

CODIFICAÇÃO DE DADOS

Na transmissão de dados de uma origem para um destino, uma questão importante é entender qual a natureza desse dado, o meio usado para propagá-lo e quais processamentos ou ajustes que devem ser feitos ao longo da transmissão para garantir a sua recepção de forma inteligível. Para responder a todos estes requisitos, é imperativo compreender a aplicação dos termos analógico e digital no contexto da (i) definição dos dados, (ii) da sinalização, e (iii) da transmissão propriamente dita. Os primeiros dois itens são tratados na seção 1 enquanto o terceiro item é tratado na seção 2.

1. Tipos de Dados e Sinais

Conceitualmente, dados podem ser considerados como entidades associadas a um ou mais significados e que, quando disponibilizadas ao usuário de forma correta, podem se transformar em informação ou conhecimento. No contexto da comunicação de dados, os dados podem ser: (i) analógicos, quando a fonte desse dado é analógica por natureza, como é o caso da fala humana, ou (ii) digitais, quando a fonte desse dado é um equipamento digital, como o caso de um texto produzido em um computador. Sinais, por sua vez, são a codificação elétrica ou eletrônica de dados e podem ser caracterizadas como: (i) ondas senoidais contínuas quando geradas por um modulador, provocando a chamada transmissão analógica, ou (ii) ondas quadradas quando geradas por um codificador, provocando a chamada transmissão digital.

Do ponto de vista da performance da sinalização (analógica ou digital), mantendo constantes os demais fatores que influenciam na taxa de transmissão, os seguintes pontos são verdadeiros:

- ⇒ Um aumento na taxa de dados aumenta a taxa de erros dos bits (ocorre um aumento da probabilidade de recepção errada de um bit)
- ⇒ Um aumento na relação S/N (Sinal/Ruído) diminui a taxa de erros na recepção dos bits
- ⇒ Um aumento na largura de banda permite um aumento na taxa de dados

As sub-seções que se seguem abordam as possíveis combinações de dado e sinal.

1.1 Sinais digitais transmitindo dados digitais

Um sinal digital é uma sequência de pulsos de voltagens descontínuas e discretas e são chamados de elementos de sinal. Codificar bits num sinal digital significa associar determinados comportamentos do sinal digital ao bit 1 (um) e outros comportamentos ao bit 0 (zero). Para que o esquema de codificação proposto funcione corretamente, a tarefa envolvida na interpretação do sinal pelo receptor pode ser sumarizada da seguinte maneira:

- (i) O receptor deve conhecer o tempo de cada bit, ou seja, deve saber com alguma precisão quando um bit começa e termina. Esse é o referencial mínimo para permitir a realização das amostragens (leitura das voltagens) do sinal no momento certo pelo receptor¹. Nessa questão está implícita a necessidade de um relógio de referência entre as partes comunicantes. Existem basicamente três alternativas de sincronização de relógio: (a) Relógio único paralelo fazendo chegar pulsos de sincronização em cada uma das partes ao mesmo tempo; (b) Cada uma das partes contendo um relógio de alta precisão previamente acertado; (c) O receptor possuindo um Circuito Recuperador de Relógio (RLL) que pode ser sensibilizado pela alternância de voltagens do sinal de dados que chega. Dessas três opções, a última é uma das mais utilizadas devido à sua praticidade.
- (ii) O receptor deve conhecer a relação entre as voltagens e a representação dos bits zero e um. Aqui existem duas possibilidades mais genéricas: (a) cada bit é representado pela aplicação de uma determinada voltagem durante o tempo de validade do bit, e (b) cada bit é representado pela alternância de voltagens do sinal, ou seja, durante o tempo de validade do bit, ocorre uma mudança de voltagens e a maneira como essa mudança ocorre representa os bits zero e um.

