

Capa Física

Fundamentos de la transmisión

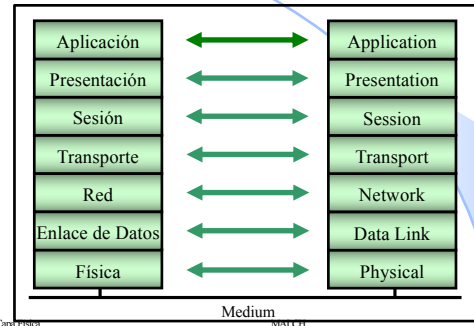
Dr. Miguel Angel León Chávez

Capa Física

MALCH

1

Modelo de Referencia OSI



Capa Física

MALCH

2

Servicios de la Capa Física

- Transforma los **datos** en una **señal electromagnética**, dependiendo del **medio de transmisión**
- Transmite/Recibe la señal electromagnética
- La señal electromagnética puede ser **codificada** o no
- La señal electromagnética puede ser **modulada** o no
- La transmisión puede ser síncrona o asíncrona
- La transmisión puede ser: simplex (un solo sentido) half-duplex (cualquier sentido, pero uno a la vez) o full-duplex (ambos sentidos)

Capa Física

MALCH

3

Definición

- Transmisor
 - emisor de una señal electromagnética
- Receptor
 - uno o más receptores de una señal electromagnética
- Medio de transmisión
 - medio por el que se propaga la señal electromagnética
 - Cableado
 - par trenzado, cable coaxial, fibra óptica
 - Inalámbrico
 - atmósfera, agua, vacío

Capa Física

MALCH

4

Datos

- Datos
 - entidades que transportan significado
- Datos analógicos
 - valores continuos en un intervalo de tiempo
 - p.e., sonido
- Datos digitales
 - valores constantes en un intervalo de tiempo
 - p.e., binarios

Capa Física

MALCH

5

Señal electromagnética

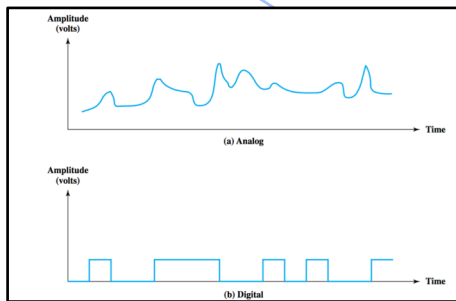
- Señal
 - representación eléctrico o electromagnética de los datos
- Señal analógica
 - la intensidad de la señal varia con el tiempo
- Señal digital
 - la intensidad de la señal permanece constante en un intervalo de tiempo y después cambia de valor

Capa Física

MALCH

6

Señales analógica y digital [1]



Capa Física

MALCH

7

Dominio del tiempo y de la frecuencia

- La señal electromagnética se puede expresar en el dominio del tiempo y de la frecuencia
- Tiempo
 - la amplitud de la señal varía con el tiempo
- Frecuencia
 - la señal consiste de componentes de diferentes frecuencias
 - especifica la amplitud pico de las frecuencias constituyentes de la señal

Capa Física

MALCH

8

Dominio del tiempo

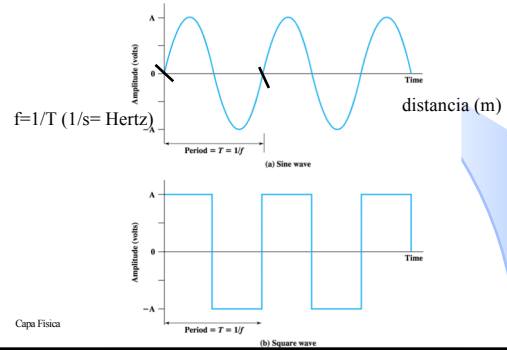
- Señal periódica
 - analógica o digital
 - el patrón se repite en el tiempo
 - $s(t+T) = s(t)$ $0 < t < \infty$
 - donde T es el periodo de la señal
- Señal aperiódica
 - analógica o digital
 - el patrón no se repite en el tiempo

Capa Física

MALCH

9

Señales periódicas [1]



Capa Física

10

Conceptos en el dominio del tiempo

- Periodo (T)
 - intervalo de tiempo en el que se repite la señal
 - $T = 1/f$
- Frecuencia (f)
 - razón, en ciclos por segundo o Hertz (Hz), en el que la señal se repite
- Amplitud pico (A)
 - valor máximo o intensidad de la señal en el tiempo; típicamente medido en volts

