
Sistemas de Comunicación

Clase 8: Modelado de Canal

Objetivo

- Cálculo $L(x)$ y $\eta(x)$ para canales duros
 - Cálculo $L(x)$ para canales inalámbricos
 - Diseño de enlace con repetidores

 - ¿Cuál es la máxima distancia para recibir con buena calidad?
 - ¿Si uso repetidores cuan lejos puedo llegar?
-

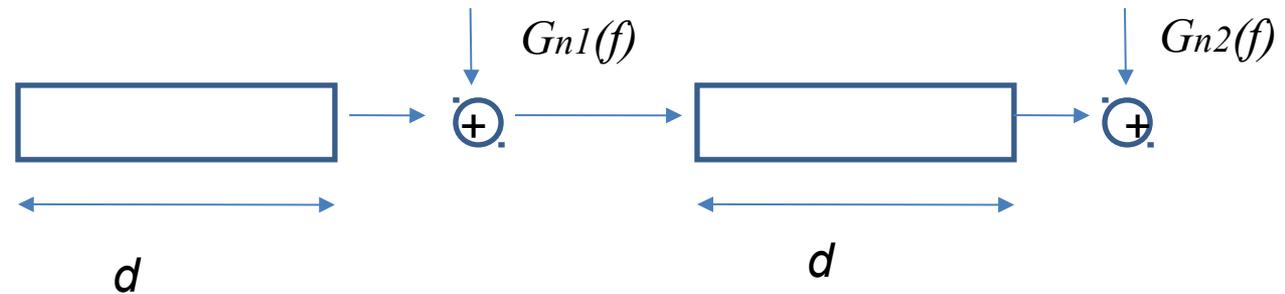
$L(x)$ y $\eta(x)$ para canales duros

■ Supuestos:

1. Características uniformes sobre todo el enlace
 1. Sección constante
 2. Condiciones físicas uniformes
 1. Densidad de masa
 2. Temperatura
 3. Exposición a fuentes de perturbación
-

