunha uma constelação inicialmente com 77 satélites, posteriormente reduzida para 66. Os satélites foram posicionados em órbitas polares circulares a uma altitude de 750 km.
   * **Projeto Globalstar**: Baseado em 48 satélites LEO, o Globalstar utiliza um esquema de comutação diferente do Iridium, roteando as chamadas por uma rede terrestre em vez de transmiti-las diretamente de satélite para satélite.
2. **Funcionamento do Iridium**:
   * Os satélites Iridium formam seis eixos em torno da Terra, com um satélite a cada 32 graus de latitude.
   * A comunicação entre clientes distantes ocorre via satélite, com os satélites repassando as chamadas por uma grade até alcançar o destinatário.
3. **Satélites em Miniatura e CubeSats**:
   * Acadêmicos de Cal Poly e Stanford desenvolveram CubeSats, satélites em unidades de cubos de 10 cm · 10 cm · 10 cm, pesando menos de 1 kg.
   * Esses CubeSats são lançados a partir de um disparador associado que reduz significativamente os custos de lançamento, tornando a pesquisa espacial mais acessível.

* Os satélites de órbita baixa desempenham um papel importante em proporcionar serviços de comunicação global, com constelações como o Iridium e o Globalstar atendendo a uma variedade de necessidades de comunicação em diferentes regiões do mundo. Além disso, os CubeSats oferecem uma alternativa econômica para lançamentos espaciais, facilitando a pesquisa e o desenvolvimento no espaço.

**2.4.4 Comparação entre satélites e fibra óptica**

1. **Comunicações por Satélite vs. Terrestres (Fibra Óptica)**:
   * No passado, os satélites de comunicações eram considerados o futuro das comunicações devido à lentidão das mudanças no sistema telefônico.
   * No entanto, com o surgimento da concorrência e o avanço tecnológico, as empresas de telecomunicações começaram a substituir suas redes de longa distância por fibra óptica, oferecendo serviços de alta largura de banda.
   * As conexões terrestres de fibra óptica passaram a ser vistas como a melhor opção a longo prazo devido a custos mais baixos e maior largura de banda.
   * Apesar disso, os satélites de comunicações ainda têm segmentos de mercado importantes que a fibra óptica não consegue alcançar.
   * Os satélites são preferíveis em situações que exigem implantação rápida, como comunicações militares em tempos de guerra e resposta a desastres.
   * Além disso, os satélites são ideais para difusão, permitindo que uma mensagem seja recebida por milhares de estações terrestres simultaneamente, o que é útil para transmissões de TV e rádio.
   * Em áreas onde a infraestrutura terrestre é subdesenvolvida, os satélites são uma solução viável, oferecendo comunicação em locais remotos e em movimento, como no mar ou no deserto.

* No geral, embora as comunicações terrestres por fibra óptica pareçam ser o caminho para o futuro devido à sua largura de banda e custo relativamente baixo, os satélites ainda têm seu lugar em aplicações específicas onde a implantação rápida, a difusão e a comunicação em áreas remotas são essenciais. O mercado de comunicações provavelmente verá uma competição acirrada entre satélites e fibra óptica, com avanços tecnológicos potenciais que podem alterar o equilíbrio competitivo.

**2.5 Modulação Digital e Multiplexação:**

1. **Modulação Digital**:
   * Para enviar informações digitais através de canais com fio e sem fio, é necessário converter os bits em sinais que representam esses bits. Esse processo é chamado de modulação digital.
   * Existem dois tipos principais de modulação digital: transmissão de banda base e transmissão de banda passante.
   * Na transmissão de banda base, o sinal ocupa frequências desde zero até um máximo determinado pela taxa de sinalização. É comum em fios.
   * Na transmissão de banda passante, o sinal é modulado em amplitude, fase ou frequência da portadora e ocupa uma banda de frequências em torno da frequência da portadora. É comum em canais sem fio e ópticos.
2. **Multiplexação**:
   * Os canais são frequentemente compartilhados por vários sinais para maximizar a eficiência. Esse processo é chamado de multiplexação.
   * Existem diferentes métodos de multiplexação, incluindo:
     + Multiplexação por divisão de tempo (TDM), onde diferentes sinais são transmitidos em intervalos de tempo distintos.
     + Multiplexação por divisão de frequência (FDM), onde diferentes sinais são transmitidos em frequências diferentes.
     + Multiplexação por divisão de código (CDM), onde diferentes sinais são codificados com códigos únicos e transmitidos simultaneamente.

* Essas técnicas de modulação e multiplexação são amplamente utilizadas em diversos tipos de canais de comunicação, incluindo fios, fibra óptica, canais terrestres sem fio e por satélite. Elas são essenciais para otimizar a utilização do espectro e permitir a transmissão eficiente de múltiplos sinais através de um único canal.

**2.5.1- Transmissão em Banda Base**

Na transmissão em banda base, a forma mais simples de modulação digital é o esquema NRZ (Non-Return-to-Zero), que usa uma representação direta dos bits através de sinais de tensão ou luz. Aqui estão alguns pontos importantes sobre a transmissão em banda base usando NRZ:

1. **Codificação NRZ**:
   * No esquema NRZ, uma tensão positiva representa o bit 1, enquanto uma tensão negativa representa o bit 0. Para fibras ópticas, a presença de luz pode ser usada para representar 1, e a ausência de luz representa 0.
   * O termo "Non-Return-to-Zero" significa que o sinal permanece constante enquanto o bit está sendo transmitido, não retornando a zero durante o intervalo de um bit. Isso facilita a sincronização, mas pode resultar em uma corrente contínua (DC) se houver muitos bits consecutivos do mesmo valor.
2. **Propagação e Recepção**:
   * O sinal NRZ é transmitido pelo canal (como um fio ou uma fibra óptica) e chega ao receptor.
   * No receptor, o sinal é amostrado em intervalos regulares de tempo para recuperar os bits originais. No entanto, devido a distorções e atenuação no canal, o sinal recebido pode estar enfraquecido e distorcido.
3. **Decodificação**:
   * Para decodificar os bits, o receptor compara as amostras de sinal recebidas com níveis de limiar. Por exemplo, uma tensão positiva pode ser interpretada como um bit 1, e uma tensão negativa como um bit 0.
   * No entanto, devido às distorções e ao ruído, pode haver erros na interpretação dos bits, especialmente em transmissões de longa distância ou em condições de ruído elevado.
4. **Limitações e Complexidade**:
   * Embora o NRZ seja simples, na prática ele é raramente usado sozinho devido a algumas limitações, como a presença de corrente contínua e problemas de sincronização.
   * Esquemas mais complexos, como os códigos de linha, são frequentemente utilizados para melhorar a eficiência de largura de banda, facilitar a recuperação do clock e lidar com problemas de corrente contínua.

Em resumo, a transmissão em banda base utilizando NRZ é um método simples para representar bits através de sinais de tensão ou luz, mas pode enfrentar desafios devido a distorções e ruído no canal.

**Recuperação do clock**

A eficiência da largura de banda na transmissão de sinais digitais é crucial para maximizar a taxa de transmissão sem comprometer a qualidade do sinal. Aqui estão alguns pontos importantes sobre a eficiência da largura de banda:

1. **Utilização do NRZ**:
   * Com o esquema NRZ, o sinal pode alternar entre os níveis positivo e negativo a cada 2 bits. Isso significa que a largura de banda necessária é pelo menos metade da taxa de bits (B/2 Hz), de acordo com a taxa de Nyquist.
   * No entanto, o NRZ atinge rapidamente um limite de largura de banda devido à sua taxa de mudança de sinal.
2. **Estratégia de Utilização Eficiente**:
   * Uma estratégia para utilizar a largura de banda de forma mais eficiente é usar mais de dois níveis de sinalização. Por exemplo, usando quatro voltagens, podemos enviar 2 bits como um único símbolo.
   * Isso reduz a taxa em que o sinal muda (taxa de símbolos), permitindo que a largura de banda necessária seja reduzida.
3. **Taxa de Símbolos e Taxa Baud**:
   * A taxa em que o sinal muda é chamada de taxa de símbolos, ou antigamente, taxa baud. É importante distinguir essa taxa da taxa de bits.
   * A taxa de símbolos é a taxa de bits dividida pelo número de bits por símbolo. O termo "baud" é usado principalmente no contexto de dispositivos como modems de telefone.
4. **Número de Níveis de Sinal**:
   * O número de níveis de sinal não precisa ser uma potência de dois. Normalmente, alguns níveis são usados para fins como detecção e correção de erros, e simplificação do projeto do receptor.

Em resumo, a utilização eficiente da largura de banda é essencial para maximizar a taxa de transmissão de dados digitais. Estratégias como o uso de mais níveis de sinalização podem reduzir a largura de banda necessária, aumentando assim a eficiência do sistema de comunicação.

**Recuperação de clock**

A recuperação de clock é essencial na transmissão de dados digitais para garantir que o receptor possa decodificar os bits corretamente. Aqui estão algumas estratégias comuns para lidar com esse problema:

1. **Clock Separado:**
   * Uma abordagem é enviar um sinal de clock separado para o receptor. No entanto, isso requer uma linha extra e pode não ser eficiente em termos de largura de banda.
2. **Codificação Manchester:**
   * Na codificação Manchester, o sinal de clock é misturado com os dados através da operação XOR. Cada transição de nível no sinal representa um bit, tornando mais fácil para o receptor manter a sincronização. No entanto, essa abordagem requer o dobro da largura de banda em comparação com NRZ devido à inclusão do clock.
3. **Codificação NRZI (Non-Return-to-Zero Inverted):**
   * Na codificação NRZI, um 1 é representado por uma transição e um 0 por nenhuma transição. Isso ajuda a evitar problemas de recuperação de clock para longas sequências de 1s ou 0s. Exemplos incluem o padrão USB.
4. **Codificação 4B/5B:**
   * Nesta codificação, cada sequência de 4 bits é mapeada para uma sequência de 5 bits, garantindo que não haja mais do que três 0s consecutivos. Isso ajuda a resolver problemas com longas sequências de 0s, mas adiciona overhead.
5. **Embaralhamento (Scrambling):**
   * O embaralhamento envolve realizar o XOR dos dados com uma sequência pseudoaleatória antes da transmissão. Isso ajuda a garantir transições frequentes no sinal, evitando longas sequências de 0s ou 1s. No entanto, pode haver problemas se os dados se assemelharem à sequência pseudoaleatória, resultando em sequências longas e indesejadas.