Capa Física

MALCH

11

Conceptos en el dominio del tiempo

- Fase (ϕ)
 - medida de la posición relativa en tiempo de una señal dentro de un periodo
- Longitud de onda (λ)
 - distancia ocupada por un solo ciclo de la señal, o
 - la distancia entre dos puntos de la fase correspondiente de dos ciclos consecutivos
 - P.e., asumiendo la velocidad v de una señal
 - $\lambda = vT$
 - $\lambda f = v$
 - velocidad de la luz en el espacio libre $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
 - velocidad del sonido $v = 343.2 \text{ ms}^{-1}$ (aire seco a 20°C)

Capa Física

MALCH

12

Parámetros de una onda senoidal

- Ecuación de una onda senoidal
 - $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$
- Las siguientes figuras muestran el efecto de variar los parámetros
 - (a) $A = 1, f = 1 \text{ Hz}, \phi = 0$; así $T = 1 \text{ s}$
 - (b) Reduciendo la amplitud pico; $A=0.5$
 - (c) Incrementando la frecuencia; $f=2$, así $T = 1/2$
 - (d) Desplazando la fase; $\phi = \pi/4$ radianes (45 grados)
- Note que: $2\pi \text{ radianes} = 360^\circ = 1 \text{ periodo}$

Capa Física

MALCH

13

Parámetros de una onda senoidal

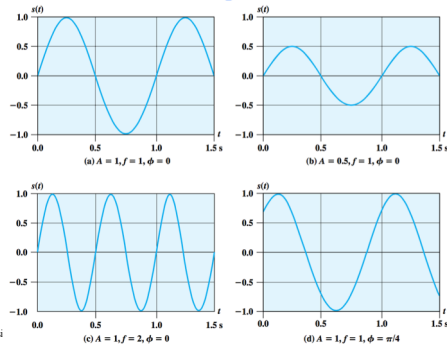
- $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$
- A : amplitud
- f : frecuencia
- $T : 2\pi 1/f$
- t : tiempo
- ϕ : fase

Capa Física

MALCH

14

Parámetros de una onda senoidal [1]



Capa Fisi

15

Tiempo vs Distancia

- Cuando el eje horizontal representa el *tiempo*, la gráfica muestra el valor de una señal en un punto dado en el *espacio* como una función del tiempo
- Cuando el eje horizontal representa el *espacio*, la gráfica muestra el valor de una señal en un punto dado en el tiempo como una función de la distancia
 - En un instante de tiempo particular, la intensidad de la señal varía como una función de la distancia desde la fuente de transmisión

Capa Física

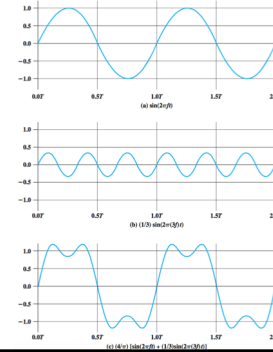
MALCH

16

Conceptos en el dominio de la frecuencia

- Cualquier señal electromagnética consiste de una colección de señales analógicas periódicas (ondas senoidales) de diferentes amplitudes, frecuencias y fases
- El periodo total de la señal es igual al periodo de la frecuencia fundamental
- Frecuencia fundamental, cuando todos los componentes en frecuencia de una señal son múltiplos enteros de una frecuencia

$$s(t) = (4/\pi) [(\text{Sen}(2\pi f t) + (1/3)\text{Sen}(2\pi(3f)t) + (1/5)\text{Sen}(2\pi(5f)t) + (1/7)\text{Sen}(2\pi(7f)t) + \dots]$$



Serie de Fourier de una señal periódica

- Cualquier señal periódica se puede representar como la suma de funciones senoidales, conocida como la serie de Fourier

$$x(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(2\pi n f_0 t) + B_n \sin(2\pi n f_0 t)]$$

- donde:
- f_0 es la frecuencia fundamental ($f_0 = 1/T$)
- los múltiplos enteros de f_0 se conocen como los armónicos
- si $A_0 \neq 0$, entonces $x(t)$ tiene un componente DC

Serie de Fourier de una señal periódica

- Los valores de los coeficientes se calculan de la siguiente manera:

$$A_0 = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) dt$$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(2\pi n f_0 t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(2\pi n f_0 t) dt$$

