

Técnicas de supresión de interferencias de banda angosta en sistemas multiusuario de banda ancha.



Gustavo J. González

Universidad Nacional del Sur

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computadoras

Bahía Blanca

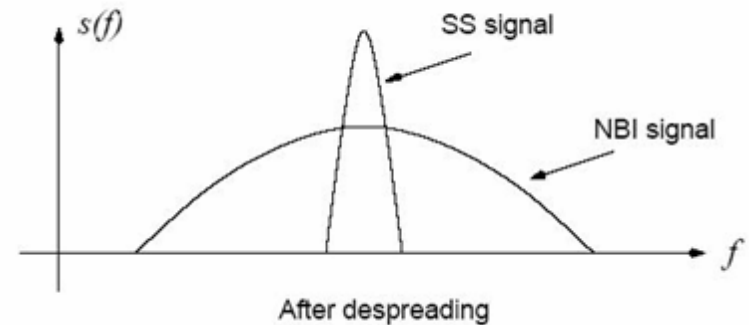
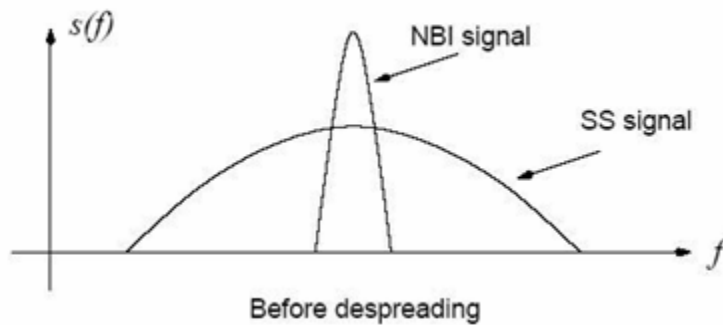
Becario Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (1^{er} año).

Síntesis

- Introducción
- Campo de aplicación
- Modelado de señales
 - Consideraciones sobre SS.
 - Modelado de NBI
- Métodos predictivos lineales
 - Filtro de Kalman-Bucy
 - Filtro FIR
- Métodos predictivos no lineales
 - Filtro ACM
 - Filtro adaptivo no lineal
- Métodos ayudados por código
 - Decodificador MMSE
- Comparaciones

Introducción

Las señales de espectro disperso (SS) poseen una inmunidad nativa a las interferencias de banda angosta (NBI).



Introducción

Entonces... ¿Vale la pena hacer procesamiento?

Sí, La aplicación de métodos activos:

- bajan la tasa de error
- aumentan la capacidad en CDMA
- mejoran la capacidad de adquisición.

Campos de aplicación

Estos métodos son aplicables en sistemas de servicios compartidos de diferente ancho de banda relativo.

También en sistemas WIFI, WIMAX, WCDMA, etc.

Modelado de señales

La señal recibida es considerada:

$$R(t) = S(t) + I(t) + N(t), \text{ donde}$$

$S(t)$ es la señal de espectro disperso,

$I(t)$ la interferencia de banda angosta y

$N(t)$ el ruido blanco gaussiano.

Modelado de señales

De acuerdo con las consideraciones que se realicen para $S(t)$, se obtiene diferentes resultados:



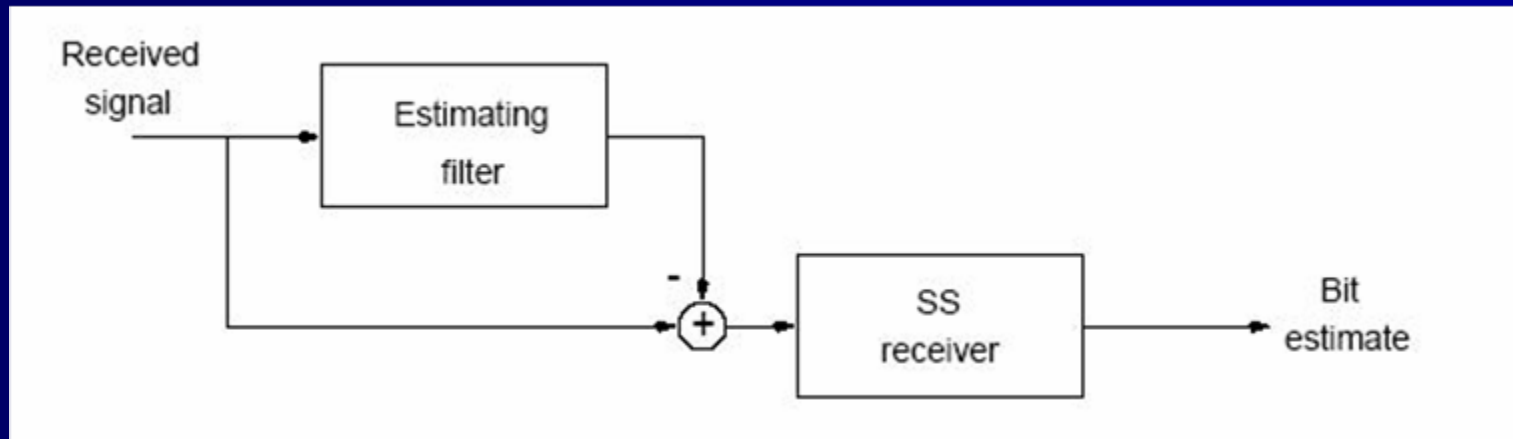
Modelado de interferencia

Las señales NBI pueden ser modeladas de tres maneras diferentes:

1. Señales tonales
2. Señales de digitales de banda angosta
3. Procesos estocásticos entrópicos

Métodos predictivos lineales

Se utiliza la diferencia de predictibilidad entre la señal de $S(t)$ e $I(t)$, para predecir ésta última y suprimirla.



Métodos predictivos lineales

Para el caso de un usuario, la salida del filtro

acoplado es:
$$y_1[i] = \sum_{n=0}^{N-1} s_{n,1} r_{n+iN}$$

Reemplazando r , por el residuo de la predicción,

obtenemos:
$$b_1[i] = \text{sign} \left\{ \sum_{n=0}^{N-1} s_{n,1} [r_{n+iN} - \hat{r}_{n+iN}] \right\}$$

Métodos predictivos lineales

Se pueden utilizar dos arquitecturas básicas para predecir $I(t)$:

- Predictor Kalman-Bucy, basado en un modelo en variables de estado de $I(t)$.
- Predictor FIR.

Predictor Kalman-Bucy

Se modela $I(t)$ como un proceso AR de orden p , con parámetros poco variantes. La representación es la siguiente:

$$\text{Modelo de NBI} \quad i_n = \sum_{i=1}^P \phi_i i_{n-i} + e_n$$

A partir de éste la ecuación de proceso y la de medición resultan:

$$x_n = \phi \cdot x_{n-1} + z_n$$

$$r_n = C^T x_n + v_n$$

Predictor Kalman-Bucy

donde $x_n = [i_n, i_{n-1}, \dots, i_{n-p+1}]^T$, $C = [1, 0, \dots, 0]^T$, $z_n = [e_n, 0, \dots, 0]$,
 $v_n = s_n + u_n$ con $s_n \in \left\{ \frac{A_1}{\sqrt{N}}, -\frac{A_1}{\sqrt{N}} \right\}$ y $u_n \approx N(0, \sigma^2)$

Y, teniendo en cuenta el modelo autorregresivo, la matriz de transición de los estados es:

$$\phi = \begin{pmatrix} \phi_1 & \phi_2 & \dots & \phi_p \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Luego, la predicción MMSE puede hallarse a partir de las ecuaciones de Kalman – Bucy.