* Cada uma dessas técnicas tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha entre elas depende das necessidades específicas do sistema de comunicação e dos compromissos entre largura de banda, complexidade e robustez contra erros.

**Sinais Balanceados**

Os sinais balanceados são aqueles que possuem tanto tensão positiva quanto negativa, garantindo que sua média seja zero. Aqui estão algumas características e benefícios dos sinais balanceados:

1. **Ausência de Componente CC**:
   * Os sinais balanceados têm uma média de zero, o que significa que não possuem um componente elétrico contínuo (CC). Isso é vantajoso porque alguns tipos de canais, como cabos coaxiais e linhas com transformadores, atenuam significativamente o componente CC.
2. **Transições para Recuperação de Clock**:
   * A presença de tensões positivas e negativas nos sinais balanceados proporciona transições frequentes, facilitando a recuperação de clock no receptor.
3. **Calibração Simples de Receptor**:
   * A média do sinal balanceado pode ser usada como um limiar de decisão para decodificar símbolos. Isso simplifica a calibração do receptor, garantindo uma interpretação precisa dos dados.
4. **Codificação Bipolar**:
   * Uma maneira comum de gerar sinais balanceados é usar codificação bipolar, onde dois níveis de tensão são usados para representar um '1' lógico (+1 V ou -1 V), enquanto 0 V representa um '0' lógico. Isso garante que a média do sinal seja zero.
5. **Codificação 8B/10B**:
   * Outro exemplo de código balanceado é o 8B/10B, onde 8 bits de entrada são mapeados para 10 bits de saída, garantindo equilíbrio e transições adequadas para a recuperação de clock. Este código é eficiente em termos de largura de banda e ajuda a evitar longas sequências de 0s ou 1s, o que facilita a sincronização do receptor.

**2.5.2 Transmissão em banda passante**

Na transmissão em banda passante, diferentes técnicas de modulação são utilizadas para enviar informações por um canal. Aqui estão alguns métodos comuns de modulação digital utilizados nesse contexto:

1. **Amplitude Shift Keying (ASK)**:
   * No ASK, duas amplitudes diferentes são utilizadas para representar os bits 0 e 1. Um exemplo simples desse esquema pode ser visto onde um nível diferente de zero representa um 1, enquanto outro zero representa um 0.
2. **Frequency Shift Keying (FSK)**:
   * No FSK, dois ou mais tons diferentes são utilizados para representar os bits. Por exemplo, dois tons diferentes de frequência podem ser usados, onde cada tom representa um bit diferente.
3. **Phase Shift Keying (PSK)**:
   * No PSK, a fase da onda da portadora é alterada para representar os bits. Na forma mais simples, conhecida como Binary PSK (BPSK), a fase é alterada em 0 ou 180 graus para representar os bits 0 e 1. Versões mais complexas, como Quadrature PSK (QPSK), usam múltiplos deslocamentos de fase para transmitir vários bits por símbolo.
4. **Quadrature Amplitude Modulation (QAM)**:
   * Na modulação QAM, a amplitude e a fase da onda portadora são moduladas simultaneamente para representar múltiplos bits por símbolo. O diagrama de constelação é usado para representar as combinações de amplitude e fase associadas a cada símbolo. Esquemas comuns incluem QAM-16 e QAM-64, onde 16 e 64 combinações de amplitude e fase são utilizadas, respectivamente, permitindo a transmissão de 4 e 6 bits por símbolo.

Além disso, o código Gray é frequentemente utilizado para mapear entre os bits e os símbolos da constelação, garantindo que símbolos adjacentes difiram em apenas 1 posição de bit, reduzindo assim o potencial de erros de decodificação em caso de ruído no receptor. Este método é especialmente importante em esquemas de modulação como QAM, onde muitos bits são representados por cada símbolo.

**2.5.3-Multiplexação por divisão de Frequência**

A multiplexação por divisão de frequência (FDM) é uma técnica que divide o espectro de frequência em várias bandas, permitindo que diferentes sinais ocupem diferentes partes do espectro. Aqui estão algumas características e exemplos de aplicação da FDM:

1. **Transmissão de rádio AM**:
   * Um exemplo clássico de FDM é a transmissão de rádio AM, onde diferentes frequências são alocadas a diferentes estações de rádio. Cada estação opera em uma parte específica do espectro para evitar interferências entre elas.
2. **Multiplexação de chamadas telefônicas**:
   * No sistema telefônico tradicional, múltiplas chamadas telefônicas podem ser multiplexadas usando FDM. Cada chamada é atribuída a uma banda de frequência específica, permitindo que várias chamadas ocorram simultaneamente em uma única linha.
3. **Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)**:
   * A OFDM é uma forma avançada de FDM amplamente utilizada em redes de comunicação modernas. Nesse método, a largura de banda do canal é dividida em várias subportadoras, cada uma transportando dados independentes. As subportadoras são projetadas para serem ortogonais entre si, o que significa que não interferem umas com as outras. A OFDM é usada em uma variedade de sistemas, incluindo redes sem fio, redes a cabo e sistemas celulares de quarta geração.
4. **Vantagens da FDM**:
   * A FDM é eficaz para compartilhar largura de banda entre diferentes sinais, permitindo que múltiplos usuários ou canais transmitam simultaneamente em uma única linha ou meio de transmissão.
   * Permite uma utilização eficiente do espectro de frequência, garantindo que diferentes sinais possam coexistir sem causar interferências significativas entre si.
   * A FDM é especialmente útil em ambientes onde as bandas de frequência são limitadas e precisam ser compartilhadas entre múltiplos usuários ou serviços.

**2.5.4 Multiplexação por divisão de tempo**

A multiplexação por divisão de tempo (TDM) é uma técnica que permite a transmissão de múltiplos fluxos de dados através de um único canal, onde cada fluxo de dados utiliza a largura de banda do canal durante períodos de tempo específicos. Aqui estão alguns pontos importantes sobre TDM:

1. **Funcionamento da TDM**:
   * Na TDM, os usuários alternam-se em períodos de tempo pré-definidos, enviando seus dados em uma sequência fixa. Cada usuário tem acesso exclusivo ao canal durante o seu período de tempo alocado.
   * Os dados de cada usuário são apanhados em intervalos de tempo fixos e combinados em um único fluxo de dados, que é transmitido através do canal compartilhado.
   * Para garantir que os fluxos de dados individuais estejam sincronizados no tempo, pequenos intervalos de tempo de proteção podem ser adicionados para acomodar variações na sincronização.
2. **Aplicações da TDM**:
   * A TDM é comumente utilizada em redes de telefonia e celulares, onde vários usuários compartilham uma única linha de comunicação.
   * É especialmente útil em ambientes onde a largura de banda é limitada e precisa ser compartilhada eficientemente entre múltiplos usuários.
   * A TDM também é usada em sistemas de comunicação de dados, como redes locais (LANs), onde vários dispositivos precisam acessar o meio de transmissão de forma ordenada e controlada.
3. **Diferença entre TDM e STDM**:
   * É importante distinguir a TDM da multiplexação estatística por divisão de tempo (STDM), que é uma forma de comutação de pacotes. Na STDM, os dados são multiplexados de acordo com a demanda estatística de cada usuário, em vez de seguir um padrão de rodízio fixo como na TDM.
   * Enquanto na TDM cada usuário tem um intervalo de tempo dedicado, na STDM os usuários compartilham dinamicamente o canal com base na disponibilidade e na demanda de tráfego.

Em resumo, a TDM é uma técnica eficaz para compartilhar um canal de comunicação entre vários usuários, permitindo que cada um utilize a largura de banda do canal de forma intercalada em períodos de tempo fixos.

**2.5.5 A multiplexação por divisão de código**

A multiplexação por divisão de código (CDM) é uma técnica de comunicação que espalha um sinal de banda estreita por uma banda de frequência mais ampla, permitindo que vários sinais de diferentes usuários compartilhem a mesma banda de frequência. Aqui estão alguns pontos importantes sobre CDM:

1. **Funcionamento do CDMA**:
   * No CDMA, cada estação transmite por todo o espectro de frequência o tempo todo, utilizando uma sequência exclusiva de chips para espalhar o sinal.
   * Cada estação é atribuída uma sequência de chips exclusiva, que é uma série de valores binários (+1 ou -1).
   * Para transmitir um bit 1, a estação envia sua sequência de chips. Para transmitir um bit 0, envia a negação de sua sequência de chips.
   * Durante cada intervalo de tempo de duração de um bit, uma estação pode transmitir um bit 1, um bit 0 ou ficar inativa e não transmitir.
   * As sequências de chips são escolhidas de forma que sejam ortogonais entre si, o que significa que o produto interno normalizado de duas sequências distintas é zero. Isso permite que os sinais sejam separados no receptor.
2. **Aplicações do CDMA**:
   * O CDMA é comumente usado em sistemas de comunicação sem fio, como redes de celular, redes por satélite e redes a cabo.
   * Ele permite que múltiplos usuários compartilhem eficientemente o mesmo espectro de frequência, tornando-o adequado para ambientes onde o espectro de frequência é limitado e precisa ser compartilhado de forma eficaz.
3. **Decodificação no Receptor**:
   * No receptor, para recuperar o fluxo de bits de uma estação individual, é calculado o produto interno normalizado entre a sequência de chips recebida e a sequência de chips da estação cujo fluxo de bits está sendo recuperado.
   * Se a sequência de chips recebida for ortogonal à sequência de chips da estação transmissora desejada, o produto interno normalizado será 0. Caso contrário, será 1.
   * Com capacidade de computação suficiente, o receptor pode escutar simultaneamente todos os transmissores e executar o algoritmo de decodificação correspondente a cada um deles em paralelo.

