EL4005 Principios de Comunicaciones

Clase No.2: Modelos de Sistemas de Comunicación

Patricio Parada

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile

13 de Agosto de 2010

Contenidos de la Clase (1)

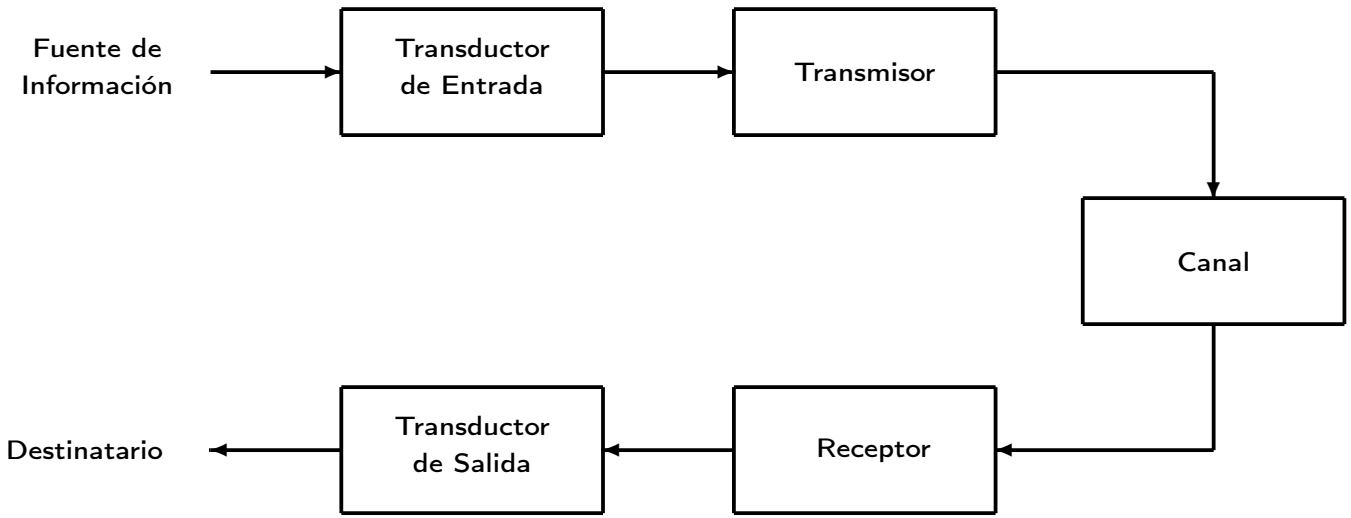
Introducción a los Sistemas de Comunicaciones

- Elementos Básicos de un Sistema de Comunicación
- Comunicaciones Digitales
- Estandarización de Interfases y Capas
- Canales de Comunicación
- Modelos Matemáticos de Canales de Comunicación

Resumen y Lecturas

Elementos Básicos de un Sistema de Comunicación

- Los sistemas de comunicación están diseñados para enviar mensajes de información desde una fuente generadora de mensajes a uno o más destinos.
- Tres componentes esenciales: Transmisor, canal y receptor.



El Transmisor (Tx) (1)

- Convierte la señal eléctrica a un formato apropiado para su transmisión sobre el medio.
- Ej.: Radio y TV $\longrightarrow$ Traducción de la señal de información a un rango de frecuencias compatible con el asignado.
- Proceso conocido como *Modulación*, encargado de "imprimir" la señal de información en una "portadora" sinusoidal: Amplitud (AM), frecuencia (FM) o fase (PM).

El Transmisor (Tx) (2)

- Elección del tipo de modulación depende entre otras cosas:
  - Ancho de banda disponible
  - Tipo de ruido y/o interferencia en el medio de Tx
  - Dispositivos electrónicos disponibles para amplificación, etc.
- Otras funciones: Filtrado de la señal portadora de la información, amplificación de la señal modulada, radiación de la señal en una antena (Tx inalámbrica), etc.