Existem diversas formas de codificação de bits, mas no contexto deste documento, apenas 04 (quatro) tipos básicos serão mostrados, de acordo com a tabela abaixo:

Método de codificação	Representação dos bits
ON-OFF	⇒ bit 1 corresponde à emissão de um pulso ⇒ bit 0 corresponde à não emissão de pulso
NRZ-L	⇒ bit 1 emissão de voltagem positiva no intervalo do bit ⇒ bit 0 emissão de voltagem negativa no intervalo do bit
Manchester (usada no IEEE802.3)	⇒ bit 0 = transição de alto para baixo no meio do intervalo do bit ⇒ bit 1 = transição de baixo para alto no meio do intervalo do bit
Manchester Diferencial (usada no padrão IEEE802.5)	Existe sempre uma transição no meio do intervalo, mas para diferenciação dos bits: ⇒ bit 0 = transição no começo do intervalo do bit ⇒ bit 1 = não há transição no começo do intervalo do bit

¹ Em geral essas amostragens são feitas próximas do meio do intervalo de validade do bit.

Dentre os métodos apresentados, pode-se dizer que os sinais ON-OFF (unipolar) e NRZ-L (polar)² são os mais simples de transmitir, pois existe uma correspondência de um para um entre os bits e os elementos de sinal. Em métodos que usam esse tipo de convenção é possível perceber as seguintes características:

- (a) Capacidade de aproveitar melhor a largura de banda do canal
- (b) Facilidade de implementação do método de codificação e a respectiva percepção dos bits pelo receptor
- (c) Dificuldade de representar seqüências contínuas de zeros ou uns. Em alguns casos são necessárias técnicas de embaralhamento dos bits (acordadas entre transmissor e receptor) para evitar rajadas de bits iguais consecutivos.
- (d) Incapacidade de transportar transições regulares (oscilações) suficientes para excitar o circuito recuperador de relógio (RLL) na recepção.
- (e) Grande sujeição ao fenômeno da atenuação e, é, portanto, mais apropriado para distâncias curtas.

Os métodos Manchester e Manchester Diferencial estão na categoria de esquemas que representam os bits pela alternância de voltagens. Como características desses métodos de codificação pode-se citar os seguintes:

- (a) As alternâncias de voltagens inerentes a métodos dessa natureza produzem muito mais flexibilidade para sensibilização e recuperação de relógio (RLL) no receptor;
- (b) Alternâncias para representação dos bits possuem menos sujeição à atenuação do que os métodos de representação com voltagens fixas.
- (c) A largura de banda necessária para o transporte dos bits é muito maior do que no esquema de voltagens fixas (vide sub-seção a seguir).

1.1.1 Relação entre o esquema de codificação e a taxa de transmissão

Para a sinalização digital existem diversas técnicas de codificação e essa escolha é feita visando otimizar o uso do meio de transmissão, em função de parâmetros tais como a largura de banda disponível ou a taxa de erros permitida na transmissão. Portanto, a performance da transmissão depende do esquema de codificação utilizado entre as partes, mas esse não é o único elemento que deve ser analisado para a tomada de decisão. Quanto ao mapeamento dos bits de dados nos elementos de sinal, algumas definições podem ser dadas:

- A taxa de sinalização de dados (ou apenas taxa de dados de um sinal) é a taxa em bits por segundo, que os dados são transmitidos. A duração ou comprimento de um bit é a quantidade de tempo que o transmissor demora em transmitir um bit. Por exemplo, para uma taxa de dados R , a duração de um bit é $1/R$.
- A taxa de modulação é a taxa na qual o nível de sinal é alterado. Isto depende da natureza da codificação digital. A taxa de modulação é medida em bauds, que diz a quantidade de elementos de sinal representados num segundo.