O CDMA é uma técnica poderosa que permite o compartilhamento eficiente do espectro de frequência entre múltiplos usuários. Embora sua implementação exija considerações adicionais, como sincronização e gerenciamento de interferências, ele é amplamente utilizado em diversas aplicações de comunicação sem fio.

**2.6 A rede pública de telefonia comutada**

(PSTN) desempenha um papel crucial na comunicação de longa distância, especialmente quando os custos de instalação de cabos privados são proibitivos ou ilegais devido a restrições governamentais. Embora a PSTN tenha sido originalmente projetada para a transmissão de voz humana, ela também é usada para comunicação computador/computador, embora com limitações de largura de banda significativas em comparação com redes locais com cabos.

Aqui estão alguns pontos-chave sobre a PSTN e sua integração com redes de computadores:

1. **Limitações de Largura de Banda**:
   * A PSTN foi projetada principalmente para transmissão de voz, e suas velocidades de transmissão são consideravelmente mais lentas do que as redes de computadores modernas.
   * Por exemplo, a tecnologia ADSL, comumente usada para acesso à internet através da linha telefônica, oferece velocidades de apenas cerca de 1 Mbps, enquanto cabos de rede podem transferir dados a velocidades de 1 Gbps ou mais.
2. **Integração com Redes de Computadores**:
   * Apesar das limitações de largura de banda, a PSTN ainda desempenha um papel importante na comunicação de longa distância para computadores.
   * O principal desafio é o "último quilômetro", ou seja, a conexão entre o cliente e a rede telefônica. Embora a tecnologia de fibra e digital esteja sendo implantada para melhorar isso, ainda é um processo que demanda tempo e recursos financeiros.
3. **Esforços para Eficiência**:
   * Os projetistas de sistemas de computadores dedicam tempo e esforço consideráveis para encontrar maneiras de usar a rede telefônica com maior eficiência, dada sua largura de banda limitada em comparação com redes locais.
   * Esses esforços incluem técnicas de compressão de dados, protocolos eficientes e otimização de uso de recursos disponíveis na PSTN.
4. **Estudo Detalhado do Sistema Telefônico**:
   * Para entender melhor como a PSTN funciona e como integrá-la efetivamente com redes de computadores, é útil estudar o sistema telefônico em detalhes.
   * Recomenda-se consultar recursos como o livro de Bellamy (2000) para obter uma compreensão mais profunda do funcionamento interno da PSTN.

Em resumo, apesar das limitações de largura de banda, a PSTN continua sendo uma parte importante da infraestrutura de comunicação global, e os esforços para integrá-la eficientemente com redes de computadores são contínuos.

**2.6.1 A estrutura do sistema telefônico**

evoluiu ao longo do tempo desde os primeiros dias de Alexander Graham Bell até os sistemas digitais de hoje. Aqui estão os principais pontos sobre sua estrutura:

1. **Origens e Desenvolvimento**:
   * O telefone foi patenteado por Alexander Graham Bell em 1876, e inicialmente, os telefones eram vendidos em pares e os usuários conectavam os fios manualmente.
   * Logo, surgiram as estações de comutação, operadas pela Bell Telephone Company, que conectavam os usuários e permitiam chamadas entre eles.
   * Com o aumento da demanda por chamadas interurbanas, foram desenvolvidas estações de comutação de segundo nível para interconectar diferentes áreas.
2. **Estrutura Básica**:
   * O sistema telefônico é composto por três componentes principais: circuitos terminais, troncos e estações de comutação.
   * Os circuitos terminais conectam os usuários finais (residências e empresas) às estações de comutação locais, geralmente através de cabos de pares trançados.
   * Os troncos são usados para conectar as estações de comutação, geralmente feitos de fibra óptica para alta largura de banda.
   * As estações de comutação são responsáveis pela transferência de chamadas de um tronco para outro.
3. **Operação**:
   * Dentro de uma mesma estação de comutação, as chamadas entre assinantes locais são roteadas diretamente, enquanto chamadas para assinantes em outras áreas são encaminhadas para estações interurbanas.
   * As estações interurbanas usam troncos interurbanos para se comunicarem entre si e encaminhar chamadas para outras áreas geográficas.
4. **Evolução para Digital**:
   * O sistema telefônico evoluiu de transmissão analógica para digital, com fibra óptica, eletrônica digital e computadores sendo usados em toda a infraestrutura.
   * A transmissão digital é preferida devido à sua confiabilidade, eficiência e facilidade de manutenção em comparação com a transmissão analógica.
5. **Multiplexação e Comutação**:
   * Para lidar com múltiplas chamadas em um mesmo tronco, são utilizadas técnicas de multiplexação, como FDM (Multiplexação por Divisão de Frequência) e TDM (Multiplexação por Divisão de Tempo).
   * A comutação pode ser realizada de forma hierárquica ou não hierárquica, dependendo da topologia da rede e dos requisitos de roteamento.

Em resumo, o sistema telefônico é uma infraestrutura complexa composta por circuitos terminais, troncos e estações de comutação, que evoluiu ao longo do tempo para incorporar tecnologias digitais e oferecer serviços de comunicação confiáveis e eficientes.

**2.6.2 A política das companhias telefônicas,**

especialmente nos Estados Unidos, passou por mudanças significativas ao longo do tempo, moldando a estrutura e a concorrência do setor. Aqui estão os principais pontos sobre a política das companhias telefônicas:

1. **Monopólio e Desmembramento**:
   * Até 1984, a Bell System detinha o monopólio das chamadas locais e interurbanas nos EUA.
   * O governo dos EUA considerou esse monopólio ilegal e, em 1984, promoveu uma ação para desmembrar a AT&T, resultando na divisão da empresa em várias partes, incluindo as Bell Operating Companies (BOCs) e a AT&T Long Lines.
2. **Competição e Impacto**:
   * O desmembramento da AT&T levou à criação de Regional Bell Operating Companies (RBOCs), que tornaram a competição no setor mais viável.
   * A competição resultou em melhorias nos serviços e redução de preços para consumidores e empresas, mas também aumentou os preços dos serviços locais devido à eliminação dos subsídios cruzados das chamadas de longa distância.
3. **Local Access and Transport Areas (LATAs)**:
   * Os EUA foram divididos em 164 áreas de transporte e acesso local (LATAs), cada uma correspondendo a uma região com um código de área.
   * Cada LATA tinha uma empresa de troca local (LEC) responsável pelo serviço telefônico convencional na área.
4. **IntereXchange Carriers (IXCs)**:
   * O tráfego entre LATAs passou a ser manipulado por empresas chamadas IntereXchange Carriers (IXCs).
   * A competição entre IXCs, como AT&T Long Lines, Verizon e Sprint, foi promovida para garantir igualdade de condições.
5. **Legislação de 1996**:
   * Em 1996, o Congresso dos EUA aprovou uma legislação que permitia a entrada de empresas de TV a cabo, telefônicas locais, operadoras de longa distância e celulares nos negócios uns dos outros.
   * Isso levou à convergência de serviços e à competição em preços e serviços entre diferentes tipos de empresas de telecomunicações.
6. **Portabilidade de Números e Competição**:
   * A legislação de 1996 também exigiu que as LECs implementassem a portabilidade de números locais, permitindo que os clientes mudassem de provedor sem trocar de número de telefone.
   * Isso aumentou a competição no setor, tornando o cenário das telecomunicações mais competitivo nos EUA e em outros países.

* Em resumo, as políticas das companhias telefônicas nos EUA passaram por mudanças significativas, incluindo o desmembramento da AT&T, a criação de LATAs e a introdução de competição entre diferentes tipos de empresas de telecomunicações. Essas mudanças tiveram impactos diversos, incluindo melhorias nos serviços e maior competitividade no setor.

**2.63 -o circuito Terminal: modems, Adsl e Fibra óptica**

**Modems de Telefone:**

* Os modems convertem dados digitais em sinais analógicos para transmissão através de linhas telefônicas.
* A largura de banda limitada das linhas telefônicas restringe a taxa de transmissão de dados dos modems para valores muito menores do que os das tecnologias de banda larga.
* Os modems usam técnicas como modulação codificada por treliças para aumentar a eficiência de transmissão e corrigir erros.
* Modems de 56 kbps usam técnicas especiais para alcançar velocidades mais altas dentro das limitações do sistema telefônico analógico.

**Linhas Digitais do Assinante (xDSL):**

* As tecnologias xDSL (como ADSL) foram desenvolvidas para fornecer serviços de banda larga sobre linhas telefônicas existentes.
* Os filtros nas estações finais das companhias telefônicas limitam a largura de banda disponível para os usuários, mas as tecnologias xDSL contornam essa restrição.
* A largura de banda efetiva do xDSL depende da qualidade da linha e da distância até a estação final.
* O padrão ADSL oferece velocidades de até 8 Mbps downstream e 1 Mbps upstream, com variantes como ADSL2 e ADSL2+ para aumentar as velocidades.

**Fiber to the Home (FTTH):**

* FTTH envolve a instalação de fibra óptica até as residências e escritórios para fornecer acesso à Internet de alta velocidade.
* As redes FTTH utilizam uma arquitetura de Rede Óptica Passiva (PON), onde um único cabo de fibra pode servir várias residências.
* As PONs permitem altas velocidades devido à largura de banda e baixa atenuação da fibra óptica.
* Os protocolos de acesso são usados para coordenar a transmissão de dados dos usuários para a estação final em redes FTTH.

Essas tecnologias permitem que os provedores de serviços de telecomunicações ofereçam uma variedade de opções de conectividade para os usuários, desde conexões de alta velocidade sobre linhas telefônicas existentes até acesso ultrarrápido por fibra óptica direta.