El Canal (1)

- Medio físico utilizado para enviar la señal desde el transmisor al receptor.
- Ejs.: Atmósfera (espacio libre), cable coaxial, par trenzado, fibra óptica, etc.
- Característica esencial: Señal Tx es modificada aleatoriamente por una variedad de fenómenos.

El Canal (2)

- Ejs.: Ruido aditivo de origen térmico (entrada extremo receptor), ruido generado por procesos variados debido al entorno (e.g., interferencia de otros usuarios del canal), ruido atmosférico, etc.
- Ruidos no aditivos: Distorsión debida a dispersión multicamino (*multipath fading*).
- Elemento común: Fenómeno modelado como aleatorio.
- Diseñador utiliza modelos matemáticos describiendo las propiedades estadísticas de tales distorsiones.

El Receptor (Rx) (1)

- Su función principal es la de recuperar el "mensaje" contenido el la señal recibida.
- Ej.: Modulación de portadora $\longrightarrow$ demodulación de portadora (extracción del mensaje contenido en la portadora sinusoidal).
- Demodulación es llevada a cabo en presencia de ruido aditivo y/o otras distorsiones.

El Receptor (Rx) (2)

- Mensaje demodulado corresponde a versión degradada del mensaje original. Fidelidad es una función del tipo de modulación empleada, potencia del ruido, etc.
- Otras tareas desarrolladas por el Rx son: Filtrado, supresión de ruido, etc.

Sistemas de Comunicaciones Digitales

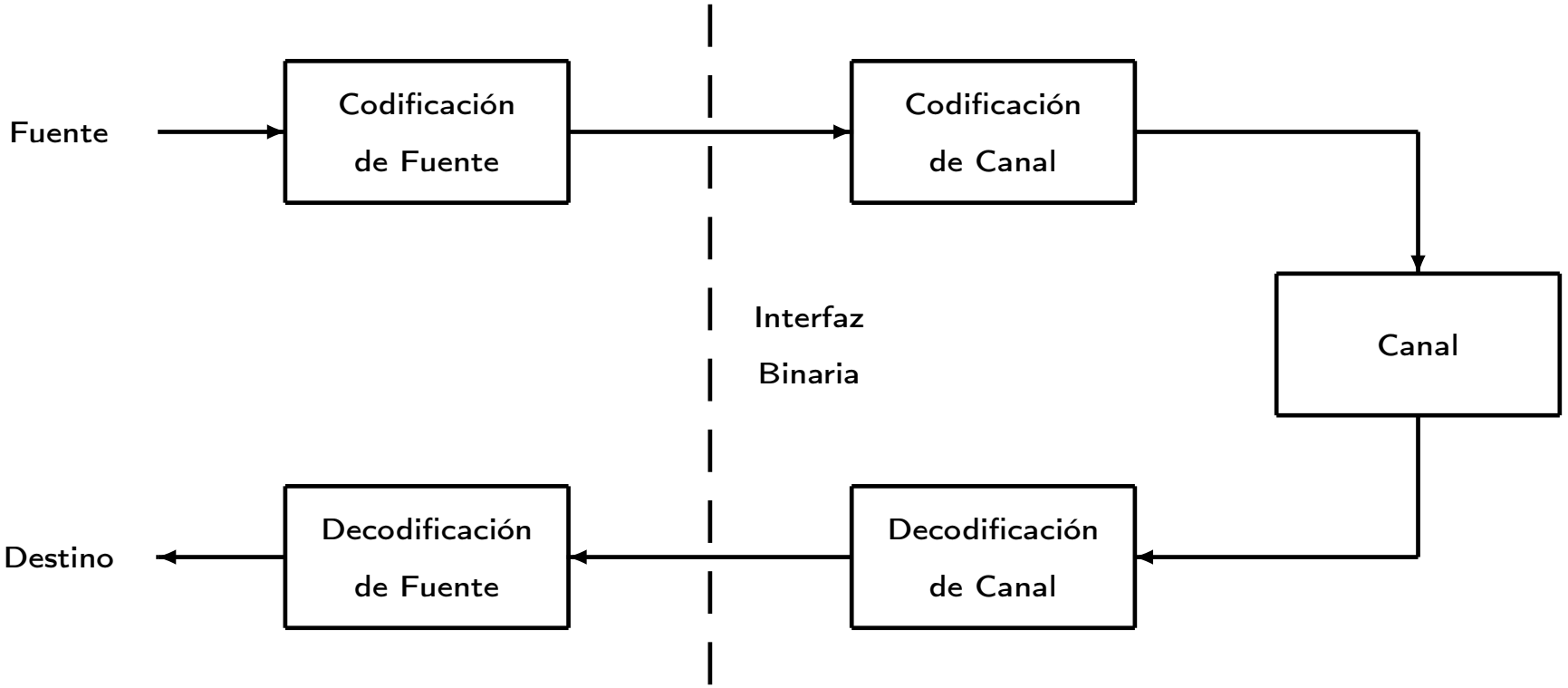
- Fuentes analógicas, señales analógicas y sistemas de comunicación analógicos $\longrightarrow$ Tx usando directamente, por ejemplo, modulación de portadora.
- La filosofía de diseño de un sistema analógico se centra en las propiedades de la fuente de información; ello genera especialización de sistemas de comunicación en lugar de integración.
- La filosofía de diseño de un sistema digital de comunicación se basa en las propiedades del canal.