Predictor FIR

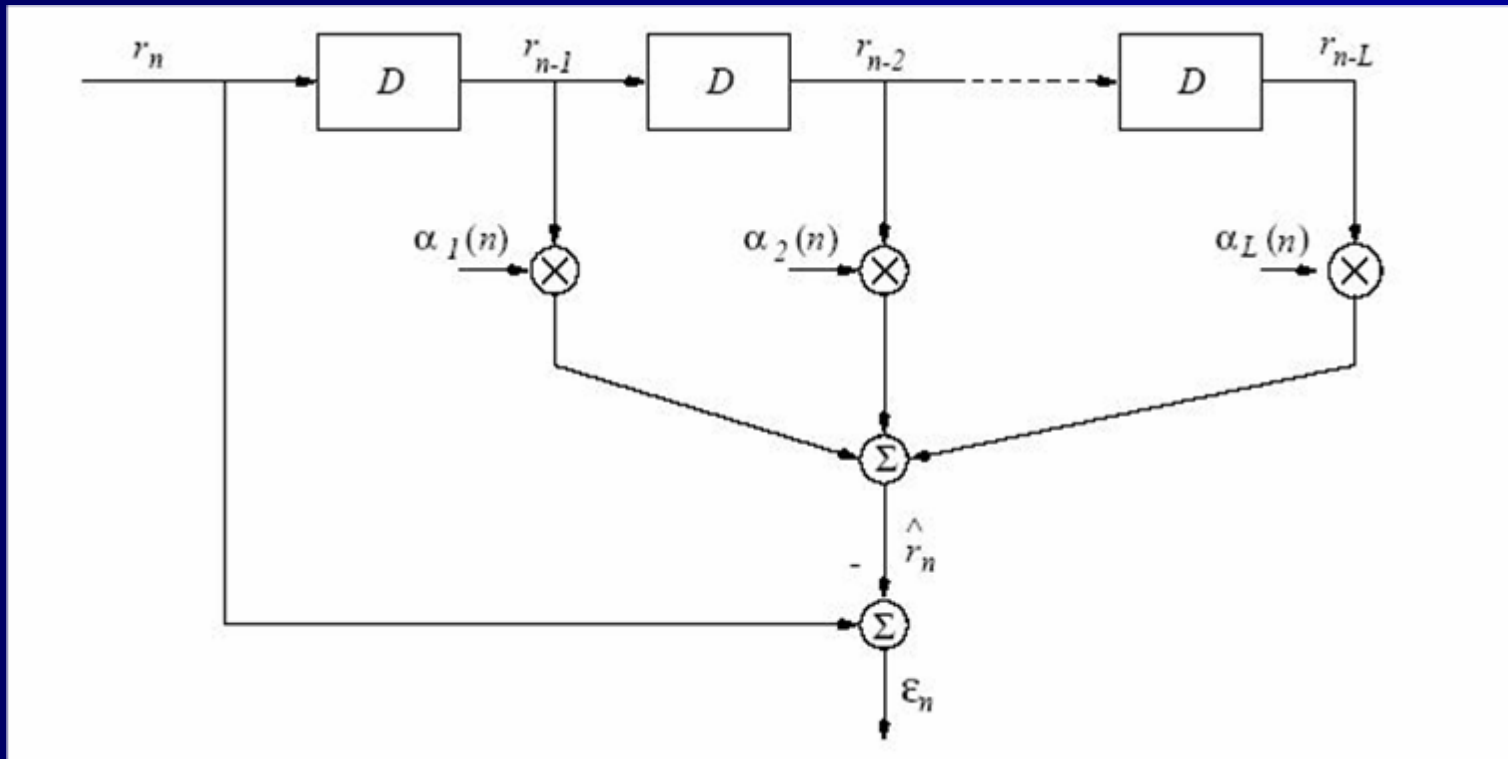
Aparece como una contraparte a la complejidad del algoritmo de Kalman-Bucy. Puede formularse

como:
$$\hat{r}_n = \sum_{l=1}^L \alpha_l r_{n-l}.$$

En el caso no estacionario, α pueden adaptarse con el algoritmo LMS. También puede normalizarse con el nivel de entrada.

Predictor FIR

Implementación con línea de retardos.



Predictores no lineales

Dado que la señal $S(t)$ es no gaussiana, el resultado de las predicciones realizadas con filtros lineales no es óptima.

El objetivo es utilizar la estructura de $S(t)$, para diseñar filtros no lineales que mejoren el desempeño.

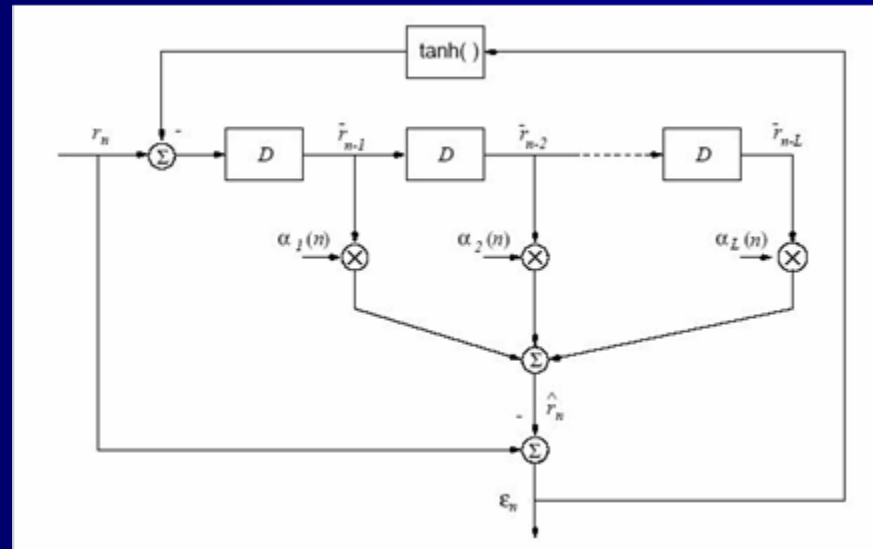
Filtro ACM

En el predictor Kalman-Bucy, el hecho de que v_n no sea gaussiano, hace que el predicción MMSE sea muy compleja.