**2.6.4 Troncos e Multiplexação**

Para que os sinais de voz possam ser transmitidos pela rede telefônica, eles precisam ser digitalizados. Isso é feito através de um processo chamado de amostragem e quantização.

1. **Amostragem:** O sinal analógico de voz é amostrado em intervalos regulares de tempo. Durante cada intervalo de amostragem, o valor do sinal de voz é registrado. Quanto mais frequente a amostragem, mais precisa será a representação digital do sinal analógico.
2. **Quantização:** Cada valor amostrado do sinal de voz é então arredondado para o valor mais próximo em uma escala finita de níveis de amplitude. Isso é chamado de quantização. Quanto maior o número de níveis de amplitude disponíveis, melhor será a qualidade da digitalização.
3. **Codificação:** Finalmente, os valores quantizados são convertidos em códigos binários, que representam os valores amostrados. Estes códigos binários são então transmitidos pela rede telefônica.

**multiplexação por divisão de tempo (TDM)**

Na multiplexação por divisão de tempo (TDM), vários sinais são combinados em um único canal de comunicação, com cada sinal sendo transmitido em intervalos de tempo separados. Isso permite que vários sinais sejam transmitidos através de um único meio de comunicação, aumentando assim a eficiência da rede.

Na prática, cada sinal é atribuído a um intervalo de tempo específico, e os sinais são transmitidos sequencialmente. No receptor, os sinais são separados novamente com base nos intervalos de tempo e restaurados às suas formas originais.

Esta técnica é amplamente utilizada na transmissão de voz e dados através de troncos telefônicos e em redes de comunicação digitais.

No contexto das fibras ópticas, o TDM é utilizado em sistemas como o SONET (Synchronous Optical Networking), que é um padrão de comunicação síncrona usado em redes de transporte de alta velocidade. O SONET divide o sinal em intervalos de tempo fixos e multiplexa vários sinais em um único canal óptico. Isso permite uma transmissão eficiente de voz, dados e vídeo de alta velocidade através de longas distâncias.

**Sinais de voz Digitais**

**O processo de digitalização dos sinais de voz, como descrito no texto, é fundamental para a transmissão eficiente e confiável de chamadas telefônicas através da rede. Aqui está um resumo dos principais pontos:**

1. **FDM (Frequency Division Multiplexing):** No início do desenvolvimento da rede telefônica, os sinais de voz eram tratados como informações analógicas e multiplexados usando técnicas de FDM. Isso envolve a combinação de múltiplos canais de voz em unidades maiores, como grupos e supergrupos. No entanto, FDM requer circuitos analógicos, o que não é ideal para sistemas digitais.
2. **TDM (Time Division Multiplexing):** TDM, por outro lado, é tratado inteiramente por eletrônica digital e se tornou mais amplamente utilizado nos últimos anos. Neste método, cada sinal é atribuído a intervalos de tempo específicos e transmitido sequencialmente.
3. **PCM (Pulse Code Modulation):** PCM é a técnica fundamental para digitalização dos sinais de voz. Cada sinal é amostrado a uma taxa de 8.000 amostras por segundo, com cada amostra sendo quantizada em 8 bits. Isso é conhecido como modulação por código de pulso. A taxa de dados não compactada padrão para uma chamada telefônica de voz é de 64 kbps.
4. **Codec:** Na estação final, os sinais analógicos são digitalizados usando um dispositivo chamado codec, que significa codificador-decodificador. O codec converte o sinal analógico em uma sequência de amostras digitais.
5. **Companding:** Para reduzir o erro de quantização, os níveis de quantização são espaçados de forma desigual, usando uma escala logarítmica. Duas versões de quantização comumente usadas são m-law (na América do Norte e no Japão) e A-law (na Europa e no resto do mundo), especificadas no padrão ITU G.711.

Esses processos são essenciais para garantir que os sinais de voz sejam transmitidos com qualidade e eficiência pela rede telefônica, permitindo comunicações claras e confiáveis entre os usuários.

**Multiplexação por tempo**

A multiplexação por divisão de tempo (TDM) é uma técnica crucial para combinar vários fluxos de dados em um único canal de comunicação. Aqui estão os principais pontos sobre a multiplexação por divisão de tempo conforme descrito no texto:

1. **T1 e E1:** Nos Estados Unidos e no Japão, o padrão T1 é amplamente utilizado, enquanto fora desses países, a portadora E1 é mais comum. A T1 tem uma taxa de dados bruta de 1,544 Mbps e consiste em 24 canais de voz multiplexados, enquanto a E1 tem uma taxa de 2,048 Mbps e consiste em 32 canais de voz.
2. **Formato dos quadros:** No formato T1, cada quadro contém 192 bits mais um bit extra para controle, resultando em 193 bits a cada 125 ms. Esse bit extra é usado para sincronização e sinalização de quadros. Já na E1, cada quadro básico contém 256 bits.
3. **Multiplexação em ordem superior:** A TDM permite a multiplexação de múltiplos canais T1 ou E1 em portadoras de ordem mais alta, como T2, T3 e T4. Por exemplo, quatro fluxos T1 podem ser multiplexados em um fluxo T2, e assim por diante. Isso é feito bit a bit para cada canal de voz.
4. **Padrões internacionais:** Há uma falta de consenso internacional sobre os padrões de multiplexação por divisão de tempo. Os esquemas de multiplexação adotados nos Estados Unidos diferem dos utilizados em outros países, como os definidos pela ITU. Isso resulta em diferentes hierarquias e velocidades de transmissão.
5. **Enquadramento e recuperação:** Em cada nível de multiplexação, um pequeno overhead é adicionado para fins de enquadramento e recuperação de dados, no caso de perda de sincronização entre transmissor e receptor.

Em resumo, a multiplexação por divisão de tempo é uma técnica eficaz para combinar múltiplos fluxos de dados em um único canal de comunicação, facilitando a transmissão eficiente e confiável de informações em redes de telecomunicações.

SONET/SDH

O Sistema de Rede Óptica Síncrona (SONET) e a Hierarquia Digital Síncrona (SDH) foram desenvolvidos para padronizar as redes ópticas e digitais, permitindo a interoperabilidade entre diferentes sistemas de telecomunicações. Aqui estão os principais pontos sobre SONET/SDH conforme descrito no texto:

1. **Necessidade de padronização:** Antes do desenvolvimento do SONET/SDH, cada companhia telefônica tinha seu próprio sistema óptico TDM patenteado. A desintegração da AT&T em 1984 e a necessidade de conexão entre diferentes concessionárias de comunicações de longa distância destacaram a necessidade de padronização.
2. **Desenvolvimento:** A Bellcore começou a trabalhar no padrão SONET em 1985, enquanto a ITU também participou do processo, resultando nos padrões SONET e SDH em 1989. Embora haja algumas diferenças entre os dois padrões, eles são essencialmente semelhantes.
3. **Objetivos:** O SONET/SDH tinha quatro objetivos principais: facilitar a interconexão entre diferentes concessionárias, unificar os sistemas digitais de diferentes regiões, multiplexar vários canais digitais e fornecer recursos de operação, administração e manutenção (OAM).
4. **Padrão TDM:** O SONET/SDH é um sistema TDM (Multiplexação por Divisão de Tempo) tradicional, em que toda a largura de banda da fibra é dedicada a um único canal contendo slots de tempo para os subcanais. É um sistema síncrono, com transmissores e receptores ligados a um clock comum.
5. **Estrutura do Quadro SONET:** O quadro básico da SONET possui 810 bytes e é transmitido a cada 125 ms, independentemente da presença de dados. Os quadros contêm informações de gerenciamento do sistema nas primeiras colunas e overhead de seção e linha.
6. **Synchronous Payload Envelope (SPE):** O envelope síncrono de carga útil (SPE) transporta os dados do usuário e pode começar em qualquer lugar dentro do quadro SONET, oferecendo flexibilidade ao sistema.
7. **Hierarquia de Multiplexação:** O SONET/SDH possui uma hierarquia de multiplexação que varia de STS-1 a STS-768, correspondendo a taxas de dados de 51,84 Mbps a 40 Gbps. As taxas mais comuns são múltiplos de OC-3 em incrementos de quatro.
8. **Designação de Concatenação:** Quando uma portadora como a OC-3 não é multiplexada, mas transporta os dados de uma única origem, a letra "c" é acrescentada à designação, indicando uma velocidade de dados concatenados.

Em suma, o SONET/SDH padronizou as redes ópticas e digitais, permitindo a interoperabilidade e facilitando a transmissão eficiente de dados em redes de telecomunicações.

**A multiplexação por divisão de comprimento de onda**

A multiplexação por divisão de comprimento de onda (Wavelength Division Multiplexing - WDM) é uma técnica amplamente utilizada para aproveitar a grande largura de banda das fibras ópticas. Aqui estão os pontos-chave sobre WDM conforme descrito no texto:

1. **Princípio Básico:** Na WDM, diferentes canais de dados são transmitidos simultaneamente em diferentes comprimentos de onda de luz ao longo de uma única fibra óptica. Na extremidade de transmissão, os sinais de diferentes comprimentos de onda são combinados em uma única fibra, enquanto na extremidade receptora, os sinais são separados de acordo com seus comprimentos de onda originais.
2. **Largura de Banda:** Cada canal de fibra óptica possui uma largura de banda limitada, geralmente na faixa de gigahertz. Utilizando vários canais em paralelo com diferentes comprimentos de onda, a largura de banda agregada aumenta linearmente com o número de canais. Teoricamente, a fibra óptica pode acomodar milhares de canais de dados.
3. **Avanços Tecnológicos:** A tecnologia WDM tem avançado rapidamente desde sua criação em torno de 1990. Os sistemas comerciais passaram de oito canais de 2,5 Gbps por canal para sistemas com 192 canais de 10 Gbps ou até 64 canais de 40 Gbps. Essa capacidade de transmissão é suficiente para transmitir uma grande quantidade de dados, como 80 filmes de DVD completos por segundo.
4. **Dense WDM (DWDM):** Quando o número de canais é muito grande e os comprimentos de onda são estreitamente espaçados, o sistema é chamado de DWDM. Isso permite uma densidade ainda maior de canais na fibra óptica.
5. **Amplificadores Ópticos:** O desenvolvimento de amplificadores totalmente ópticos eliminou a necessidade de converter sinais ópticos em elétricos para amplificação. Isso permite a regeneração do sinal óptico ao longo de distâncias muito maiores sem a necessidade de várias conversões ópticas/elétricas.
6. **Sistemas Comutados no Domínio Óptico:** Além dos sistemas de comprimento de onda fixo, também é possível criar sistemas WDM comutados no domínio óptico. Isso permite que as frequências selecionadas sejam trocadas dinamicamente por meio de dispositivos controlados por computador, oferecendo flexibilidade na configuração da rede óptica.