L(x) y $\eta(x)$ para canales duros

1. Introduce ruido uniforme



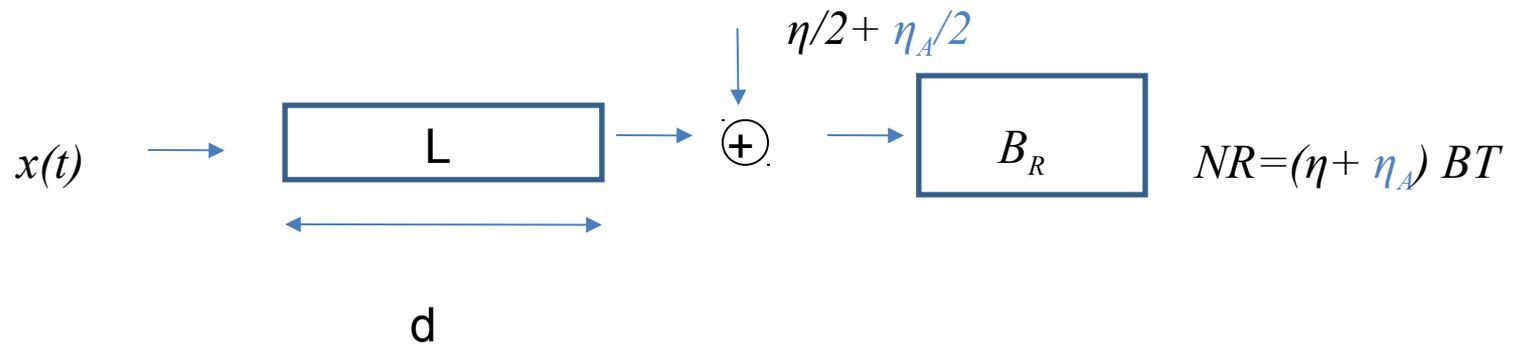
Tramos distintos de igual longitud

$$G_{n1}(f) = G_{n2}(f)$$

$E(n_1, n_2) = E(n_1)E(n_2)$ no correlacionado

1. Tiene respuesta SLIT que no distorsiona la señal

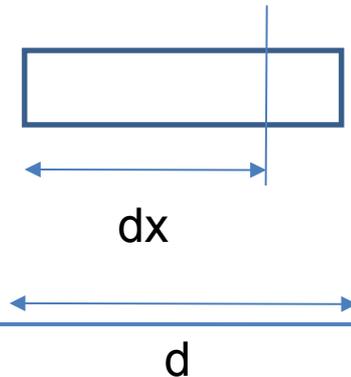
Modelo de canal en 2 tramos



L : atenuación en el tramo

η : densidad espectral de potencia de ruido en el tramo

$0 < x < dx/d$



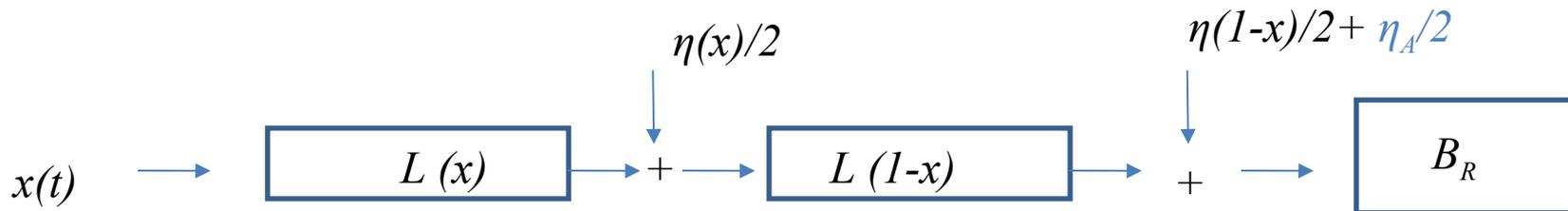
x : longitud
normalizada

$$\eta(1) = \eta \quad \eta(0) = 0$$

$$L(1) = L \quad L(0) = 1$$

Modelo de canal en 2 tramos

- Nos interesa determinar $\eta(x)$ y $L(x)$ en dx
- Parto canal en dos tramos de longitud x y $1-x$.



$$ND1 = \eta B_R + \eta_A B_R$$

sin partir

$$ND2 = \eta(x)/L(1-x) B_R + \eta(1-x) B_R + \eta_A B_R$$

al partir

En 2 se impone que el ruido en los dos tramos no están correlacionados.

L(x) y $\eta(x)$ para canales duros

■ $L(x)$ y $\eta(x)$ tienen que verificar:

■ $N_{D1} = N_{D2}$

$$\eta(1) = \eta \quad \eta(0) = 0$$

■ $L(x) \cdot L(1-x) = L$

$$L(1) = L \quad L(0) = 1$$

$P_{in}/P_x \cdot P_x/P_{out} = P_{in}/P_{out}$



$$\eta(x) = \eta \left[\frac{L(x)^{-1} - 1}{L^{-1} - 1} \right]$$

Esta expresión depende de L(x)

$L(x)$ y $\eta(x)$ canales duros

Bajo supuesto de uniformidad del canal la atenuación en un tramo de longitud dx es independiente de x (posición).

$$L(x+dx) = L(x) L(dx) \quad L(dx) = \frac{L(x+dx)}{L(x)}$$

Imponiendo condiciones de borde* :

$$L(x) = L^x$$

* Ver justificación en notas “Modelado de canales y ruido”

$L(x)$ y $\eta(x)$ canales duros

Sustituyendo $\eta(x) = \eta \left[\frac{L^{-x} - 1}{L^{-1} - 1} \right]$ para $x > 0$

$$\eta(d_x) = \eta \left[\frac{L^{-\frac{d_x}{d}} - 1}{L^{-1} - 1} \right] \text{ con } L(d) = L \text{ y } \eta(d) = \eta$$

$$L(d_x) = L^{\frac{d_x}{d}} \text{ con } d_x > 0$$

Ejercicio 1

- Determinar la distancia máxima a la que puedo instalar un T_x si quiero que la señal recibida tenga una $(S/N)_R$ de al menos 50 dB y
 - $S_T = 1 \text{ kW}$ $W = 5 \text{ kHz}$
 - $L(1 \text{ km}) = 2 \text{ dB}$
 - $\eta(1 \text{ km}) = 10^{-7} \text{ W/Hz}$
 - $\eta_A = 10^{-6} \text{ W/Hz}$

Canal blando - inalámbrico

Se mantiene la dependencia de $L(x)$ pero cambia su modelo formulación.

$$L(x) = \left[\frac{4\pi x}{\lambda} \right]^2 = \left[\frac{4\pi f x}{c} \right]^2$$