Para entender a influência do esquema de codificação na taxa de transmissão, considere um canal com uma taxa de 10 Mbaud, ou seja, um canal capaz de emitir 10 milhões de elementos de sinal (ou voltagens) por segundo. Se o esquema de codificação for o NRZ-L, onde um elemento de sinal corresponde a um bit, a taxa de transmissão é igual a 10Mbps. Por outro lado, se o esquema de codificação for o Manchester ou Manchester Diferencial, nos quais um bit é representado pela alternância dos bits, a taxa de transmissão desse canal será igual a 5 Mbps. Em outras palavras, um canal com largura de banda de 5MHz consegue transmitir 10Mbps numa codificação NRZ-L, e apenas 5 Mbps se a codificação adotada for Manchester ou Manchester Diferencial.

É importante observar que a largura de banda não é o único fator que determina a escolha por um método de codificação. Cada tipo de codificação possui características que o projetista deve levar em consideração para escolha. Dentre eles é possível citar alguns, tais como:

- Custo e complexidade dos circuitos - Embora os investimentos em tecnologia digital estejam contribuindo para a redução na queda dos preços dos circuitos, a questão de custo não pode ser desconsiderada. Em outras palavras, quanto mais alta a taxa de sinalização (bauds) necessária para alcançar uma determinada taxa de dados, maior o custo.
- Forma de detecção de erros - Existem várias técnicas de detecção de erros, e uma delas é relacionada à percepção de voltagens consecutivas que não representam sinal algum. Por exemplo, numa codificação Manchester, onde o bit 0 é obtido pela alternância de voltagens Alto-Baixo e o bit 1 pelas voltagens Baixo-Alto, ao perceber seqüências como Baixo-Baixo ou Alto-Alto, o receptor pode entendê-las como erros de transmissão.
- Imunidade a ruídos - Certos códigos exibem uma performance superior na presença de ruídos do que outros. Tem a ver com uma série de fatores, incluindo a quantidade de componentes que esse sinal possui.

1.2 Transmissão por sinais analógicos

² Se os elementos de sinal possuem todos o mesmo sinal algébrico, isto é, positivo ou negativo, então esse sinal é unipolar, como é o caso da sinalização ON-OFF. Na sinalização polar um estado lógico representa por um nível de voltagem positivo e o outro estado é representado por um nível de voltagem negativo, como é o caso da sinalização NRZ-L.

A sinalização analógica é uma técnica popular com utilização garantida nos sistemas de transmissão, devido a diversos fatores, dentre eles, alguns bastante consideráveis:

- (i) A fibra ótica é um meio de transmissão que ocupa uma posição de destaque na transmissão de dados pelas suas qualidades (alta capacidade de transmissão, baixa taxa de erros, etc.) é um meio que consegue propagar apenas sinais de luz que são por natureza, analógicos;
- (ii) Meios não guiados como é o caso do espaço aéreo trabalham melhor a sinalização analógica – Nesse caso a modulação é necessária para alterar o espectro de freqüências da fonte para freqüências mais altas a fim de que esse sinal seja perceptível por antenas convencionais^{3, 4};
- (iii) O sistema de telefonia é ainda a estrutura de comunicação mais capilarizada que se conhece, permitindo, de uma forma ou de outra, a transmissão de dados entre usuários, em qualquer lugar no planeta.

A base para a sinalização analógica é um sinal contínuo conhecido como sinal portador (ou onda portadora) cuja freqüência deve ser constante (f_c) e compatível com o meio de transmissão que está sendo usado. O dado de entrada (analógico ou digital) nesse contexto é denominado sinal modulante ou sinal em banda básica (não alterado). O resultado de modular a portadora de acordo com esse sinal de entrada gera um sinal modulado com largura de banda limitada e espectro compatível com a freqüência f_c da portadora.

O equipamento utilizado para injetar dados no sistema de transmissão analógico é denominado MODEM (Modulador/Demodulador), que possui diferentes níveis de complexidade, dependendo da sua aplicabilidade. No caso da fala humana para a rede de telefonia, por exemplo, os modems são usados para alterar o espectro de freqüências do sinal de voz de modo a acomodar diversos canais num mesmo meio de transmissão, cada um ocupando uma determinada faixa de freqüências, técnica essa conhecida como FDM. A figura a seguir representa, do lado esquerdo a freqüência normal de um sinal de voz, e do lado direito, três sinais de voz (de igual freqüência) ajustados num espectro diferente do original (300 a 3400 Hz, que é a faixa de freqüências correspondente à fala humana).