Em resumo, a WDM é uma técnica eficiente e escalável para aumentar a capacidade de transmissão em redes ópticas, aproveitando ao máximo a largura de banda das fibras ópticas.

**2.7 A comutação**

A comutação, no contexto das telecomunicações, refere-se ao processo de encaminhamento de informações de um ponto para outro em uma rede. Existem duas técnicas principais de comutação: comutação de circuitos e comutação de pacotes. Vamos explorar cada uma delas:

1. **Comutação de Circuitos:**
   * Na comutação de circuitos, um caminho físico dedicado é estabelecido entre o remetente e o destinatário antes da transmissão dos dados.
   * Este caminho permanece reservado exclusivamente para a comunicação entre os dois pontos durante toda a sessão de comunicação.
   * Durante a chamada telefônica tradicional, por exemplo, uma conexão de circuito é estabelecida entre o chamador e o destinatário assim que a chamada é iniciada.
   * Enquanto a conexão estiver ativa, os recursos dedicados para essa conexão não podem ser usados por outras comunicações.
   * A comutação de circuitos é eficiente para comunicações que requerem largura de banda constante e previsível, como chamadas telefônicas.
2. **Comutação de Pacotes:**
   * Na comutação de pacotes, os dados são divididos em pacotes individuais antes da transmissão.
   * Cada pacote é enviado separadamente e pode seguir rotas diferentes pela rede antes de serem reagrupados no destino final.
   * Isso permite que a largura de banda disponível seja compartilhada dinamicamente entre diferentes comunicações, aumentando a eficiência do uso dos recursos de rede.
   * Um exemplo comum de comutação de pacotes é a tecnologia VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet), onde as chamadas são digitalizadas e divididas em pacotes de dados para transmissão pela Internet.
   * Embora a comutação de pacotes seja mais flexível e eficiente em termos de utilização de recursos de rede, pode haver atrasos na transmissão devido ao roteamento dinâmico dos pacotes.

Ambas as técnicas têm suas vantagens e são aplicadas em diferentes contextos, dependendo dos requisitos específicos de comunicação e das características da rede. Enquanto a comutação de circuitos é mais comumente associada a comunicações tradicionais baseadas em voz, a comutação de pacotes é amplamente utilizada em redes de dados modernas e em serviços como VoIP e transmissão de vídeo pela Internet.

**comutação de circuitos**

Na comutação de circuitos, o sistema telefônico estabelece um caminho físico dedicado entre o transmissor e o receptor da chamada antes que qualquer dado seja enviado. Este processo é ilustrado esquematicamente na Figura 2.37(a). Cada estação de comutação ao longo do caminho representa um ponto onde a chamada pode ser roteada para uma linha de saída.

Historicamente, a comutação de circuitos foi realizada manualmente por telefonistas que conectavam os cabos de ligação entre os soquetes de entrada e saída. No entanto, o desenvolvimento de equipamentos automáticos de comutação de circuitos, como os inventados por Almon B. Strowger, revolucionou o sistema telefônico.

No modelo simplificado da Figura 2.37(a), cada estação de comutação tem várias linhas de entrada e saída. Quando uma chamada passa por uma estação de comutação, é estabelecida uma conexão física entre a linha que transportou a chamada e uma das linhas de saída disponíveis.

Uma característica importante da comutação de circuitos é o tempo necessário para estabelecer o caminho ponta a ponta antes que a transmissão de dados possa começar. Esse tempo pode ser significativo, especialmente em chamadas interurbanas ou internacionais, onde o sistema telefônico precisa encontrar uma conexão física adequada, como mostra a Figura 2.38(a).

Uma vez estabelecida a conexão, os dados são transmitidos sem atrasos significativos, além do tempo de propagação do sinal eletromagnético. Além disso, devido ao caminho dedicado entre o transmissor e o receptor, não há risco de congestionamento durante a chamada, e os usuários não recebem sinais de ocupado antes que a conexão seja estabelecida.

No entanto, uma desvantagem da comutação de circuitos é que a capacidade de rede é dedicada exclusivamente à chamada em andamento, mesmo que parte dessa capacidade não esteja sendo utilizada. Além disso, o tempo de configuração necessário para estabelecer o caminho pode ser considerável em comparação com outras formas de comunicação, como a comutação de pacotes.

**Na comutação de pacotes**, os dados são enviados assim que estão disponíveis, sem a necessidade de estabelecer um caminho dedicado com antecedência, como na comutação de circuitos. Cada pacote é roteado de forma independente pelos roteadores da rede, utilizando o método store-and-forward. Isso significa que cada pacote segue seu próprio caminho até o destino, o que pode resultar em pacotes chegando fora de ordem.

Uma das características distintivas da comutação de pacotes é o tamanho limitado dos pacotes, o que impede que um usuário monopolize a largura de banda por muito tempo. Isso permite que as redes de comutação de pacotes lidem eficientemente com o tráfego interativo, reduzindo o atraso, uma vez que os primeiros pacotes podem ser encaminhados antes que os pacotes subsequentes cheguem.

Ao contrário da comutação de circuitos, onde a largura de banda é reservada para uma chamada específica, a comutação de pacotes não reserva largura de banda, o que significa que os pacotes podem ter que esperar para serem encaminhados. Isso pode levar a atrasos de enfileiramento e congestionamento em momentos de tráfego intenso.

No entanto, a comutação de pacotes é mais eficiente em termos de utilização de largura de banda, pois não desperdiça capacidade de rede quando não há tráfego. Além disso, é mais tolerante a falhas, pois os pacotes podem ser roteados de forma a contornar switches inativos.

Em termos de tarifação, a comutação de circuitos historicamente se baseava na distância e no tempo, enquanto a comutação de pacotes considera principalmente o volume de tráfego. Isso resultou em modelos de tarifação diferentes para cada tipo de comutação.

Em resumo, enquanto as redes telefônicas tradicionalmente utilizaram a comutação de circuitos para oferecer chamadas telefônicas de alta qualidade, as redes de computadores adotaram a comutação de pacotes devido à sua simplicidade e eficiência. No entanto, existem exceções, como redes telefônicas que utilizam a tecnologia VoIP para adotar a comutação de pacotes internamente, mantendo a interface de chamadas telefônicas padrão para os usuários.

**2.7 O sistema de Telefonia Móvel**

O sistema de telefonia móvel é essencial para a comunicação remota de voz e dados, especialmente para pessoas em movimento. Ao longo do tempo, os telefones móveis evoluíram por meio de diferentes gerações, cada uma trazendo melhorias na tecnologia e nas capacidades de comunicação. As três principais gerações são:

1. **1G (Voz Analógica):** A primeira geração de telefonia móvel foi baseada em comunicação de voz analógica.
2. **2G (Voz Digital):** A segunda geração introduziu a comunicação digital, melhorando a qualidade e eficiência das chamadas telefônicas.
3. **3G (Voz Digital e Dados):** A terceira geração expandiu as capacidades para incluir comunicação de voz digital e transferência de dados, permitindo o acesso à internet, e-mails, entre outros serviços.

Nos Estados Unidos, o desenvolvimento inicial da telefonia móvel resultou em uma diversidade de sistemas incompatíveis entre si. Por outro lado, na Europa, a padronização do sistema GSM (Global System for Mobile Communications) permitiu que os telefones móveis funcionassem em qualquer lugar do continente. Isso contribuiu para a adoção mais ampla da telefonia móvel na Europa em comparação com os Estados Unidos.

Além da questão da padronização, as políticas de tarifação também desempenharam um papel importante na aceitação da telefonia móvel. Nos Estados Unidos, a mistura de números de telefone móvel e fixo tornou difícil distinguir entre eles, o que levou à prática de fazer o proprietário do telefone móvel pagar pelas chamadas recebidas. Isso causou preocupação entre os consumidores e afetou a adoção dos telefones móveis. Por outro lado, na Europa, os telefones móveis possuem códigos de área especiais, facilitando a identificação e aplicando a prática de "fazer o chamador pagar".

Além disso, o uso difundido de telefones pré-pagos na Europa, que oferecem maior controle sobre os gastos e eliminam a preocupação com contas caras, contribuiu significativamente para a adoção generalizada da telefonia móvel, especialmente entre os jovens.

