

A Camada Física

Introdução

A camada física tem a função de transmitir um fluxo de bits de uma máquina até a próxima máquina. Isso é feito por meio da codificação dos bits em sinais físicos (elétricos, eletromagnéticos ou óticos), a inserção desses sinais em um meio físico na máquina de origem, a recepção desses sinais na máquina de destino e a decodificação correta dos bits representados pelos sinais recebidos.

O projeto da camada física de uma tecnologia de redes de computadores precisa especificar: i) o **meio físico** a ser usado, incluindo comprimento máximo e os conectores e ii) como será feita a **codificação dos bits** em sinais físicos (o tipo de sinal, o tempo de duração do sinal, quantos bits podem ser enviados em um sinal).

Os meios físicos que suportam a transmissão de um sinal sempre oferecem alguma resistência à passagem desse sinal. Conforme o sinal vai atravessando o meio físico, sua potência (intensidade) vai sendo reduzida pela resistência natural do meio. Essa diminuição da potência do sinal é chamada **atenuação**. Isso limita a distância que um meio físico pode transportar um sinal.

1. Sinais Analógicos.

Os sinais analógicos possuem uma variação contínua ao longo do tempo, e qualquer valor dentro de certos limites é considerado válido. Por exemplo, se o meio físico suporta sinais elétricos analógicos entre -12V e +12V, a quantidade de valores possíveis nessa faixa é infinita, pois qualquer valor no intervalo $[-12, +12]$ é válido. Por exemplo, 5,44V é um valor válido. 5,45V é outro valor válido próximo, mas diferente. Entre eles, ainda pode haver 5,441V, 5,442V, etc. Esses valores assumidos pelo sinal podem variar continuamente ao longo do tempo, como no exemplo da figura 1.

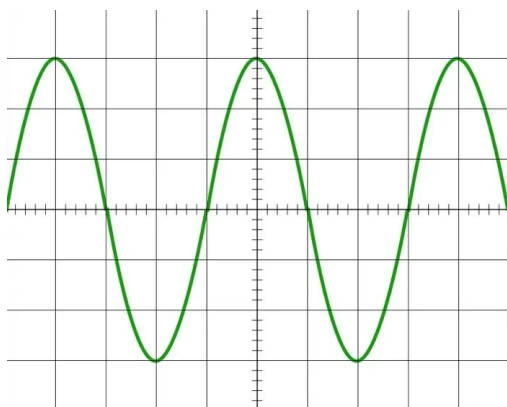


Figura 1. Exemplo de sinal analógico. Fonte: Wikipedia.

2. Sinais Digitais.

Os sinais digitais podem assumir apenas uma gama discreta de valores convencionados, permanecendo em um determinado patamar durante um tempo e mudando rapidamente para outro patamar, estabilizando novamente. Então a quantidade de valores possíveis é finita e contável. Por exemplo, um canal de comunicação pode estabelecer por convenção que os valores válidos de tensão para um meio físico que suporta de 0V a 10V são somente os valores inteiros 1V, 2V, 3V, 4V, 5V, 6V, 7V e 8V. Qualquer valor diferente será arredondado para o valor mais próximo. Assim, se o valor chegar no destino com 5,35V, será arredondado para 5V. Se chegar 5,65V, será arredondado para 6V. A figura 2 representa uma aproximação de um sinal analógico (em cinza) por um sinal digital (em vermelho). Observe que o sinal digital fica estabilizado no patamar mais próximo ao sinal analógico no instante da mudança de patamar.