Principio de Diseño

Dos principios básicos:

- Todas las fuentes de comunicación pueden ser representadas por secuencias binarias.
- Todo diseño de un sistema de comunicaciones debe incluir al menos dos partes:
  1. conversión de la fuente a una secuencia binaria;
  2. adaptación de secuencia binaria a formas de onda apropiadas para el medio de transmisión.

Sistema Digital de Comunicaciones

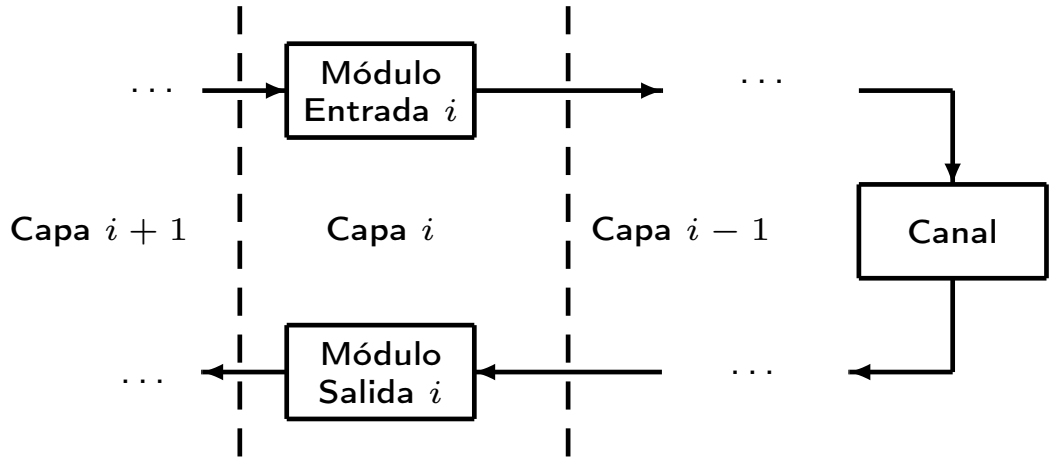


Porqué existe la interfaz digital?

- Hardware digital es barato, confiable y pequeño.
- Estandarización de la interfaz binaria simplifica implementación y mejora la comprensión.
- **Teorema de Separación de Fuente/Canal (Shannon)**
  Si una fuente puede ser transmitida sobre un canal de alguna forma, entonces puede ser transimitido utilizando una interfaz binaria entre la fuente y el canal.