Esses diferentes aspectos políticos, de mercado e de tarifação destacam como pequenas decisões podem ter um impacto significativo na adoção e na utilização da telefonia móvel em diferentes regiões do mundo.

s telefones móveis de primeira geração (1G) representam os primeiros sistemas de telefonia móvel utilizados amplamente. Aqui está um resumo dos principais pontos sobre eles:

1. **Radiotelefones Móveis Iniciais:** Nos primeiros anos do século XX, os radiotelefones móveis eram usados de forma esporádica principalmente para comunicação militar e marítima.
2. **Sistemas 'Apertar para Falar' (Push-to-Talk Systems):** Em 1946, em St. Louis, nos Estados Unidos, foi desenvolvido o primeiro sistema para telefones baseados em automóveis. Esse sistema usava um único transmissor em um edifício alto e um único canal para transmissões e recepções. Os usuários precisavam apertar um botão para alternar entre transmitir e receber, caracterizando os sistemas 'apertar para falar'.
3. **Sistema IMTS (Improved Mobile Telephone System):** Na década de 1960, o sistema IMTS foi introduzido como uma melhoria significativa em relação aos sistemas anteriores. Ele utilizava um transmissor de alta potência em uma montanha, operando em duas frequências separadas para transmissão e recepção, eliminando a necessidade de apertar um botão para falar.
4. **Limitações do IMTS:** Apesar das melhorias, o IMTS ainda tinha limitações significativas. Com apenas 23 canais espalhados por um intervalo de frequência de 150 a 450 MHz, os usuários frequentemente enfrentavam longos períodos de espera antes de conseguir um tom de discagem. Além disso, devido à alta potência do transmissor, os sistemas adjacentes precisavam estar a vários quilômetros de distância para evitar interferências.

Em resumo, os telefones móveis de primeira geração representaram um avanço na tecnologia de comunicação, mas ainda tinham limitações significativas em termos de capacidade e eficiência. Essas limitações foram superadas com o desenvolvimento das gerações subsequentes de telefones móveis.

**2.7.1 Os telefones móveis de primeira geração (1G)**

Os telefones móveis de primeira geração (1G) representam os primeiros sistemas de telefonia móvel utilizados amplamente.

1. **Radiotelefones Móveis Iniciais:** Nos primeiros anos do século XX, os radiotelefones móveis eram usados de forma esporádica principalmente para comunicação militar e marítima.
2. **Sistemas 'Apertar para Falar' (Push-to-Talk Systems):** Em 1946, em St. Louis, nos Estados Unidos, foi desenvolvido o primeiro sistema para telefones baseados em automóveis. Esse sistema usava um único transmissor em um edifício alto e um único canal para transmissões e recepções. Os usuários precisavam apertar um botão para alternar entre transmitir e receber, caracterizando os sistemas 'apertar para falar'.
3. **Sistema IMTS (Improved Mobile Telephone System):** Na década de 1960, o sistema IMTS foi introduzido como uma melhoria significativa em relação aos sistemas anteriores. Ele utilizava um transmissor de alta potência em uma montanha, operando em duas frequências separadas para transmissão e recepção, eliminando a necessidade de apertar um botão para falar.
4. **Limitações do IMTS:** Apesar das melhorias, o IMTS ainda tinha limitações significativas. Com apenas 23 canais espalhados por um intervalo de frequência de 150 a 450 MHz, os usuários frequentemente enfrentavam longos períodos de espera antes de conseguir um tom de discagem. Além disso, devido à alta potência do transmissor, os sistemas adjacentes precisavam estar a vários quilômetros de distância para evitar interferências.

Em resumo, os telefones móveis de primeira geração representaram um avanço na tecnologia de comunicação, mas ainda tinham limitações significativas em termos de capacidade e eficiência. Essas limitações foram superadas com o desenvolvimento das gerações subsequentes de telefones móveis.

**AMPS**

O sistema AMPS (Advanced Mobile Phone System) foi um marco importante na evolução dos telefones celulares. Aqui estão os principais pontos sobre o AMPS:

1. **Origem e Uso:** Inventado pelo Bell Labs, o AMPS foi inicialmente instalado nos Estados Unidos em 1982. Também foi utilizado na Inglaterra, conhecido como TACS, e no Japão, chamado MCS-L1. O AMPS foi descontinuado oficialmente em 2008.
2. **Estrutura Celular:** Assim como outros sistemas de telefonia móvel, o AMPS divide uma região geográfica em células. Cada célula geralmente tem de 10 a 20 km de raio. O uso de células menores aumenta a capacidade do sistema e permite uma melhor utilização das frequências de transmissão.
3. **Reutilização de Frequências:** Uma ideia fundamental nos sistemas celulares, incluindo o AMPS, é a reutilização de frequências de transmissão em células não adjacentes. Isso significa que as mesmas frequências podem ser usadas em diferentes células, desde que estejam suficientemente distantes umas das outras para evitar interferências.
4. **Estações-Base e MSC:** Cada célula possui uma estação-base, que consiste em um computador, um transmissor/receptor e uma antena. As estações-base estão conectadas a um centro de comutação móvel (MSC), que é responsável pela gestão das chamadas e pela comunicação com a rede de telefonia pública (PSTN).
5. **Handoff:** Quando um telefone móvel se move de uma célula para outra, ocorre um handoff, no qual o controle da chamada é transferido de uma estação-base para outra. Isso é feito para garantir uma conexão contínua durante a movimentação do usuário. O handoff é coordenado pelo MSC e leva cerca de 300 ms.

**Canais**

O AMPS, juntamente com outros sistemas de primeira geração, estabeleceu os fundamentos para o desenvolvimento posterior de tecnologias de telefonia móvel, como os sistemas 2G e 3G. Sua estrutura celular e capacidade de reutilização de frequências foram importantes para a evolução dos sistemas de telefonia móvel.

s canais no sistema AMPS são organizados de acordo com as seguintes especificações:

1. **Divisão de Frequência:** O AMPS utiliza FDM (Frequency Division Multiplexing) para separar os canais. Isso significa que diferentes canais são alocados em diferentes frequências dentro da banda de operação do sistema.
2. **Duplexação por Divisão de Frequência (FDD):** O sistema AMPS utiliza a tecnologia FDD, na qual canais de transmissão e recepção operam em diferentes faixas de frequência. Os canais de transmissão do aparelho móvel para a estação-base estão na faixa de 824 a 849 MHz, enquanto os canais de transmissão da estação-base para o aparelho móvel estão na faixa de 869 a 894 MHz.
3. **Número de Canais:** O sistema AMPS possui um total de 832 canais simplex, cada um com uma largura de banda de 30 kHz. Cada canal é composto por um par de canais simplex, um para transmissão e outro para recepção.
4. **Classificação dos Canais:** Os 832 canais estão divididos em quatro categorias:
   * **Canais de Controle:** Usados para gerenciar o sistema, enviando informações da estação-base para a unidade móvel.
   * **Canais de Localização:** Utilizados para alertar os usuários móveis sobre chamadas destinadas a eles.
   * **Canais de Acesso:** Bidirecionais e usados para estabelecer chamadas e atribuir canais.
   * **Canais de Dados:** Bidirecionais e utilizados para transportar voz, fax ou dados.
5. **Número Real de Canais de Voz:** Devido à necessidade de canais para controle e localização, além da impossibilidade de reutilizar as mesmas frequências em células vizinhas, o número real de canais de voz disponíveis por célula é consideravelmente menor que 832, normalmente em torno de 45. Isso permite que o sistema gerencie eficientemente o tráfego de voz, garantindo uma qualidade de serviço adequada.

**gerenciamento de chamadas no sistema AMPS**

gerenciamento de chamadas no sistema AMPS é um processo coordenado entre os telefones móveis, as estações-base e os centros de comutação móvel (MSCs). Aqui está uma visão geral do processo:

Registro do Telefone Móvel:

* Cada telefone móvel tem um número de série de 32 bits e um número de telefone de dez dígitos armazenados em sua PROM.
* Quando um telefone é ligado, ele escaneia uma lista pré-programada de 21 canais de controle até encontrar o sinal mais forte.
* Em seguida, o telefone transmite seu número de série de 32 bits e o número de telefone de 34 bits para a estação-base.
* Essas informações são enviadas várias vezes em formato digital, com um código de correção de erros, apesar de os canais de voz serem analógicos.
* A estação-base avisa ao MSC sobre a existência do novo cliente e informa sua localização.

Realização de Chamadas:

* Para fazer uma chamada, o usuário móvel digita o número desejado no teclado do telefone e pressiona o botão SEND.
* O telefone transmite o número a ser chamado e sua própria identidade no canal de acesso.
* Se houver uma colisão, o telefone tenta novamente mais tarde.

A estação-base informa ao MSC sobre a solicitação de chamada.

* O MSC procura um canal disponível para a chamada e envia o número do canal de volta no canal de controle.
* O telefone móvel se conecta automaticamente ao canal de voz selecionado e aguarda a resposta do destinatário.

Recebimento de Chamadas:

Todos os telefones inativos continuamente ouvem o canal de localização para detectar mensagens destinadas a eles.

Quando uma chamada é feita para um telefone móvel, um pacote é enviado ao MSC local do telefone chamado para localizá-lo.

O MSC local envia um pacote à estação-base na célula atual do telefone chamado.

A estação-base transmite um pacote de difusão no canal de localização com o formato: "Unidade [número], você está aí?".

O telefone chamado responde "Sim" no canal de acesso.

A base transmite informações sobre a chamada, como o canal de voz a ser utilizado.

O telefone chamado se conecta ao canal de voz especificado e aguarda a resposta do chamador.

Esse processo de gerenciamento de chamadas permite a comunicação eficiente entre os telefones móveis e facilita a realização e o recebimento de chamadas dentro do sistema AMPS.

**segunda geração de telefones móveis (2G)**

Na transição da primeira para a segunda geração de telefones móveis, a mudança para a tecnologia digital trouxe várias vantagens significativas. Aqui estão algumas delas:

1. **Ganhos de Capacidade:** A capacidade do sistema é aumentada, permitindo que mais sinais de voz sejam transmitidos devido à digitalização e compactação dos sinais.
2. **Melhoria da Segurança:** Os sinais de voz e de controle podem ser criptografados, o que impede fraudes e bisbilhotagens, seja por varreduras intencionais ou por ecos de outras chamadas.
3. **Habilitação de Novos Serviços:** A digitalização abre caminho para serviços adicionais, como mensagens de texto, que não eram possíveis na tecnologia analógica.