Nesse caso a voz humana é transportada nos contornos da portadora e esse método é conhecido como sinalização em banda básica, pois não há alterações no sinal original. As mesmas técnicas básicas são usadas para modems que produzem sinais a altas freqüências (exemplo: microondas).

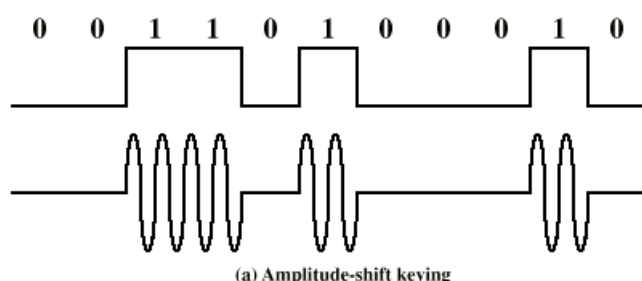
Para dados digitais, os modems promovem uma atividade extra que é a conversão de dados digitais na forma analógica pela alteração das características de amplitude, freqüência ou fase do sinal portador. Nesse ponto vale lembrar que a rede de telefonia foi projetada para receber, comutar e transmitir sinais analógicos com freqüências em torno de 4KHz, suficiente para acomodar a faixa de freqüência da voz humana e acomodar uma sinalização máxima em torno de 2400 baud. Embora muitas mudanças estejam ocorrendo no chamado *loop* local (contato da operadora com o assinante)⁵, as fontes digitais precisam ter seus dados adaptados a essas limitações para viabilizar a transmissão de dados.

As técnicas de codificação de bits em sinais analógicos podem ser classificadas da seguinte maneira:

- ASK - Amplitude-shift Keying
- FSK - Frequency-shift Keying
- PSK - Phase-shift Keying

Em todos os casos, o sinal resultante ocupa uma largura de banda centrada na freqüência da portadora.

Na técnica ASK os dois valores binários são representados por dois diferentes níveis de amplitude da portadora. Comumente uma das amplitudes é zero, isto é, um dígito binário é representado pela presença da portadora, numa amplitude constante, e a outra pela ausência da portadora. O sinal resultante é, portanto $s(t) = A \cos(2\pi f_1 t)$ ► binário 1, e $s(t) = 0$ ► binário zero, onde $A \cos(2\pi f_1 t)$ é a portadora do sinal. ASK é suscetível a súbitos ganhos e é uma técnica de modulação ineficiente. Em linhas de voz, é tipicamente usada para transmissão na faixa de 1200bps, para uma taxa de sinalização de 2400 baud.



³ As chamadas antenas convencionais se referem às antenas comerciais e que só conseguem interceptar sinais com freqüências altas. Para conseguir captar sinais analógicos centrados em baixas freqüências, uma antena deve ter um diâmetro imenso, na ordem de quilômetros.

⁴ Um outro motivo evidente para a modulação é o fato de que o espectro de freqüências de meios não guiados como o ar está totalmente mapeado para necessidades específicas e não é recomendado utilizá-lo sem se atentar para este fato.

⁵ Atualmente existem alternativas de comunicação tais como as tecnologias xDSL, Cable Modem e WLL (Wireless Local Loop), dentre outras em estudo.

No FSK, os dois valores binários são representados por diferentes freqüências próximas da freqüência da portadora. O sinal resultante é:

$$\Rightarrow s(t) = A \cos(2\pi f_1 t), \text{ para o binário 1, e}$$

$$\Rightarrow s(t) = A \cos(2\pi f_2 t) \text{ para o binário zero,}$$

onde f_1 e f_2 são variações da freqüência da portadora f_c por quantidades iguais, porém opostas.