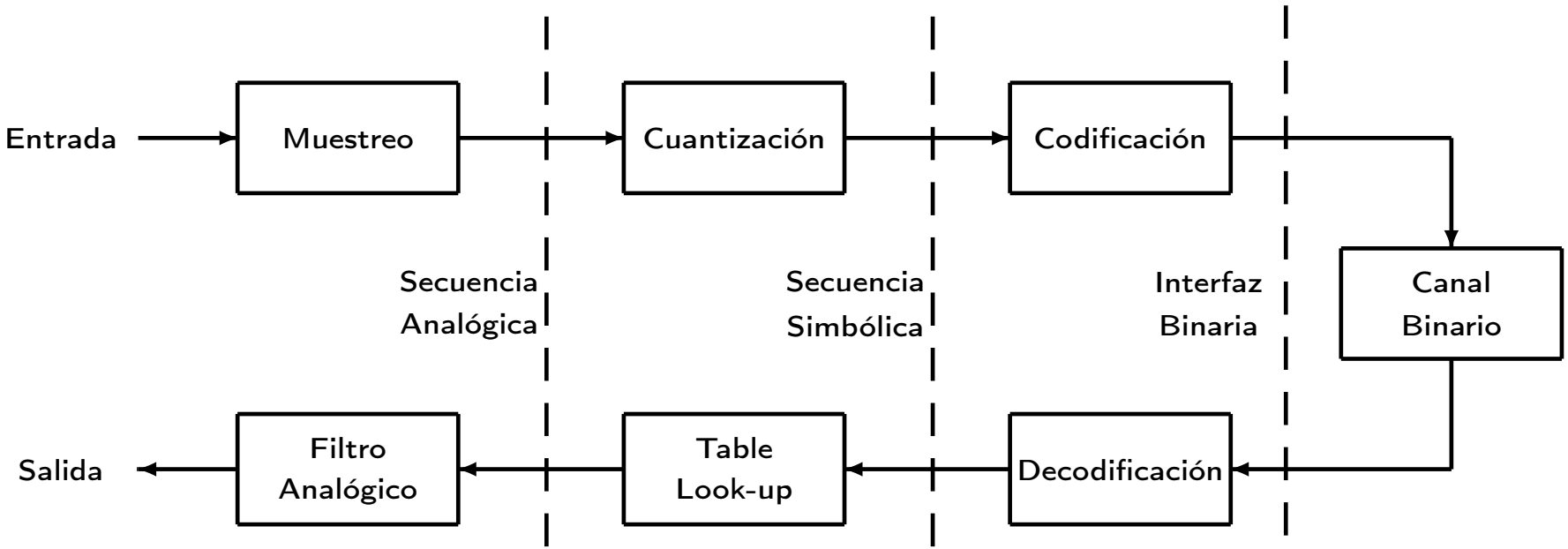
Estandarización de Interfases y Capas

- **Regla Básica de Diseño**: Un sistema de comunicaciones debe estar basado en principios simples y comunes que permitan entederlos, manejarlos y mantenerlos.
- Principio 1: Estandarización de interfaces
- Principio 2: Agrupación de funcionalidades en capas.