Durante a segunda geração, não houve uma padronização internacional imediata. Vários sistemas diferentes foram desenvolvidos, sendo três dos mais significativos:

* **D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System):** Uma versão digital do AMPS, coexistindo com o AMPS e utilizando TDM (Multiplexação por Divisão de Tempo) para permitir várias chamadas no mesmo canal de frequência.
* **GSM (Global System for Mobile communications):** Tornou-se o sistema dominante globalmente, embora tenha enfrentado alguma resistência inicial nos Estados Unidos. Baseado em uma mistura de FDM (Multiplexação por Divisão de Frequência) e TDM.
* **CDMA (Code Division Multiple Access):** Um tipo de sistema completamente diferente, que não se baseia nem em FDM nem em TDM. Embora não tenha se tornado o sistema 2G dominante, sua tecnologia serviu como base para os sistemas 3G.

Além disso, o termo "Serviços de Comunicações Pessoais" (PCS) é usado em algumas circunstâncias para se referir a sistemas de segunda geração, ou seja, sistemas digitais. Inicialmente, isso indicava o uso de telefones móveis na banda de 1.900 MHz, mas essa distinção é menos comum atualmente.

O GSM se destaca como o sistema 2G dominante, e sua descrição será detalhada enquanto exploramos os sistemas 3G na próxima seção.

O GSM (Global System for Mobile Communications) surgiu na década de 1980 como um esforço para criar um padrão único de segunda geração para a Europa. Inicialmente, foi concebido pelo Groupe Spécial Mobile, um grupo de telecomunicações. À medida que os primeiros sistemas GSM foram implantados a partir de 1991, o sucesso do sistema tornou-se evidente e rapidamente se expandiu globalmente. Com isso, o nome do sistema foi alterado para refletir sua adoção além da Europa.

Similar ao AMPS, o GSM mantém o conceito de células, reutilização de frequência e handoffs à medida que os assinantes se movem. No entanto, os detalhes da implementação são diferentes. Aqui estão algumas características principais do GSM:

1. **Arquitetura:** A arquitetura do GSM é semelhante à do AMPS, com componentes que têm nomes diferentes. O telefone móvel consiste em um aparelho e um chip removível chamado cartão SIM (Subscriber Identity Module), que contém informações do assinante e ativa o aparelho.
2. **Comunicação:** Os telefones móveis se comunicam com as estações-base da célula por uma interface aérea. As estações-base estão conectadas a um controlador de estação-base (BSC), que controla os recursos de rádio e os handoffs. O BSC, por sua vez, está conectado a um MSC (Mobile Switching Center), que direciona chamadas e as conecta à rede de telefonia pública comutada (PSTN).
3. **Bancos de Dados:** O MSC precisa saber onde os aparelhos estão localizados atualmente para direcionar as chamadas corretamente. Ele mantém um banco de dados chamado VLR (Visitor Location Register) com informações dos aparelhos nas proximidades. Há também um banco de dados na rede móvel chamado HLR (Home Location Register), que indica o último local conhecido de cada aparelho.
4. **Interface Aérea:** O GSM opera em uma faixa de frequências internacional, incluindo 900, 1.800 e 1.900 MHz. Cada aparelho móvel transmite em uma frequência e recebe em outra, sendo compartilhado por vários aparelhos. Os canais GSM são mais largos que os do AMPS (200 kHz contra 30 kHz), e a multiplexação por divisão de tempo é usada para permitir múltiplas conexões em cada canal.
5. **Handoff:** No GSM, o handoff é tratado de maneira diferente do AMPS. O dispositivo móvel ajuda na detecção do momento em que está saindo de uma célula e entrando em outra, enviando informações sobre a qualidade do sinal ao BSC. Esse método é conhecido como Mobile Assisted HandOff (MAHO).

Essas são apenas algumas das características do GSM, que possui uma arquitetura complexa e detalhada. Sua implementação exige uma infraestrutura robusta para garantir a comunicação eficiente entre os dispositivos móveis e a rede.

**2.7.3 Os telefones móveis de terceira geração (3G)**

Os telefones móveis de terceira geração (3G) representam um avanço significativo em relação às gerações anteriores, oferecendo tanto voz quanto dados digitais em alta velocidade. Essa evolução é impulsionada por diversos fatores, incluindo o crescimento exponencial do tráfego de dados em comparação com o tráfego de voz na rede fixa, a convergência dos setores de telefonia, entretenimento e informática para a tecnologia digital, e a demanda dos usuários por uma variedade de serviços em seus dispositivos móveis.

O desenvolvimento do padrão IMT-2000 pela ITU (União Internacional de Telecomunicações) visava oferecer uma ampla gama de serviços, como transmissão de voz de alta qualidade, serviços de mensagens, multimídia e acesso à Internet, em âmbito mundial e com garantias de qualidade de serviço. No entanto, a implementação desse padrão enfrentou desafios, como a falta de reserva de espectro em 2 GHz pelos governos e a não viabilidade inicial da largura de banda de 2 Mbps para usuários em movimento.

Apesar desses problemas iniciais, várias propostas foram feitas para o padrão IMT-2000, e duas principais foram selecionadas: o WCDMA (Wideband CDMA), adotado pela União Europeia como UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), e o CDMA2000, proposto pela Qualcomm. Ambos os sistemas são baseados no CDMA (Code Division Multiple Access) de banda larga, com o WCDMA usando canais de 5 MHz e o CDMA2000 usando canais de 1,25 MHz.

O CDMA oferece vantagens significativas, incluindo a capacidade de melhorar a eficiência espectral aproveitando os períodos de silêncio dos transmissores, a utilização de todas as frequências em cada célula, facilitando o uso de antenas direcionais e o soft handoff, onde a unidade móvel é aceita pela nova estação-base antes de se desconectar da anterior, garantindo uma transição suave.

Embora as redes 3G ainda não estejam totalmente desenvolvidas, alguns pesquisadores já estão trabalhando em sistemas 4G, como a evolução de longo prazo (LTE), que visa oferecer alta largura de banda, ubiquidade, integração transparente com outras redes IP e alta qualidade de serviço para multimídia.

Portanto, os telefones móveis de terceira geração representam um marco importante na evolução das comunicações móveis, oferecendo uma ampla gama de serviços digitais em alta velocidade e pavimentando o caminho para futuras inovações na área.

**2.8 Televisão a cabo**

A televisão a cabo emergiu como uma alternativa importante para o acesso à Internet e também para serviços de telefonia, além de sua função tradicional de transmitir programação de TV. Vamos explorar mais detalhadamente como as redes de televisão a cabo funcionam e compará-las com os sistemas de telefonia que estudamos anteriormente.

As redes de televisão a cabo utilizam cabos coaxiais ou de fibra óptica para transmitir sinais de TV, internet e telefone para os assinantes. Essas redes são construídas com base em uma topologia de malha ou estrela, conectando estações de cabeamento principal (headends) a subestações e, em seguida, aos lares dos assinantes. Os sinais são transmitidos em diferentes frequências para evitar interferências e garantir a qualidade do serviço.

Comparadas aos sistemas de telefonia, as redes de televisão a cabo apresentam algumas diferenças significativas:

1. **Tecnologia de Transmissão**: Enquanto os sistemas de telefonia tradicionais utilizam linhas telefônicas dedicadas ou redes sem fio, as redes de televisão a cabo empregam cabos coaxiais ou de fibra óptica para transmitir os sinais. Isso permite uma largura de banda maior e maior capacidade de transmissão de dados.
2. **Serviços Oferecidos**: Além da transmissão de programação de TV, as redes de televisão a cabo podem fornecer serviços de Internet de alta velocidade e telefonia digital. Isso proporciona aos assinantes uma variedade de opções de comunicação e entretenimento em um único pacote.
3. **Capacidade de Banda Larga**: As redes de televisão a cabo têm uma capacidade significativamente maior de largura de banda em comparação com os sistemas de telefonia tradicionais. Isso permite a entrega de serviços de Internet de alta velocidade e streaming de vídeo de qualidade.
4. **Topologia de Rede**: Enquanto os sistemas de telefonia frequentemente seguem uma topologia de rede em estrela ou anel, as redes de televisão a cabo geralmente utilizam uma topologia de malha ou estrela, com cabos coaxiais conectando estações de cabeamento principal a subestações e residências dos assinantes.
5. **Concorrência e Regulação**: As redes de televisão a cabo enfrentam diferentes desafios de concorrência e regulação em comparação com os sistemas de telefonia. Em muitas áreas, existem operadoras de cabo dominantes que enfrentam pouca concorrência, o que pode afetar os preços e a qualidade do serviço.

Em resumo, as redes de televisão a cabo desempenham um papel importante no fornecimento de serviços de comunicação e entretenimento para os consumidores, oferecendo uma ampla gama de serviços através de uma infraestrutura de cabos de alta capacidade. Comparadas aos sistemas de telefonia, elas apresentam diferenças significativas em termos de tecnologia de transmissão, serviços oferecidos, capacidade de largura de banda e topologia de rede.

**2.8.1- CATV**

A televisão a cabo, inicialmente concebida como uma forma de melhorar a recepção de sinal em áreas rurais ou montanhosas, teve sua origem na década de 1940. O sistema originalmente consistia em uma grande antena colocada em locais elevados para captar o sinal de televisão, um amplificador chamado headend para fortalecer o sinal e um cabo coaxial para distribuí-lo às residências, como mostra a Figura 2.44.

Nos primeiros anos, a televisão a cabo era conhecida como Community Antenna Television (CATV), ou televisão de antena comunitária. Seu funcionamento era relativamente simples: qualquer pessoa com conhecimentos básicos em eletrônica poderia instalar um sistema para sua comunidade, e os custos do serviço eram rateados entre os usuários. Conforme o número de assinantes aumentava, mais cabos eram adicionados ao sistema original e novos amplificadores eram instalados conforme necessário. A transmissão era unidirecional, do headend para os usuários. Na década de 1970, já existiam milhares de sistemas independentes em funcionamento.