A figura ao lado apresenta um exemplo do uso de FSK para operação *full-duplex* sobre uma linha de voz. Nessa figura, deve-se perceber que o domínio de 300 a 3400Hz foi dividido em duas freqüências, com faixas de 1170Hz cada uma, para permitir a transmissão *full-duplex* (transmissão nos dois sentidos ao mesmo tempo). Em uma direção as freqüências usadas para representar o zero e o um são centradas em 1170Hz com uma folga de 100Hz em cada lado. O efeito de alternar entre essas duas freqüências produz um sinal cujo espectro é indicado com a área cinza. Similarmente, para a outra direção, o modem usa freqüências centradas em 2125Hz com folgas de 100Hz em cada lado. Este sinal está apresentado na parte cinza da direita da figura.

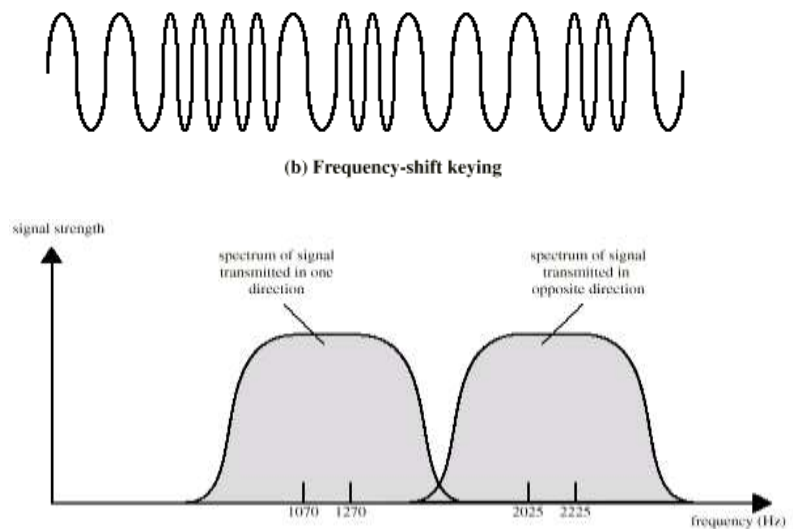
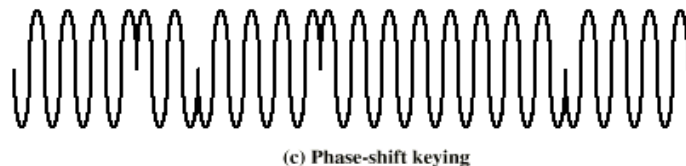


Figure 5.8 Full-Duplex FSK Transmission on a Voice-Grade Line

Algumas características do FSK:

- É menos suscetível a ruídos do que o ASK.
- Em linhas de voz, a sinalização em 2400 bauds consegue taxas similares ao do ASK que é em torno de 1200bps.
- É comumente usado para transmissão de rádio a altas freqüências (3 a 30MHz).
- Usado para separar freqüências altas em alguns tipos de redes locais que usam cabo coaxial.

No PSK, a fase da portadora é alterada para poder representar os dados. Significa dizer que o sinal sofre um ou mais atrasos (medido em graus) em relação ao valor de referência da portadora. A figura ao lado é um exemplo de um sistema de duas fases representando a sequência de bits 00110100010. Nesse caso um



binário zero é representado por enviar uma rajada de sinal na mesma fase da rajada de sinal anterior e o binário um é representado por enviar uma rajada de sinal de fase oposta à rajada anterior. Isto é conhecido como PSK diferencial, uma vez que a mudança na fase é feita com relação à fase anterior. O sinal resultante possui a seguinte fórmula: $s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi)$ para o binário 1 (um), e $s(t) = A \cos(2\pi f_c t)$ para o binário 0 (zero), com a fase relativa medida para o intervalo anterior do bit.