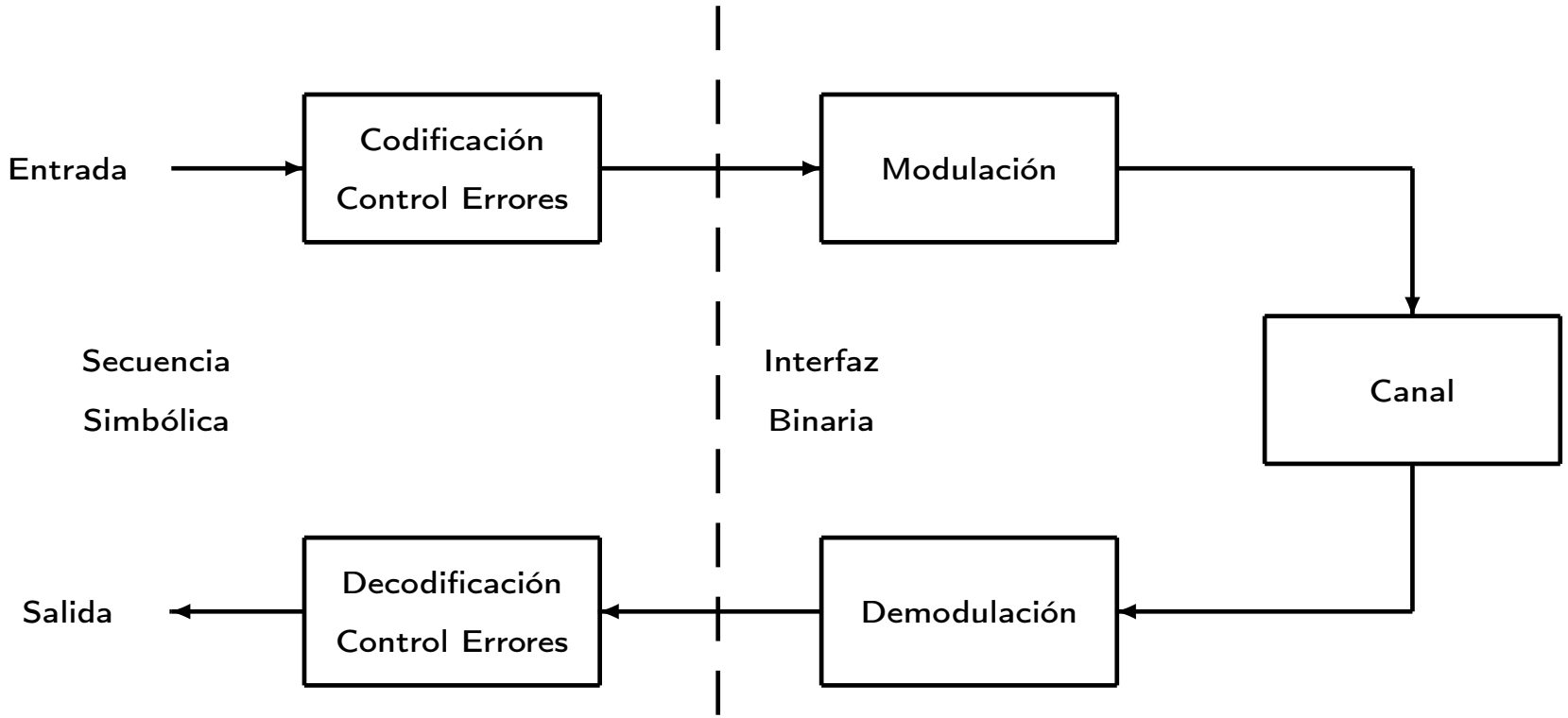
Ejemplos

1. Capa de Codificación/Decodificación de Fuente



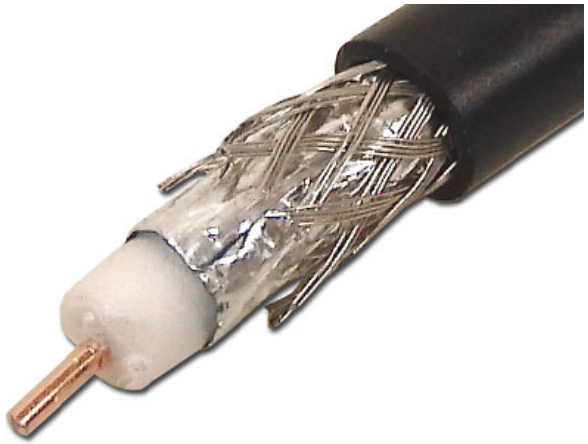
Ejemplos

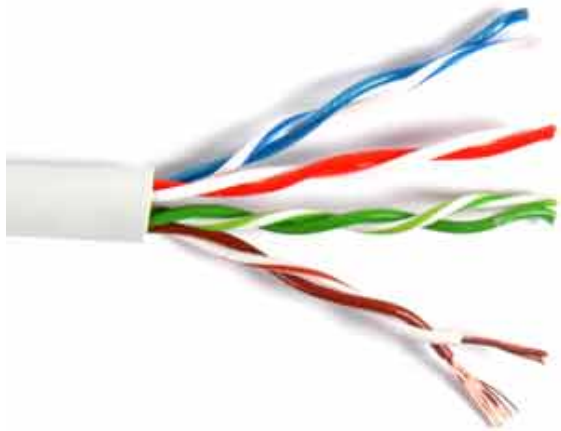
2. Capa de Codificación/Decodificación de Canal