Series de Fourier de una señal periódica

- Otra forma de representarla es la de amplitud-fase:

$$x(t) = \frac{C_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(2\pi n f_0 t + \theta_n)$$

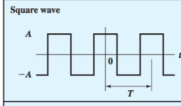
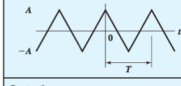
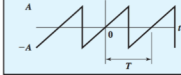
– donde:

$$C_0 = A_0$$

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

$$\theta_n = \tan^{-1}\left(\frac{-B_n}{A_n}\right)$$

Ejemplos de Series de Fourier [1]

Signal	Fourier Series
<p>Square wave</p> 	$\left(\frac{4A}{\pi}\right) \times [\cos(2\pi f_0 t) - (1/3) \cos(2\pi(3f_0)t) + (1/5) \cos(2\pi(5f_0)t) - (1/7) \cos(2\pi(7f_0)t) + \dots]$
<p>Triangular wave</p> 	$C_0 = 0$ $C_n = 0 \quad \text{for } n \text{ even}$ $C_n = 8A/(n\pi)^2 \quad \text{for } n \text{ odd}$
<p>Sawtooth wave</p> 	$A_0 = 0$ $A_n = 0 \quad \text{for } n \text{ even}$ $B_n = -(-1)^n \times (2A/n\pi)$

Transformada de Fourier de señales aperiódicas

- Para una señal periódica, su espectro consiste de componentes discretos de frecuencia, en su frecuencia fundamental y sus armónicos
- Para una señal aperiódica, su espectro consiste de un continuo de frecuencias
- Este espectro se puede definir por la transformada de Fourier

Transformada de Fourier de señales aperiódicas

- Para una señal $x(t)$ con espectro $X(f)$, se establece la siguiente relación:

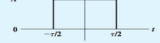



$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j2\pi f t} df$$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi f t} dt$$

– donde:

– $-j = \sqrt{-1}$ es un componente imaginario que tiene una interpretación física de la fase de una forma de onda

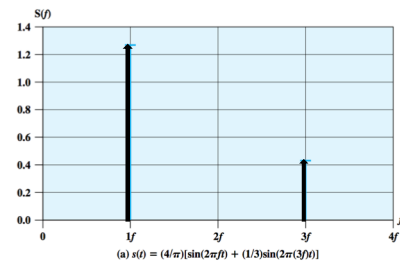
Ejemplos de Transformada de Fourier [1]

Signal $x(t)$	Fourier Transform $X(f)$
Rectangular pulse 	$A\tau \frac{\sin(\pi f\tau)}{\pi f\tau}$
Triangular pulse 	$A\tau \left(\frac{\sin(\pi f\tau)}{\pi f\tau} \right)^2$
Sawtooth pulse 	$(A/2\pi f) \times \frac{\exp(-j\pi f\tau) - \exp(j\pi f\tau)}{1 - \exp(-j2\pi f\tau)}$
Cosine pulse 	$\frac{2A\tau}{\pi} \times \frac{\cos(\pi f\tau)}{1 - (2f\tau)^2}$

Capa Física

25

Representación en el dominio de la frecuencia [1]

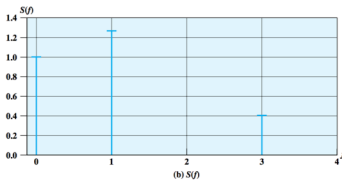
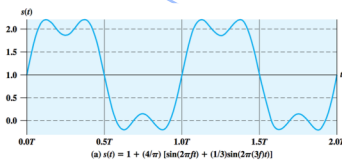


Capa Física

MALCH

26

Señal con componente DC [1]



Capa Física

27

Transmisión

- Comunicación de datos por medio de la propagación y procesamiento de señales
- Señales analógicas
 - pueden propagar datos analógicos o digitales
- Señales digitales
 - pueden propagar datos analógicos o digitales

Capa Física

MALCH

28

Combinaciones de datos y señales

- Datos digitales, señal digital
 - el equipo de codificación es más barato que el equipo digital-analógico
- Datos analógicos, señal digital
 - la conversión permite el uso de equipo de transmisión digital y de conmutación
- Datos digitales, señal analógica
 - algunos medios de transmisión sólo propagan señales analógicas (atmósfera, fibra óptica)
- Datos analógicos, señal analógica
 - los datos fácilmente se convierten a señales