Uma utilização mais eficiente pode ser alcançada se cada elemento de sinal representar mais do que um bit. Por exemplo, ao invés de alterar a fase em 180° como foi apresentado, pode-se utilizar alterações de fase por múltiplos de 90° , e nesse caso, cada elemento de sinal representa dois bits ao invés de um, conforme pode ser exemplificado abaixo:

$$\Rightarrow s(t) = A \cos(2\pi f_c t + 45^\circ) = \text{bit 11} \quad \Rightarrow s(t) = A \cos(2\pi f_c t + 225^\circ) = \text{bit 00}$$

$$\Rightarrow s(t) = A \cos(2\pi f_c t + 135^\circ) = \text{bit 10} \quad \Rightarrow s(t) = A \cos(2\pi f_c t + 315^\circ) = \text{bit 01}$$

Portanto, mesmo com limitação do sinal em 2400 baud, é possível alcançar uma taxa de dados maior, uma vez que vários tipos de atrasos podem ser gerados, sem alterar as características básicas de amplitude e freqüência do sinal (que são mais afetadas pela limitação da largura de banda). Então, quanto mais atrasos um sinal contiver, mais bits por elemento de sinal será possível representar. Por exemplo, é possível transmitir três bits por vez usando um esquema de oito diferentes fases e quatro bits por elemento de sinal se forem usados 16 fases diferentes.

Na comunicação de dados por modem, existe uma terminologia que diz que uma constelação de um modem é definida como um conjunto de pontos, onde cada ponto é formado por diferentes fases, amplitudes e freqüências ou uma combinação dessas técnicas. Portanto, quanto maior for a constelação de pontos de um modem, maior a quantidade de bits por ponto e maior a taxa de transmissão.

Um padrão de codificação comum nos modems é conhecido como V.32 e é uma constelação de pontos formada por doze fases, mas quatro delas possuem duas amplitudes, totalizando 16 pontos e quatro bits por ponto para uma taxa de modulação de 2400 baud. Essa técnica, conhecida como QAM (*Quadrature Amplitude Modulation* ou modulação por quadratura de amplitude), consegue gerar uma taxa de 9600 bps.

Neste exemplo, fica muito clara a diferença entre a taxa de dados R (em bps) e a taxa de modulação D (em bauds) de um sinal. Assumindo que este esquema está sendo empregado numa entrada NRZ-L (entrada digital), a taxa de modulação pode ser vista como $R/4$, na medida em que cada mudança de elemento de sinal comunica 4 bits. Esta é a razão pela qual os modems modernos usam técnicas avançadas para representar mais bits por elemento de sinal num canal de voz, uma vez que a largura de banda (4KHz) é limitada. A tabela abaixo apresenta os padrões adotados pelos principais fabricantes de modem:

Padrão	Pontos na constelação	Bits por ponto	Taxa (em 2400 baud)
V.32	16	4	9600bps
V.32 bis	64	6	14400 bps
V.34	4096	12	28800 bps
V.90	16.777.216	24	57600 bps

É interessante perceber que, para taxas de dados maiores, o número de pontos na constelação cresce exponencialmente. No caso do padrão V.90, por exemplo, o número de pontos é tão grande que existem limitações de distância e número de amplificadores entre a origem e o destino para que essa taxa seja alcançada⁶. Métodos complementares como os padrões MNP-5 e V.42bis conseguem uma taxa de dados maior pelo uso de algoritmos de compressão antes de envio dos dados.