Canales Alámbricos

- Típicos: Par trenzado de cobre (BW: centenas de KHz), cable coaxial (BW: varios MHz).
- En general, señal distorsionada en amplitud y/o fase y corrompida por ruido. También, interferencia de "crosstalk" debido a canales físicamente adyacentes.





Canales Ópticos: Fibra (1)

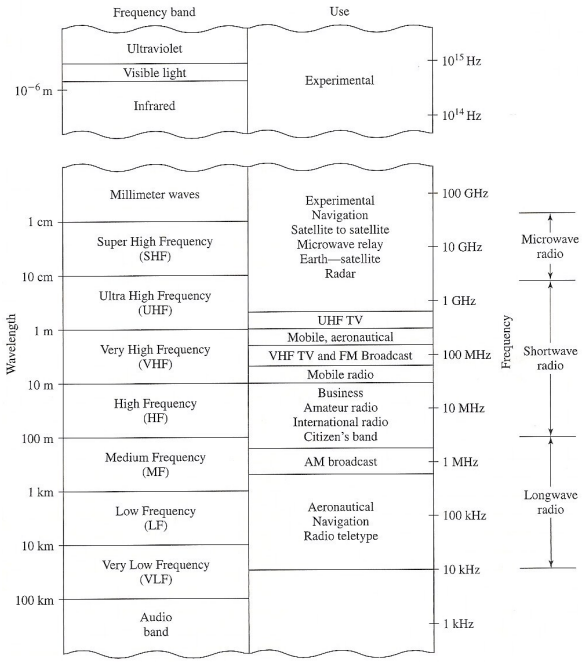
- Ancho de banda disponible de varios órdenes de magnitud mayor que cable coaxial.
- Baja atenuación de señal.
- Disponibilidad de dispositivos fotónicos altamente confiables para generación y detección de pulsos ópticos.
- Tx/Modulador $\longrightarrow$ fuente óptica $\longrightarrow$ Light Emitting Diodes (LEDs) ó Lasers.

Canales Ópticos: Fibra (2)

- Información es Tx variando (o modulando) la intensidad de la fuente de luz de acuerdo al mensaje.
- Detección vía fotodiodos.

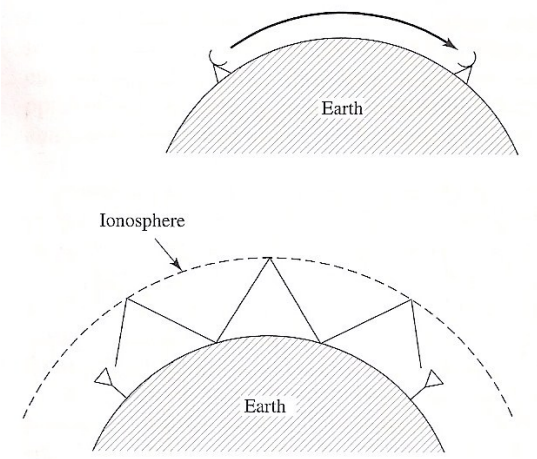
Canales Inalámbricos Electromagnéticos (1)

- Energía electromagnética es acoplada al medio de propagación mediante antenas (radiación eficiente cuando tamaño de la antena $\sim \frac{1}{10} \times$ longitud de onda).



Canales Inalámbricos Electromagnéticos (2)

- Tipos de propagación: Ground-wave Propagation, Sky-wave Propagation, Line-of-Sight (LOS) Propagation.
- Principales fuentes de distorsión de señal: Recepción múltiple (signal multipath) generando dispersión, ruido aditivo (térmico/atmosférico).