Se utiliza el filtro ACM, que resulta en una realimentación suave que suprime la señal de espectro disperso de las mediciones.

Filtro adaptivo no lineal

Este filtro realiza una predicción lineal de la señal utilizando la entrada modificada por una función no lineal del error de predicción.



Técnicas auxiliadas por código

En éstas técnicas se utilizan un modelo a nivel de chip de las señal $S(t)$, aprovechando el conocimiento del código de dispersión para mejorar la supresión.

Éstas técnicas están basados en detectores diseñados detección multiusuario lineal: el decorrelador y el detector MMSE lineal.

Supresión de NBI mediante el detector MMSE.

Es una reinterpretación del detector MMSE, para realizar una detección lineal óptima de la señal bajo NBI, en sentido MSE, definida como:

$$MSE = E\left\{\left(\omega^T r - b\right)^2\right\}$$

Una figura de mérito que puede utilizarse para evaluar el desempeño del detector es la SINR

$$SINR = \frac{E\left\{E\left\{\omega^T r | b\right\}^2\right\}}{E\left\{Var\left\{\omega^T r | b\right\}\right\}}$$

Interferencia tonal

Se la considera como una suma de sinusoides complejas, de la forma:
$$i_n = \sum_{l=1}^m \sqrt{P_l} e^{j(2\pi \cdot f_l + \phi_l)}$$

Se evaluará el desempeño del detector calculando la SINR para diferentes casos:

- $m=1$
- $m=2$
- $f_l - f_k$ sean múltiplos de $1/N$ para $l \neq k$.

Interferencia tonal

Para el caso $m=1$ se obtiene: $E\{SINR_1\} = \left(1 - \frac{1}{N}\right) \frac{A^2}{\sigma^2}$,
cuando $P_1 \rightarrow \infty$

El caso $m=2$ resulta: $E\{SINR_2\} = \left(1 - \frac{2}{N}\right) \frac{A^2}{\sigma^2}$
cuando $A^2 \sigma^{-2} \rightarrow \infty$ y $P_2 \sigma^{-2} \rightarrow \infty$

Interferencia tonal

Por último se analizará el caso de frecuencias ortogonales. La SINR resulta:

$$E\{SINR_m\} = \left(\frac{N-m}{N} \right) \frac{A^2}{\sigma^2} \quad \text{cuando } \max\{P_l \sigma^{-2}\} \rightarrow \infty$$

Interferencia autorregresiva

En este caso consideraremos una NBI definida

como:
$$i_n = -\sum_{j=1}^P \phi_j i_{n-j} + e_n$$

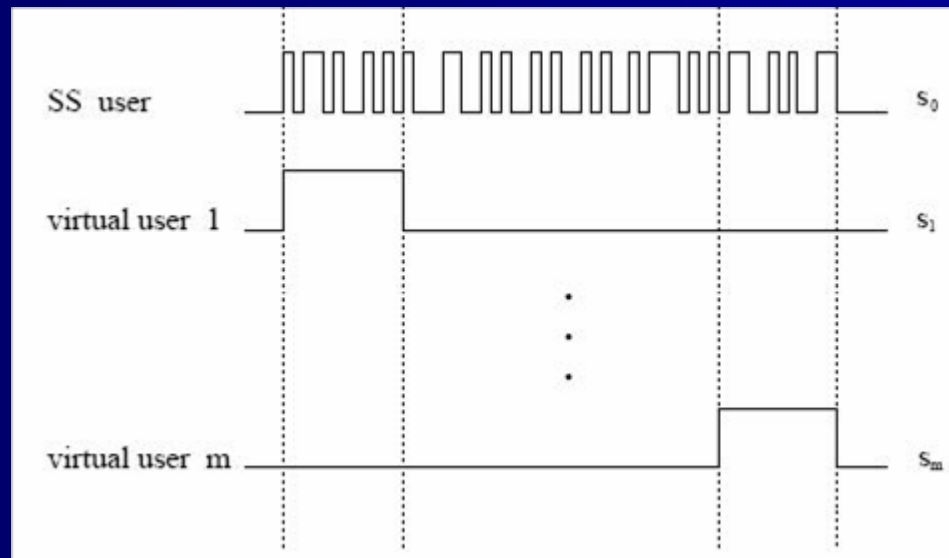
El desempeño obtenido en términos de SINR

resulta:
$$SINR = \left(1 + \phi_1^2 + \dots + \phi_P^2\right) \frac{A^2}{\sigma^2}$$

Interferencia digital

Se asume que la señal digital está sincronizada con la señal SS.