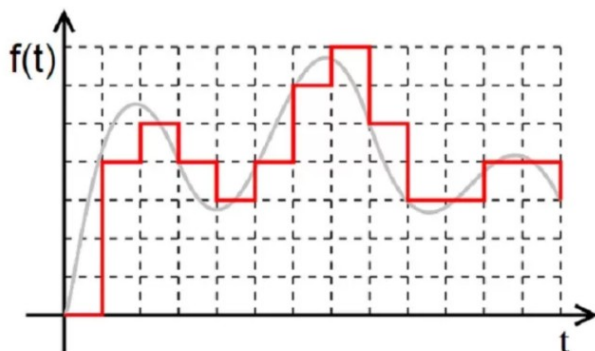


Figura 2. Sinal digital. Fonte (Wikipedia)

1.3 Modulação

Os bits nos computadores são sinais digitais binários (aceitam somente os valores 0 e 1). Os meios físicos em geral possuem uma capacidade maior de transportar sinais analógicos do que sinais digitais. Para serem transportados de modo mais eficiente pelos meios físicos a distâncias maiores, os bits precisam ser transportados por sinais analógicos, e essa conversão de digital para analógico é denominada **modulação**.

A modulação consiste em inserir uma informação alterando uma ou mais características de uma onda conhecida por ambas as partes, denominada **portadora**. Toda onda portadora possui três características: a **amplitude**, a **frequência** e a **fase**.

Na **modulação por amplitude** (AM – Amplitude Modulation), altera-se a amplitude (intensidade) da onda portadora de acordo com a informação que se quer transmitir. No exemplo ilustrado na figura 3 é enviado o sinal da portadora quando o bit a ser transmitido é 1, e não é transmitido nada quando o bit a ser transmitido é 0. Outra possibilidade é usar dois níveis de intensidade diferentes (um para 0 e outro para 1), sem necessariamente interromper

totalmente a transmissão.

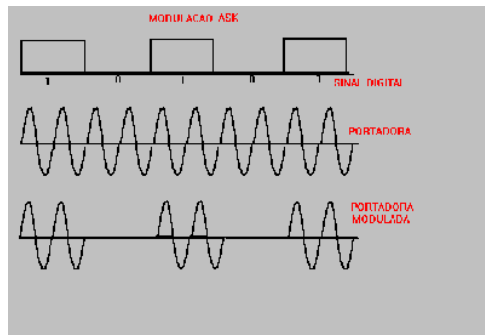


Figura 3. Modulação por Amplitude (AM). Fonte: <http://penta2.ufrgs.br/Alvaro/ask.html>

Na **modulação por frequência** (FM – Frequency Modulation), altera-se a frequência (número de oscilações por segundo) da onda portadora, de acordo com a informação que se quer transmitir.

A frequência de uma onda (medida em Hertz – Hz), indica a quantidade de oscilações da onda por segundo ($1\text{Hz} = 1$ oscilação completa da onda por segundo).

A figura 4 ilustra uma modulação por frequência, usando uma frequência mais baixa (menos oscilações por segundo) para o bit 0, e outra frequência mais alta (mais oscilações por segundo).

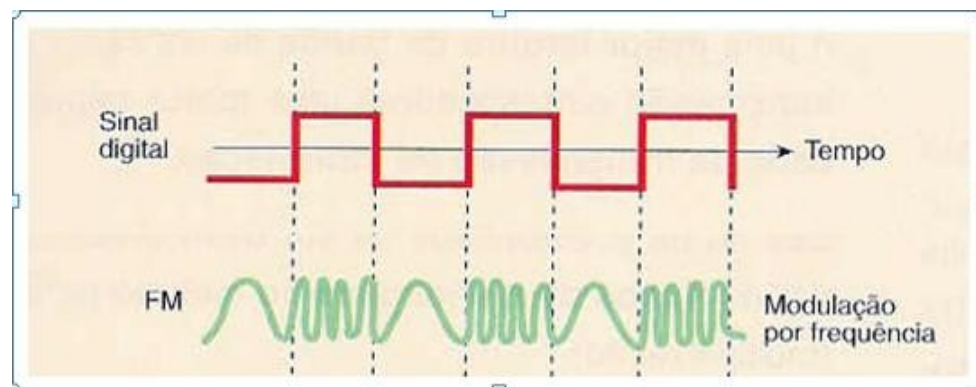


Figura 4. Modulação por Frequência (FM). Fonte: <https://cefiredes1.webnode.pt/modula%C3%A7%C3%A3o-e-demodula%C3%A7%C3%A3o/modula%C3%A7%C3%A3o-por-frequ%C3%AAncia/>

Na **modulação por fase** (PM – Phase Modulation), altera-se a fase (a posição que a onda se encontra, dentro do seu ciclo) da onda portadora, de acordo com a informação que se quer transmitir.