λ : longitud de onda f : frecuencia de la onda Tx

C : velocidad de la luz

Buen modelo para línea vista, se puede generalizar (reflexión, distorsión, absorción) ajustar para distintos ambientes:

$$L(x) = L(x_0) \left[\frac{x}{x_0} \right]^\gamma$$

γ : se determina en forma experimental

Canal blando - inalámbrico

| | γ |
|--------------------------|----------|
| Macrocela urbana | 3.7-6.5 |
| Microcela urbana | 2.7-3.5 |
| Oficinas (mismo piso) | 1.6-3.5 |
| Oficinas (distinto piso) | 2-6 |
| Local comercial | 1.8-2.2 |
| Fabrica | 1.6-3.3 |
| Hogar | 3 |

Ruido para comunicaciones inalámbricas: Determinado por el receptor, no depende de x y se modela en general como AWGN con densidad de potencia $\eta/2$

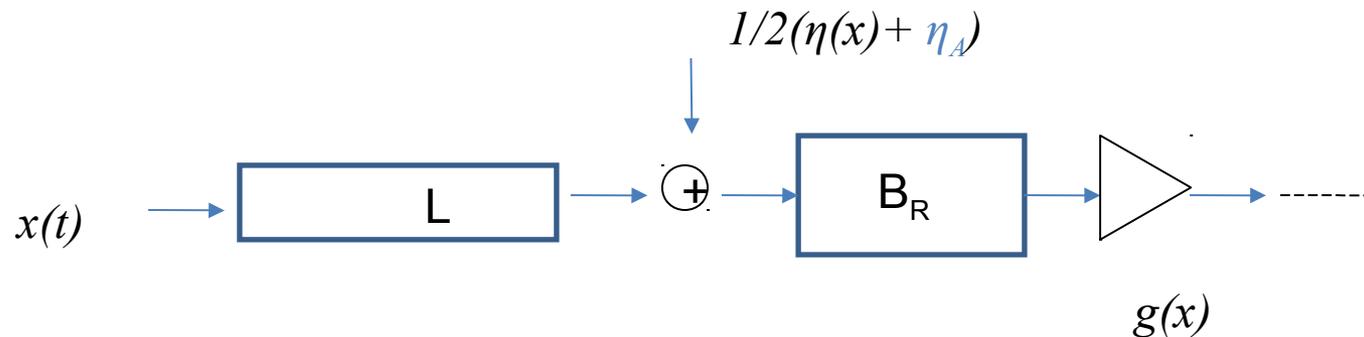
Ejercicio 2

- Bajo el modelo de espacio libre se transmite con una cierta S_T tal que en recepción $S_R = 1\text{dBm}$ a una distancia $x=10\text{m}$.

Asumir $f=2,1\text{ GHz}$.

- ¿Cuántos dB más se necesitan transmitir para alcanzar una distancia de 100m con la misma potencia recibida?

Repetidores Analógicos



¿Cuántos repetidores colocar? ¿Dónde?

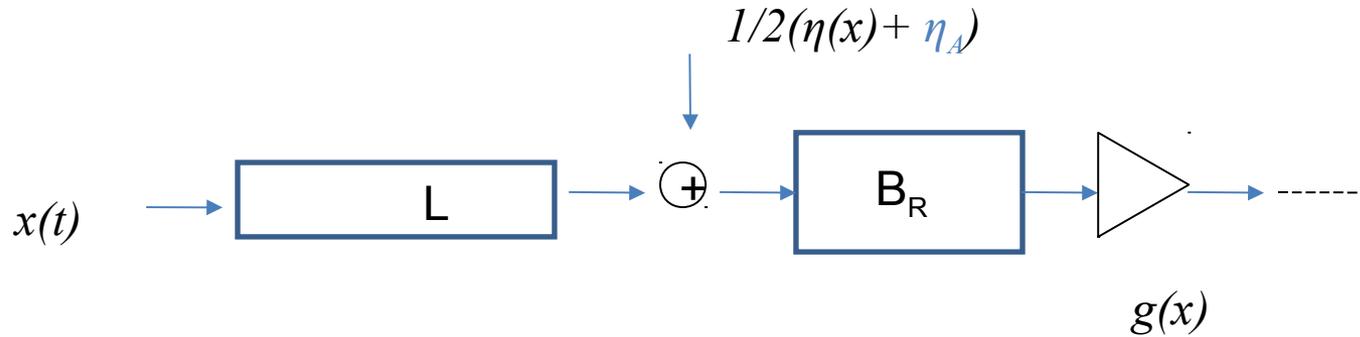
Repetidor : compuesto por un RX seguido de un TX