Canales Acústicos Submarinos (1)

- Exploración oceánica ha aumentado en las últimas décadas.
- Necesidad de Tx datos recolectados vía sensores submarinos a la superficie (desde donde pueden ser Tx vía satélite a un centro de recolección de datos).
- Ondas electromagnéticas no son apropiadas excepto a muy bajas frecuencias, lo que redunda en Tx grandes y de muy alto poder (económicamente no viable).

Canales Acústicos Submarinos (2)

- Señales acústicas presentan buenos niveles de propagación, a niveles aceptables de potencia, incluso en distancias de hasta cientos de kilómetros en medios submarinos.
- Distorsión causada por ruido acústico oceánico.

Canales de Almacenamiento de Información (1)

- Sistemas de almacenamiento y recuperación de información están presentes en casi todos los aspectos de la vida cotidiana.
- Ejs.: Cintas magnéticas de audio y video digital, discos magnéticos usados para almacenar grandes cantidades de datos computacionales, discos ópticos de datos, música (CDs) y video.
- En todos los casos, el proceso de almacenamiento es equivalente al envío de información sobre un canal.

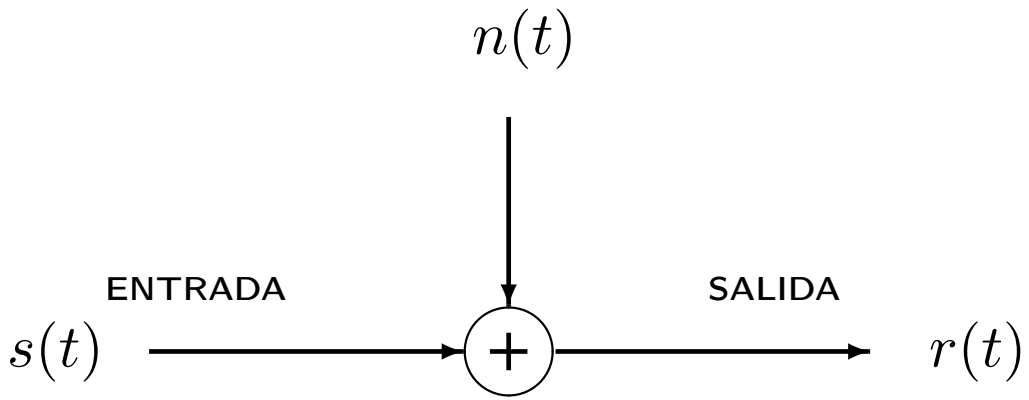
Canales de Almacenamiento de Información (2)

- Similarmente, el proceso de acceso y lectura de dicha información es equivalente a la recuperación en el extremo Rx de un canal.
- Ruido aditivo es generado por componentes electrónicos del sistema, así como también interferencia (información adyacente en el medio de almacenamiento).

Necesidad e Importancia de Modelos

- Modelos resumen las características más sobresalientes e importantes de un medio de transmisión.
- Facilitan el diseño de codificadores de canal y moduladores en el extremo Tx, así como también el de demoduladores y decodificadores de canal en el extremo Rx.
- En general, permiten un mejor diseño, análisis y evaluación de sistemas de comunicación.

Canal de Ruido Aditivo (1)



donde

- $s(t)$: forma de onda de la entrada (potencia limitada por P).
- $r(t)$: forma de onda de la salida

Canal de Ruido Aditivo (2)

- $n(t)$: forma de onda de ruido (potencia N_0, independiente de X).

son procesos estocásticos.

$$r(t) = s(t) + n(t),\ t > t_0. \tag{1}$$

- Generalmente, el ruido es de tipo térmico, generado a la entrada del Rx. Este tipo de ruido es caracterizado estadísticamente como un proceso de ruido blanco Gaussiano.