A fase de uma onda indica a posição que a onda se encontra dentro do seu ciclo, em

determinado instante de tempo. Pode estar, por exemplo, no pico (ponto mais alto), no vale (ponto mais baixo), ou em um momento ascendente (que o sinal está subindo) ou descendente (que o sinal está descendo). Alterar a fase significa alterar a posição do ciclo da onda. Se está na metade da subida, por exemplo, e houver uma alteração de 180° , passa a descer, do ponto em que estava.

A figura 5 ilustra a modulação por fase, com o desvio de 180° a cada mudança de bit 0 para 1 ou 1 para 0.

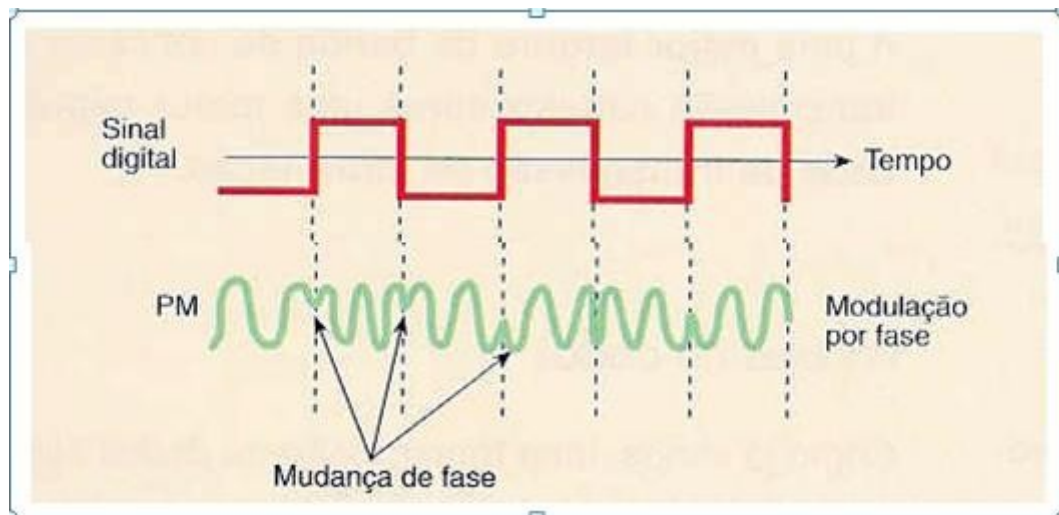


Figura 5. Modulação por Fase (PM). Fonte: <https://cefiredes1.webnode.pt/modulacao-e-demodulacao/modulacao-por-fase/>

Já a figura 6 ilustra os três tipos de modulação, para a mesma sequência de bits. Neste caso, para a modulação por amplitude há duas amplitudes diferentes, uma para o bit 0 e outra para o bit 1, na modulação por frequência há duas frequências diferentes, uma para o bit 0 e outra para o bit 1, e na modulação por fase, há o desvio de fase em 180° no início de cada bit 1. Nos bits 0 não há mudança de fase.

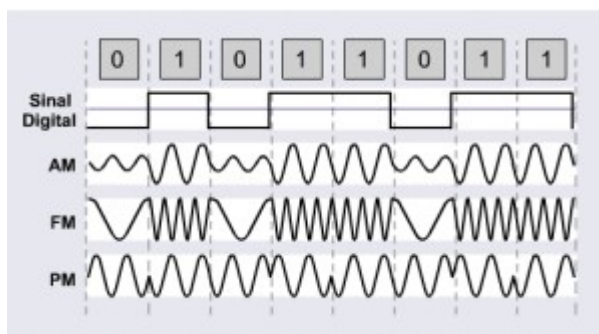


Figura 6. Três tipos básicos de modulação. Fonte: <https://rcomestpxaviersilva.wordpress.com/2012/10/01/tipos-de-modulacao-analogicos/>

1.4 Modem.

O processo que insere uma informação sobre uma onda portadora para transmissão é chamado de **modulação**. O processo inverso, de identificar (extrair) as informações presentes em uma onda portadora é chamado de **demodulação**. Por exemplo, uma estação de rádio FM faz a modulação do sinal, e o aparelho receptor de rádio faz a demodulação.