➤ Sup1: $g(x)=L(x)$: repetidor recupera nivel de señal original

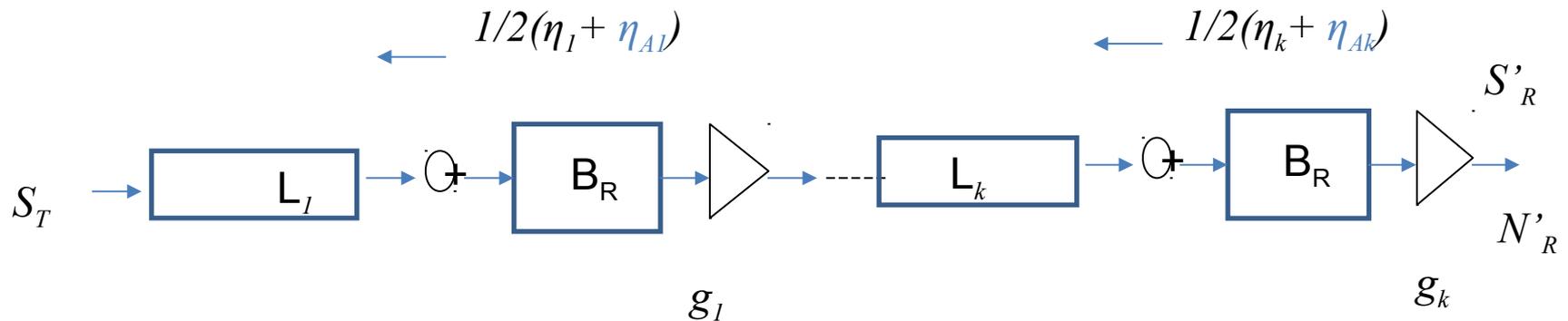
Repetidores Analógicos

- Sup 2: los repetidores introducen ruido AWGN con DEP η_A :
 - Repetidor ideal : $\eta_A = 0$ Repetidor real : $\eta_A > 0$
En la práctica $\eta_A \gg \eta(x)$
 - *Ruido independiente del canal, independiente de otros repetidores .*
 - Sup 3: Repetidores LTI (lineales invariantes en el tiempo) no distorsionan.
-

Repetidores Analógicos



Divido el canal en k tramos, introduzco $(k-1)$ repetidores en posiciones arbitrarias.



Repetidores Analógicos

$$S'_R = S_T \frac{g_1}{L_1} \frac{g_2}{L_2} \dots \frac{g_k}{L_k} = S_T$$

$$N'_R = B_R [(\eta_1 + \eta_A)g_1 + (\eta_2 + \eta_A)g_2 + \dots (\eta_k + \eta_A)g_k] \quad \eta_{Ai} = \eta_A$$

$$(SN)_R = \frac{S_T}{B_R [(\eta_1 + \eta_A)g_1 + (\eta_2 + \eta_A)g_2 + \dots (\eta_k + \eta_A)g_k]}$$

Considerando $\eta_i = \eta \left[\frac{L^{-x_i} - 1}{L^{-1} - 1} \right]$ y notando $\nu = \frac{\eta_A}{\eta} [1 - L^{-1}]$

$$(SN)_R = \frac{S_T \eta B_R [1 - L^{-1}]}{(1 + \nu) [L^{x_1} + L^{x_2} + \dots L^{x_k}] - k}$$

Repetidores Analógicos

$$(SN)_{R\max} \rightarrow [L^{x_1} + L^{x_2} + \dots L^{x_k}] \text{mínimo}$$

El maximo se da cuando $L^{x_1} = L^{x_2} = \dots L^{x_k}$ $x_i = \frac{1}{k}$ $d_i = \frac{d}{k}$

Optimo : repetidores equiespaciados. Si $k = 2$ el óptimo es el punto $1/2$.

Repetidores Analógicos

$$\left(\frac{S}{N}\right)_R = \frac{S_T}{k\eta LB_R} \frac{[L-1]}{(1+\nu) L^{-1/k} - 1}$$

Repetidores ideales $\eta_A = 0$ $\nu = 0$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_R [k] = \frac{S_T}{k\eta LB_R} \left[\frac{1-L}{1-L^{1/k}} \right] \xrightarrow{k \rightarrow \infty} \frac{S_T}{\eta LB_R} \left[\frac{L-1}{\ln L} \right]$$

Repetidores reales $\eta_A \neq 0$ $\nu \neq 0$. Existe una cota superior para el Número de repetidores reales más allá del cual $(S/N)_R$ disminuye.