1.3 Sinais digitais transmitindo dados analógicos

Nessa seção é examinado o processo de converter dados analógicos em sinais digitais, processo esse conhecido como digitalização. Uma vez que um dado analógico é convertido em dado digital, uma série de coisas podem acontecer, sendo que as três coisas mais importantes são as que estão listadas abaixo:

O dado digital pode ser transmitido usando NRZ-L. Neste caso

Apresenta dado de voz que são digitalizados e então convertidos para um sinal analógico ASK. Isto permite transmissão digital no sentido do que já foi visto anteriormente. O dado de voz, por que tem sido digitalizado, pode ser tratado como dado digital,

O dispositivo usado para converter dado analógico na forma digital para transmissão e, subsequentemente, é capaz de recuperar dados analógicos originais a partir de um sinal digital é conhecido como CODEC (coder/decoder). Existem duas técnicas mais conhecidas e utilizadas em codecs. A primeira é a DM (Delta Modulation) que A segunda é a técnica PCM (Pulse Code Modulation) que ...

A técnica PCM é baseada no teorema da amostragem que diz o seguinte:

"Se um sinal $f(t)$ é amostrado a intervalos regulares de tempo e a taxa é maior do que duas vezes a frequência de sinal mais significativa, então as amostras contêm toda a informação do sinal original. A função $f(t)$ pode ser reconstruída dessas amostragens pelo uso de filtros passa-baixa."

Portanto, se o dado de voz é limitado a frequências abaixo de 4000Hz, um procedimento conservador para a inteligibilidade, 8000 amostras por segundo serão suficientes para caracterizar completamente este sinal de voz, mesmo que essas sejam amostras analógicas.

Em outras palavras, um sinal pode ter largura de banda B , serão necessárias amostras a uma taxa de $2B$, uma vez a cada $1/2B$ segundos. Essas amostras são representadas como barras estreitas cuja amplitude é proporcional ao valor do sinal original. Este processo é conhecido como PAM ou *Pulse Amplitude Modulation*. Para produzir dados PCM, as amostras PAM são quantizadas, isto é, a amplitude de cada pulso PAM aproximado por um inteiro de n -bits.

Uma boa reprodução de voz via PCM pode ser alcançada com 128 níveis de quantização, ou codificação em 7 bits. Um sinal de voz, conservadoramente, ocupa uma largura de banda de 4KHz. Portanto, de acordo com o teorema da amostragem, amostras devem ser feitas a uma taxa de 8000 vezes por segundo para recuperação do sinal. Isto implica em uma taxa de $8000 \times 7 = 56\text{Kbps}$ para dados digitais codificados na forma PCM.

Vamos considerar o que isto significa do ponto de vista de utilização da largura de banda. Um sinal de voz analógico ocupa 4KHz. Um sinal digital de 56Kbps requer uma largura de banda de pelo menos 28KHz. Diferenças mais drásticas têm sido percebidas à medida em que se necessita de larguras de bandas mais altas. Por exemplo, um esquema PCM comum para televisão colorida usa codificação de 10bits, o qual trabalha a uma taxa de 92Mbps para um sinal de largura de banda de 4,6MHz. O interessante é que, indiferente a esses números, as técnicas digitais continuam a crescer em popularidade para transmissão de dados analógicos. As principais razões para essa escolha são:

- ⇒ Por que repetidores são usados ao invés de amplificadores, não existem ruídos adicionais.
- ⇒ A técnica de multiplexação por divisão de tempo (TDM) é usada para sinais digitais ao invés de usar FDM (multiplexação por divisão da frequência). Como a TDM não existe ruído de intermodulação, conforme será visto mais adiante.
- ⇒ A conversão de sinalização digital permite o uso mais eficiente das técnicas de comutação digital.

⁶ Em geral a distância entre os modems comunicantes não deve ser mais do que dois ou três quilômetros, e a linha de transmissão deve ter boas características de imunidade a ruídos.

Além disso as técnicas estão sendo desenvolvidas para prover códigos mais eficientes. No caso da voz, um objetivo razoável aparece na vizinhança de 4Kbps. Com vídeo, a vantagem pode ser feita quadro a quadro, a maior parte dos elementos da figura não irão mudar. Técnicas de codificação interquadros permitiriam os requerimentos de vídeo serem reduzidos em até 15Mbps, e para as cenas que mudam vagarosamente, tais como as encontradas em vídeo conferência, serão necessários 64Kbps ou menos.