Em redes de computadores, a comunicação é sempre bidirecional, portanto os equipamentos precisam fazer tanto a modulação (para enviar o sinal para a outra ponta) quanto a demodulação (para receber o sinal da outra ponta). O aparelho que faz esse tipo de função é chamado Modem (**Modulador** e **demodulador**).

Existem modems para linhas telefônicas discadas, para linhas ADSL, para rede de TV a cabo, para fibra ótica, para sinal de celular, entre outros.

1.5. Interferência eletromagnética.

Sempre que há um fio condutor de eletricidade atravessando um campo magnético cuja intensidade varia ao longo do tempo, há a geração de uma tensão elétrica, e como consequência uma corrente elétrica nesse condutor.

Esse efeito físico é extensamente usado para a geração de eletricidade em usinas hidroelétricas, eólicas ou mesmo nos alternadores dos automóveis.

Mas isso produz resultados indesejados em comunicação de dados, pois cabos metálicos (ainda bastante usados em redes de computadores) e redes sem fio estão sujeitos a esse efeito.

Quando se insere um sinal elétrico em um cabo de rede metálico, esse sinal se propaga pelo cabo metálico até a sua outra extremidade. Mas junto com esse sinal original, chegam também eventuais alterações, para mais ou para menos, gerados por eventuais correntes elétricas induzidas. A esse efeito damos o nome de **interferência eletromagnética**.

É comum a uma onda principal, que contém uma frequência fundamental, serem somadas outras ondas com múltiplos dessa frequência fundamental. Essas outras ondas são chamadas de harmônicos. No exemplo da figura 6, há uma onda com frequência fundamental f , e outra onda cuja frequência é igual a $5f$. Observe que a onda resultante é a soma das duas ondas, ao longo do tempo, o que distorce a onda original.

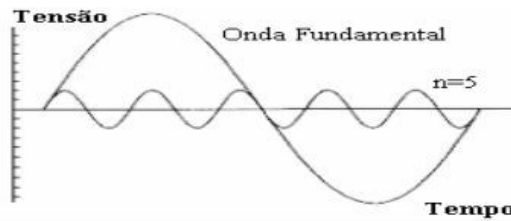


Figura 1: Onda fundamental com sua harmônica $n=5$ abaixo



Figura 2: Onda resultante da soma da onda da tensão e da harmônica $n=5$

Figura 6. Interferência eletromagnética de uma onda harmônica com frequência igual a 5 vezes a frequência da onda original.

Devido a essa interferência eletromagnética, uma informação que saiu da máquina de origem como um sinal que representa o bit 1, pode ser distorcido no caminho até o destino, e ser interpretado como um sinal que representa o bit 0, causando um erro.

Os protocolos das camadas superiores (notadamente o enlace) insere informações adicionais para conferir se houve algum erro em um ou mais bits, e em caso afirmativo solicita ao transmissor para enviar novamente o quadro. Mas o erro em um único bit provoca a inutilização de todo o quadro, forçando o reenvio. Quanto mais quadros com erro, obviamente mais retransmissões são necessárias, reduzindo o desempenho da rede.

Assim, para a rede ter um bom desempenho, a taxa de erros deve ser bastante baixa. Logo, a interferência eletromagnética sofrida pelo meio físico não deve ser suficiente para alterar com frequência a interpretação de um sinal de 0 para 1 ou de 1 para 0.

Isso implica que os sinais representativos de 0 e 1 devem ser suficientemente diferentes para que eventuais interferências eletromagnéticas não possam confundir o receptor, na maior parte do tempo.