Canal de Ruido Aditivo (3)

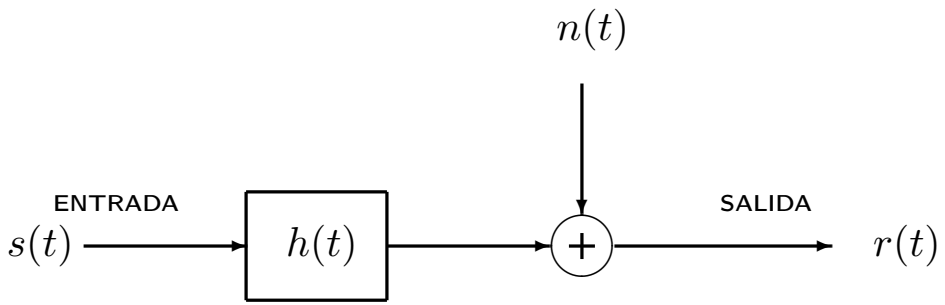
- Si $Z(t)$ es Gaussiano y blanco (espectro constante), el canal recibe el nombre de **canal de ruido blanco aditivo Gaussiano** (AWGN).
- Este es un buen modelo para canales de ancho de banda ilimitado (deep-space communication channel).
- Incorporación de atenuación:

$$r(t) = as(t) + n(t).$$

El Canal de Filtro Lineal (1)

- Filtrado es usado comúmmente para garantizar que la señal Tx no exceda cierto rango de frecuencias (de tal manera de no interferir con otras).
- Se da en forma natural en canales cableados on inalámbricos con línea de visión.

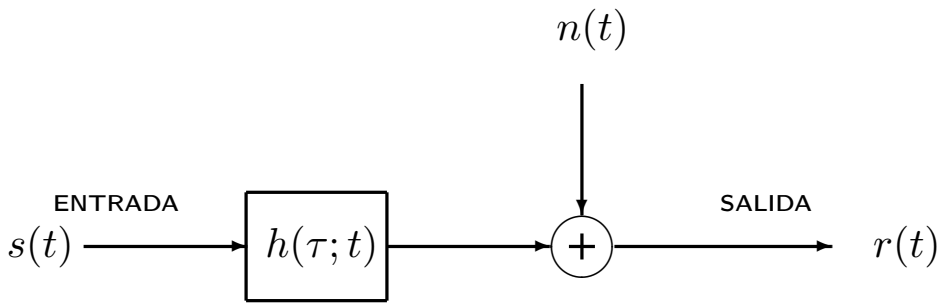
El Canal de Filtro Lineal (2)



- Salida del canal:

$$\begin{aligned} r(t) &= s(t) * h(t) + n(t) \\ &= \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau) s(t-\tau) d\tau + n(t). \end{aligned}$$

El Canal de Filtro Lineal Variante en el Tiempo (1)



- Salida del canal:

$$r(t) = s(t) * h(\tau, t) + n(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau, t)s(t-\tau)d\tau + n(t).$$

El Canal de Filtro Lineal Variante en el Tiempo (2)

- Ej.: Sistemas celulares móviles:

$$h(\tau, t) = \sum_{k=1}^{L} a_k(t)\delta(\tau - \tau_k)$$

con $L =$ cifra de dispersión, $\{a_k(\cdot)\} =$ factores de atenuación y $\{\tau_k\} =$ retardos.

- Salida:

$$r(t) = \sum_{k=1}^{L} a_k(t)s(t - \tau_k) + n(t).$$

Resumen

- Problema central de comunicaciones: reproducir mensaje seleccionado en un lugar en otro, en forma exacta o lo más "parecido" posible.
- Todo sistema tiene tres componentes: Tx, Canal y Rx.
- Comunicaciones analógicas: centradas en la fuente.
- Comunicaciones digitales: centradas en el canal.
- "Dividir para reinar": enfoque multi-capas.
- Modelos de transmisión más utilizados.

Lecturas

- Proakis & Salehi, *Communcations Systems Engineering*, Capítulo 2.
- Claude Shannon, "A Mathematical Theory of Communication", *Bell System Technical Journal*, vol. 27, pp. 349-423, 623-656, July, October, 1948. `http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/shannon1948.pdf`
- (Complementaria) Lapidoth, *A Foundation in Digital Communications*, Capítulos 5 y 6.