Em 1974, a Time Inc. lançou um novo canal chamado Home Box Office (HBO), oferecendo conteúdo exclusivo, como filmes, distribuído apenas por cabo. Outros canais dedicados a notícias, esportes, culinária e diversos outros temas seguiram-se ao HBO. Esse desenvolvimento provocou duas mudanças significativas na indústria da televisão a cabo. Primeiro, grandes corporações começaram a adquirir sistemas de cabo existentes e a expandir suas redes para atrair novos assinantes. Segundo, surgiu a necessidade de interligar vários sistemas, muitas vezes em diferentes cidades, para distribuir o conteúdo dos novos canais de TV a cabo. As empresas de televisão a cabo começaram a estender cabos entre cidades para conectar todos os sistemas em uma única rede, de maneira semelhante ao que ocorreu na indústria de telefonia décadas antes, quando estações isoladas foram interconectadas para viabilizar a comunicação interurbana.

**2.8.2 Internet por cabo**

Com o avanço ao longo dos anos, o sistema de TV a cabo evoluiu, e os cabos entre diversas cidades foram substituídos por fibras ópticas de alta largura de banda, similarmente ao que ocorreu no sistema telefônico. Um sistema que utiliza fibras ópticas nas linhas principais e cabos coaxiais nas ligações residenciais é denominado sistema híbrido de cabo coaxial e fibra, ou HFC (Hybrid Fiber Coax). Os conversores eletro-ópticos que fazem a interface entre as partes óptica e elétrica do sistema são chamados nós de fibra. Devido à largura de banda significativamente maior da fibra em comparação com os cabos coaxiais, um único nó de fibra pode alimentar vários cabos coaxiais. A Figura 2.45(a) ilustra uma parte de um sistema HFC moderno.

Durante a última década, muitas operadoras de TV a cabo decidiram expandir seus serviços para incluir acesso à Internet e, frequentemente, também serviços de telefonia. No entanto, diferenças técnicas entre as instalações de cabo e de telefonia afetam os requisitos para alcançar esses objetivos. Por um lado, todos os amplificadores unidirecionais no sistema tiveram que ser substituídos por amplificadores bidirecionais para suportar transmissões tanto upstream (do usuário para a rede) quanto downstream (da rede para o usuário). Enquanto isso estava sendo realizado, os primeiros sistemas de Internet por cabo utilizavam a rede de televisão para transmissões downstream e uma conexão discada via rede telefônica para transmissões upstream. Embora essa tenha sido uma alternativa inteligente, não era uma solução de rede ideal.

No entanto, outra diferença importante entre o sistema HFC e o sistema telefônico é mais difícil de contornar. Nos bairros, um único cabo é compartilhado por muitas casas, enquanto no sistema telefônico cada casa tem seu próprio circuito terminal privado. Isso significa que, quando o cabo é usado para fornecer acesso à Internet, a largura de banda é compartilhada entre os usuários. Se um usuário decidir baixar um arquivo grande, isso pode afetar a largura de banda disponível para outros usuários na mesma rede. A estratégia usada pela indústria de serviços a cabo para resolver esse problema é dividir cabos longos e conectar cada segmento diretamente a um nó de fibra. A largura de banda do headend até cada nó de fibra é efetivamente infinita, e se não houver muitos assinantes em cada segmento de cabo, o volume de tráfego será gerenciável. No entanto, à medida que mais pessoas adotam o serviço de Internet por cabo, a carga pode se tornar excessiva, exigindo mais divisões e mais nós de fibra.

**2.8.3 A alocação do espectro**

A alocação do espectro é crucial para permitir que a televisão e a Internet coexistam no mesmo cabo de forma eficiente. Uma solução amplamente adotada é a multiplexação por divisão de frequência. Nos sistemas de TV a cabo da América do Norte, os canais ocupam a faixa de 54 a 550 MHz (exceto a faixa de rádio FM, de 88 a 108 MHz), com cada canal tendo uma largura de 6 MHz, incluindo bandas de proteção. Esses canais podem transportar tanto sinais de TV analógica tradicional quanto vários canais de TV digital.

Na Europa, a extremidade inferior geralmente começa em 65 MHz, e os canais têm larguras de 6 a 8 MHz, devido à maior resolução exigida pelos sistemas PAL e SECAM. No entanto, o esquema de alocação é semelhante em outros aspectos. As frequências mais baixas da banda não são utilizadas.

Os cabos modernos operam bem acima de 550 MHz, muitas vezes chegando a 750 MHz ou mais. Para permitir a coexistência da televisão e da Internet, foi introduzido upstream na banda de 5 a 42 MHz (um pouco mais alta na Europa), enquanto as frequências na extremidade alta são usadas para o fluxo downstream. Isso cria uma assimetria nas larguras de banda upstream e downstream, já que há uma parte maior do espectro acima da faixa de TV do que abaixo dela.

Como todos os sinais de televisão são downstream, é possível utilizar amplificadores upstream que operam apenas na região de 5 a 42 MHz e amplificadores downstream que operam apenas na frequência de 54 MHz e acima desta. Essa assimetria é aceitável, pois a maior parte do tráfego provavelmente será downstream, alinhando-se com as necessidades das operadoras de serviços a cabo.

Além de atualizar os amplificadores, a operadora também precisa modernizar o headend, que passa de um amplificador não inteligente para um sistema computadorizado digital inteligente, com uma interface de fibra de alta largura de banda para um ISP. Isso é frequentemente denominado de sistema de terminação de modem a cabo, ou CMTS (Cable Modem Termination System). Embora a terminologia possa mudar, continuaremos utilizando o termo tradicional "headend" neste texto.

**2.8.4 Modems a Cabo**

O acesso à Internet por cabo requer um dispositivo chamado modem a cabo, que possui duas interfaces: uma para o computador e outra para a rede a cabo. No início da Internet a cabo, cada operadora tinha seu próprio modem a cabo patenteado, instalado por técnicos da empresa. No entanto, logo se percebeu que um padrão aberto seria mais benéfico para criar um mercado competitivo de modems a cabo e reduzir os preços, além de eliminar problemas de assistência técnica ao permitir que os clientes instalassem seus próprios modems.

Para estabelecer um padrão aberto, as principais operadoras de serviços a cabo se uniram à CableLabs para produzir o padrão DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification). O DOCSIS versão 1.0 foi lançado em 1997, seguido pelo DOCSIS 2.0 em 2001 e o DOCSIS 3.0 em 2006. Esses padrões aumentaram as taxas de transmissão, melhoraram o suporte a serviços simétricos (como telefonia IP) e aumentaram a largura de banda nas duas direções.

A interface entre o modem e o computador é geralmente feita por Ethernet ou USB, enquanto a outra extremidade usa FDM (Frequency Division Multiplexing), TDM (Time Division Multiplexing) e CDMA (Code Division Multiple Access) para compartilhar a largura de banda do cabo entre os assinantes.

Quando um modem a cabo é conectado e ligado, ele percorre os canais downstream em busca de um pacote especial emitido periodicamente pelo headend para fornecer parâmetros de sistema aos modems recém-conectados. O modem anuncia sua presença em um dos canais upstream e, em seguida, o headend atribui o modem aos canais upstream e downstream. Essas atribuições podem ser alteradas posteriormente para equilibrar a carga.

Nos canais downstream, cada modem a cabo envia dados em um canal e modula o sinal utilizando QAM-64 ou QAM-256. Para upstream, devido ao maior ruído de RF e ao uso de um esquema mais conservador, são utilizadas modulações que variam de QPSK a QAM-128. A TDM é usada para compartilhar largura de banda no upstream entre os assinantes, e o CDMA pode ser usado para resolver disputas de minislots entre os assinantes.

No downstream, os canais são gerenciados de forma diferente, com apenas um transmissor (o headend) e um tamanho de pacote fixo de 204 bytes, dos quais 184 bytes são para carga útil do usuário. Isso permite compatibilidade com a televisão digital usando MPEG-2, garantindo que os canais de TV e os canais de dados downstream sejam formatados de maneira idêntica.

**2.8.5 Comparação entre ADSL e Cabo**

A comparação entre ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) e cabo depende das necessidades individuais de cada usuário. Vamos analisar alguns aspectos dessas tecnologias:

1. Capacidade Teórica de Transporte: O cabo coaxial tem uma capacidade teórica de transporte muito maior do que o par trançado utilizado pelo ADSL. No entanto, parte dessa largura de banda do cabo é dedicada a programas de TV, o que reduz a capacidade disponível para dados.
2. Capacidade Efetiva: Provedores de ADSL geralmente fornecem taxas de banda específicas e consistentes, enquanto provedores de serviços a cabo podem limitar artificialmente a largura de banda para cada usuário. A capacidade efetiva do cabo pode variar dependendo da quantidade de usuários ativos no segmento de cabo.
3. Desempenho com o Aumento de Usuários: Enquanto o desempenho do ADSL não é afetado pelo aumento de usuários, o desempenho do cabo diminui à medida que mais assinantes se conectam, a menos que a infraestrutura seja atualizada.
4. Segurança: O ADSL é inerentemente mais seguro, pois é um meio ponto a ponto. Em contrapartida, os usuários de serviços a cabo podem potencialmente interceptar pacotes de outros usuários, exigindo que os provedores de cabo criptografem todo o tráfego.
5. Confiabilidade: O sistema telefônico é geralmente mais confiável do que o sistema a cabo. Por exemplo, o telefone continua funcionando durante uma queda de energia, enquanto uma falha em qualquer amplificador ao longo da cadeia do cabo pode desconectar todos os usuários abaixo dele.
6. Disponibilidade e Escolha de ISPs: A disponibilidade de ADSL pode ser limitada pela proximidade com a estação final, enquanto o acesso à Internet por cabo pode estar mais amplamente disponível. No entanto, os usuários de ADSL geralmente têm mais opções de provedores de serviços de Internet do que os usuários de cabo.

Em resumo, não há uma resposta definitiva sobre qual tecnologia é melhor, pois depende das prioridades individuais do usuário, como necessidades de largura de banda, segurança, confiabilidade e disponibilidade local.