6. Limite da capacidade de transmissão

Repare pelo exemplo da figura 2, que nem todo sinal digital é binário. Um sinal binário só pode assumir dois valores (por exemplo, 0 e 1). O exemplo do sinal digital da figura 2 pode assumir 8 valores diferentes, cada um representado por um nível na escala da figura. Para representar cada um dos 8 valores, são necessários 3 bits (000 a 111).

Assim, se o meio físico suportar 8 níveis de sinal diferentes, cada sinal pode

transportar 3 bits. Se o meio físico suportar 16 níveis diferentes de sinal, cada sinal pode transportar 4 bits (0000 a 1111). E assim por diante.

Esta é uma forma de aumentar a capacidade de transmissão de um meio de comunicação. Por exemplo, se um canal de comunicação suporta uma taxa de sinalização de 1.000 sinais enviados por segundo, e suporta a identificação com clareza de 32 níveis diferentes de sinal, podemos ter 32 sinais diferentes, o que significa que precisaremos de 5 bits para representar cada sinal, pois $2^5=32$. Logo, esse canal pode transportar 5.000 bits por segundo (1.000 sinais por segundo, cada sinal carregando 5 bits).

Para isso, supondo que o meio físico suporte uma variação de tensão de 32V (de 0V a 32V). Isso significa que a distância entre cada um dos sinais é de 1V, podendo seguir a tabela 1 para a representação dos sinais.

Tabela1. Exemplo de representação de sinais, com 32 níveis diferentes e 5 bits por sinal.

Voltagem	Bits
31V	11111
30V	11100
29V	11101
28V	11100
27V	11011
26V	11010
25V	11001
24V	11000
23V	10111
22V	10100
21V	10101
20V	10100
19V	10011
18V	10010
17V	10001
16V	10000
15V	01111
14V	01100
13V	01101
12V	01100
11V	01011
10V	01010
9V	01001
8V	01000
7V	00111
6V	00100
5V	00101
4V	00100
3V	00011
2V	00010
1V	00001

0V 00000

Ou seja, o nível de interferência eletromagnética que o sinal sofre no meio físico até chegar ao destino deve ser menor que 0,5V, para não chegar a alterar a interpretação do bit ao chegar ao destino.

Supondo que nesse caso, se um sinal 00000 = 0V saiu da origem, e foi gerada uma interferência de 0,6V, o destinatário vai arredondar para o valor mais próximo (com intervalo de 1V), e vai identificar que chegou um sinal 1V, que corresponde aos bits 00001. Isso já provocou um erro de interpretação. Então, a interferência eletromagnética não pode ser maior que a metade do intervalo entre os níveis de sinal.

Nesse caso, se a interferência eletromagnética puder gerar alterações da ordem de 0,6V, o intervalo entre os sinais deve ser maior. Por exemplo, em vez de dividir o sinal em 32 intervalos de 1V, pode-se dividir em 16 intervalos de 2V, conforme a tabela 2.

Tabela2. Exemplo de representação de sinais de 0V a 32V, com 16 níveis diferentes e 4 bits por sinal.

Voltagem	Bits
30V	1111
28V	1100
26V	1101
24V	1100
22V	1011
20V	1010
18V	1001
16V	1000
14V	0111
12V	0100
10V	0101
8V	0100
6V	0011
4V	0010
2V	0001
0V	0000

Com 16 níveis diferentes de voltagem é possível transportar 4 bits em cada sinal ($2^4=16$). Nesse caso, se o canal suportar 1.000 sinais por segundo, será capaz de transportar 4.000 bits por segundo, sem erros gerados por interferências de 0,6V. Se um sinal foi enviado com voltagem 0V, representando os bits 0000, e chegar no destino com 0.6V, ainda permanece mais próximo de 0V do que de 2V, sendo arredondado para 0V, ou seja, será interpretado como 0000. Assim, não houve erro.

Observe que o nível de interferência eletromagnética limita a capacidade de um meio

físico em transportar mais bits por segundo. Isso ocorre com mais frequência quando a distância entre a casa do usuário e o equipamento da operadora se encontra próximo ao limite de alcance da tecnologia utilizada. Por isso talvez você já tenha ouvido falar que alguém tem uma velocidade limitada no ADSL porque está longe da central da operadora.