La interferencia es considerada como m usuarios virtuales ortogonales entre sí.



Interferencia digital

Utilizando el detector MMSE, se obtiene el siguiente desempeño con respecto a la SINR.

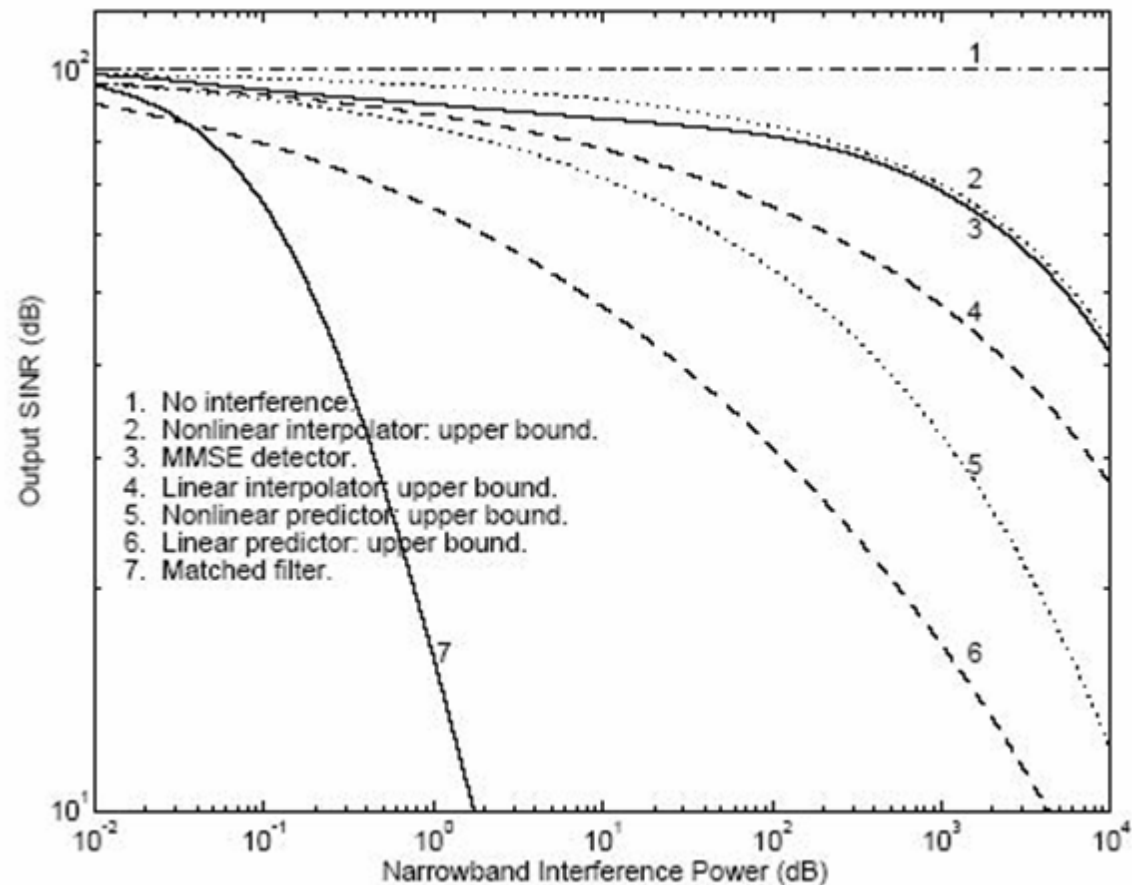
$$SINR = \frac{A^2}{\sigma^2} \left(1 - \frac{\rho^T \rho}{1 + \frac{\sigma^2}{A^2}} \right)$$

Comparaciones

Se realizarán dos comparaciones entre las técnicas mencionadas anteriormente:

- Primero consideraremos una NBI autorregresiva de orden dos, $\sigma^2 = -20\text{dB}$.
- Luego se comparará el desempeño frente a una NBI digital, ante la misma potencia de ruido y con $m=4$.

Interferencia autorregresiva



Interferencia digital