Como um ponto final, é importante mencionar que, em muitos casos, o uso do sistema de telecomunicações resultarão em processamento tanto analógico-para-digital quanto digital-para-analógico. A maior parte das terminações locais das redes de telecomunicação são analógicas e a rede usa uma mistura de técnicas digital e analógica. Como um resultado, dados digitais no terminal do usuário podem ser convertidos para analógico por um modem, subsequentemente digitalizado por um codec, e talvez sofra repetidas conversões antes de alcançar o seu destino.

Por este motivo, os recursos de telecomunicações manuseiam sinais analógicos que representam dados de voz e digitais. As características das formas de onda são muito diferentes. ...

2. Transmissão Analógica x Transmissão Digital

A transmissão de dados por sua vez, está relacionada aos recursos utilizados para garantir a entrega dos dados no destino. Enquanto que na transmissão analógica a estrutura de comunicação, incluindo amplificadores, não se preocupa com a natureza ou o tipo de informação que está sendo transferido, na transmissão digital toda a infra-estrutura de transporte do sinal está intimamente relacionada com o tipo dos dados (analógico ou digital) que estão sendo transportados.

Enquanto que na transmissão analógica é o meio de transmitir sinais analógicos sem se preocupar com o seu conteúdo. Esses sinais podem representar dados analógicos ou digitais. Nesse caso, o sinal analógico se tornará mais fraco (atenuado) com a distância, e a maneira

Transmissão digital em contrapartida, está relacionada ao conteúdo do sinal. Um sinal digital pode ser transmitido apenas a uma distância limitada antes que a atenuação comprometa a integridade dos dados. Para grandes distâncias, repetidores devem ser usados. Um repetidor recebe o sinal digital, recupera o padrão de 0s e 1s e retransmite o novo sinal.

A mesma técnica pode ser usada com um sinal analógico se é assumido que este sinal carrega dado digital. O sistema de transmissão tem repetidores ao invés de amplificadores. O repetidor recupera o dado digital do sinal analógico e gera um novo sinal analógico mais limpo. Portanto, o ruído não é acumulativo.

A questão que surge é por que a preferência pela transmissão digital. A indústria de telecomunicações tem investido muito tempo e dinheiro para a conversão gradual do sistema de transmissão de analógico para digital, devido a diversos fatores. Abaixo estão citados alguns.

- ⇒ Tecnologia digital - O advento das tecnologias LSI e VLSI tem causado uma contínua redução no custo e no tamanho dos circuitos digitais. Equipamentos analógicos não estão sofrendo uma progressão similar.
- ⇒ Integridade dos dados - Como o uso de repetidores ao invés de amplificadores os efeitos dos ruídos e outras imperfeições do sinal são não cumulativas. Por isso, é possível transmitir dados sobre grandes distâncias e sobre linhas de qualidade mais baixas, podendo, ainda por cima, preservar a integridade dos dados.
- ⇒ Utilização da capacidade - Tem se tornado bastante econômico construir linhas de transmissão de alta largura de banda, incluindo canais de satélite e conexões envolvendo fibra ótica. Um alto grau de multiplexação é necessário para efetivamente utilizar tal capacidade, e é mais fácil e barato alcançar isto por meio de técnicas digitais (divisão do tempo) do que com técnicas analógicas (divisão de frequências).
- ⇒ Segurança e Privacidade - Técnicas de encriptação pode ser prontamente aplicadas à dados digitais e também para dados analógicos, desde que sejam digitalizados.
- ⇒ Integração - Por tratar tanto os dados digitais quanto os dados analógicos na forma digital, todos os sinais tem a mesma forma e podem ser tratados de forma similar. Portanto, economia de escala e conveniências podem ser alcançadas por integrar voz, vídeo e dados digitais num mesmo meio.