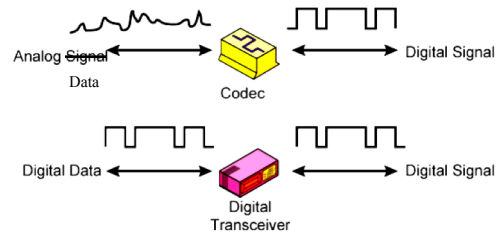
Capa Física

MALCH

29

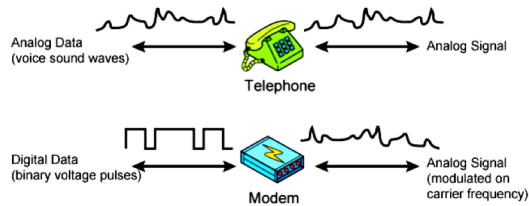
Señales digitales [1]

Digital Signals: Represent data with sequence of voltage pulses



Señales analógicas [1]

Analog Signals: Represent data with continuously varying electromagnetic wave



Transmisión analógica y digital [1]

(a) Data and Signals

	Analog Signal	Digital Signal
Analog Data	Two alternatives: (1) signal occupies the same spectrum as the analog data; (2) analog data are encoded to occupy a different portion of spectrum.	Analog data are encoded using a codec to produce a digital bit stream.
Digital Data	Digital data are encoded using a modem to produce analog signal.	Two alternatives: (1) signal consists of two voltage levels to represent the two binary values; (2) digital data are encoded to produce a digital signal with desired properties.

(b) Treatment of Signals

	Analog Transmission	Digital Transmission
Analog Signal	Is propagated through amplifiers; same treatment whether signal is used to represent analog data or digital data.	Assumes that the analog signal represents digital data. Signal is propagated through repeaters; at each repeater, digital data are recovered from inbound signal and used to generate a new analog outbound signal.
Digital Signal	Not used	Digital signal represents a stream of 1s and 0s, which may represent digital data or may be an encoding of analog data. Signal is propagated through repeaters; at each repeater, stream of 1s and 0s is recovered from inbound signal and used to generate a new digital outbound signal.

Capa F:

32

Transmisión analógica

- Las señales analógicas se transmiten independientemente de su contenido
- Sin embargo la señal se atenúa con la distancia
- Es necesario el uso de **amplificadores** para restablecer el nivel de amplitud la señal
- Pero los amplificadores también amplifican el ruido

Transmisión digital

- Asume un contenido binario de la señal
- Sin embargo, la señal sólo se puede transmitir una distancia limitada antes de que la señal sufra de atenuación y ruido
- Los **repetidores** permiten restablecer los niveles de amplitud de la señal
- Los repetidores no amplifican en ruido

Ventajas de la transmisión digital

- Tecnología digital
 - los circuitos integrados (VLSI) son cada vez más baratos
- Integridad de los datos
 - distancias más largas sobre líneas de baja calidad
- Utilización de la capacidad
 - enlaces económicos de gran ancho de banda
- Seguridad
 - posibilidad de cifrar la señal digital
- Integración
 - trata los datos analógicos y digitales de la misma forma

Tipos de transmisión

- Simplex
 - Un solo sentido
- Half duplex
 - Un solo sentido a la vez
- Full duplex
 - Ambos sentidos a la vez

Tipos de transmisión

- Punto a punto (point to point)
 - de uno a uno
- Multipunto (multipoint)
 - Multicast (de uno a un grupo)
 - Broadcast (de uno a todos)

Factores que afectan la transmisión

- La señal recibida puede diferir de la transmitida
- Señal analógica
 - degradación de la calidad de la señal
- Señal digital
 - errores en los bits
- Opcionados por:
 - **Atenuación y distorsión**
 - **Retraso**
 - **Ruido**
 - **Reflexión e interferencia**

Atenuación

- La intensidad de la señal se reduce con la distancia
- La intensidad de la señal debe:
 - ser suficiente para poder ser detectada
 - ser más alta que el ruido para detectarse sin error
- La atenuación es una función creciente de la frecuencia

Retraso

- La velocidad de propagación de la señal varía con la frecuencia
- Depende del medio de transmisión

Ruido

- Señales adicionales insertadas entre el emisor y receptor
- Térmico
 - provocado por la agitación térmica de los electrones
 - uniformemente distribuido
- Intermodulación
 - señales que son la suma y/o la diferencia de frecuencias originales compartiendo el medio

Capa Física

MALCH

41

Ruido

- Crosstalk
 - una señal de una línea es recogida y transmitida por otra línea
- Impulso
 - pulsos irregulares
 - corta duración
 - gran amplitud

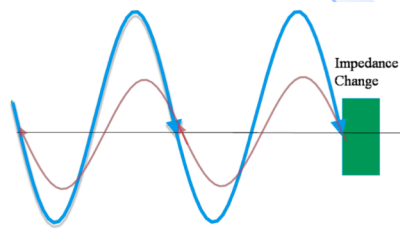
Capa Física

MALCH

42

Reflexión e interferencia

- la señal que se propaga choca una discontinuidad en el medio o hay un cambio de impedancia en el medio



Capa Física

43

Espectro y Ancho de banda

- **Espectro**
 - rango de frecuencias contenidas en una señal
- **Ancho de banda absoluto**
 - ancho del espectro
- **Ancho de banda efectivo**
 - banda de frecuencias que contienen la mayor parte de la energía de una señal
- **Componente DC (corriente directa)**
 - Componente de frecuencia cero

Capa Física

MALCH

44

Velocidad de los datos y Ancho de banda

- Cualquier sistema de transmisión tiene una banda de frecuencias limitada
- Esto limita la velocidad de los datos que se pueden transportar

Capa Física

MALCH

45

Velocidad de los datos y Ancho de banda

- Entre mayor sea el ancho de banda, mayor será la capacidad de transportar información
- Todas las formas de onda digitales tienen un ancho de banda infinito
- Pero los sistemas de transmisión tienen un ancho de banda limitado
- Para cualquier medio de transmisión, entre mayor sea el ancho de banda transmitido, mayor será el costo
- Sin embargo, limitar el ancho de banda crea distorsión de la señal

Capa Física

MALCH

46

Capacidad del canal

- Se define como la velocidad máxima a la que se puede transmitir los datos en un canal, o trayectoria de comunicación, bajo ciertas condiciones
- Se representa por la letra C

Capa Física

MALCH

47

Ecuación de Nyquist

- Para señales binarias (dos niveles de voltaje)
 - $C = 2B$
 - Capacidad del canal (C) es igual a dos veces el ancho de banda (B)
- Para señales multinivel
 - $C = 2B \log_2 M$
 - donde M es el número de señales discretas o niveles de voltaje

Capa Física

MALCH

48

Razón señal a ruido

- Razón entre la potencia en una señal y la potencia contenida en el ruido presente en un punto particular en la transmisión
- Normalmente se mide en el receptor
- En inglés “Signal-to-noise ratio” (SNR)
$$(SNR)_{dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}}$$
- Una SNR alta (nivel de potencia bajo del ruido) significa una mayor calidad de la señal
- SNR establece un límite a la velocidad de la señal

Capa Física

MALCH

49

Ecuación de Shannon

- Calcula el máximo teórico
$$C = B \log_2(1 + SNR)$$
- En la práctica se obtienen valores menores debido a:
 - la ecuación asume ruido blanco (térmico)
 - no toma en cuenta la atenuación y la distorsión

Capa Física

MALCH

50

Cambio de base del logaritmo

- $\log_b(a) = \log_x(a) / \log_x(b)$
- $\log_2(1+SNR) = \log_{10}(252) / \log_{10}(2) = 2.4 / 0.3 = 8$
- $B = 10 \text{ MHz}$
- $C = 80 \text{ MHz}$

Capa Física

MALCH

51

Ejemplo

- **Espectro** de un canal entre 3 MHz and 4 MHz;
 $SNR_{dB} = 24 \text{ dB}$
 - $B = 4 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 1 \text{ MHz}$
 - $SNR_{dB} = 24 \text{ dB} = 10 \log_{10}(SNR)$
 - $SNR = 251$
- Usando la ecuación de Shannon
 - $C = 10^6 \times \log_2(1 + 251) = 10^6 \times 8 = 8 \text{ Mbps}$
- Usando la ecuación de Nyquist
 - $C = 2B = 2 \text{ Mbps}$

Capa Física

MALCH

52

Ejemplo

- ¿Cuántos niveles de la señal son necesarios ?
 - $C = 2B \log_2 M$
 - $8 \times 10^6 = 2 \times (10^6) \times \log_2 M$
 - $4 = \log_2 M$
 - $M = 16$

Referencias

- [1] W. Stallings. Data and Computer Communications, Ed. Pearson, 8th Edition, 2007.