

# RESTAURACIÓN DE AUDIO

---

- Interés en audio degradado
  - Discos (de cera, LP)
  - Cintas magnéticas
  - Audio digital de calidad
- Degradación de audio
  - Modificación de señal en grabación
    - Micrófono, amplificador, etc
  - Alteración del soporte físico
  - Ruidos (¿audiencia?)

# RESTAURACIÓN DE AUDIO

---

- Restauración
  - Sonido de la fuente original
  - Criterios de error
  - Características perceptuales

# RESTAURACIÓN DE AUDIO

---

- Restauración analógica
  - Ecuación frecuencia dominante
    - Ruido de fondo
  - Filtrado paso alto-paso bajo
    - Clicks (enmascaramiento)
  - Preénfasis de Dolby
- Restauración digital
  - Deconvolución
    - Realce

# DEGRADACIONES

---

- Tipos
  - Impulsivas (discontinuas)
    - Muestras en segmentos cortos
    - Chasquidos (clicks), crujidos (crackels), ralladuras (scratches), roturas (breakage)
  - Continuas
    - Muestras en segmento largos
    - Ruido de fondo, Wow (fluctuación), Flutter (trémolo), distorsión no lineal

# DEGRADACIONES

---

- Clicks
  - Ráfagas aleatorias en tiempo y amplitud
  - Ticks aislados o crackels (vinilos)
- Transitorios de baja frecuencia
  - Discontinuidades (rallones y roturas)
  - Resonancias a baja frecuencia (zumbido)

# DEGRADACIONES

---

- Ruido de gran ancho de banda
  - Común a todos los métodos de grabación
  - Siseo
- Wow y flutter
  - Mecánica del sistema de reproducción
  - Variación de la frecuencia (modulación)
- Distorsiones (No lineales)
  - Amplitud de señales generando sobrecarga
  - Problemas en el seguimiento de las pistas

# RUIDO DE FONDO

---

- Características
  - Ruido eléctrico, soporte, ambiente, etc
  - Ruido aditivo total (última etapa)
  - Proceso estocástico
    - Estacionarios (cintas)
    - No estacionarios (LP)
  - Gran ancho de banda
  - Solapamiento con el audio

# RUIDO DE FONDO

---

- Métodos en el dominio espectral
  - Más comunes
  - Análisis localmente estacionario
    - Audio + ruido
    - Ruido en silencio
  - Enventanado (análisis y síntesis)
    - Ventanas hamming, hanning
    - Solapamiento



# RUIDO DE FONDO

## ➤ Métodos en el dominio espectral

### ➤ Señal ruidosa

$$Y(n, m) = \sum_{l=0}^{N-1} g_l y(nM + l) \exp(-jlm2\pi / N), \quad m = 0, \dots, N-1$$

### ➤ Estimación limpia

$$\hat{X}(n, m) = f(Y(n, m))$$

### ➤ Señal temporal

$$\hat{x}_{nM+l}^n = h_l \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} \hat{X}(n, m) \exp(jlm2\pi / N), \quad l = 0, \dots, N-1$$

### ➤ Reconstrucción

$$\hat{x}_{nM+l} = w_l \sum_{m \in M} \hat{x}_{nM+l}^m$$

$$M = \{m; mM \leq nM + l < mM + N\}$$

$$w_l = \frac{1}{\sum_{m \in M} g_{mM+l} h_{mM+l}}$$

# RUIDO DE FONDO

---

- Sustracción Espectral
  - Resta la raíz cuadrada del espectro de potencia de ruido en cada frecuencia

$$f(Y(m)) = \begin{cases} \frac{|Y(m)| - S_N(m)^{1/2}}{|Y(m)|} Y(m), & \text{para } |Y(m)|^2 > S_N(m) \\ 0, & \text{para } \textit{resto} \end{cases}$$

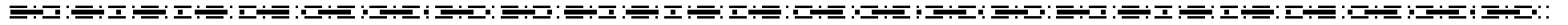
# RUIDO DE FONDO

---

- Sustracción de Potencia (menos severa)
  - Resta el espectro de potencia de ruido en cada frecuencia

$$f(Y(m)) = \begin{cases} \left( \frac{|Y(m)|^2 - S_N(m)}{|Y(m)|^2} \right)^{1/2} Y(m), & \text{para } |Y(m)|^2 > S_N(m) \\ 0, & \text{para } \text{resto} \end{cases}$$

# RUIDO DE FONDO

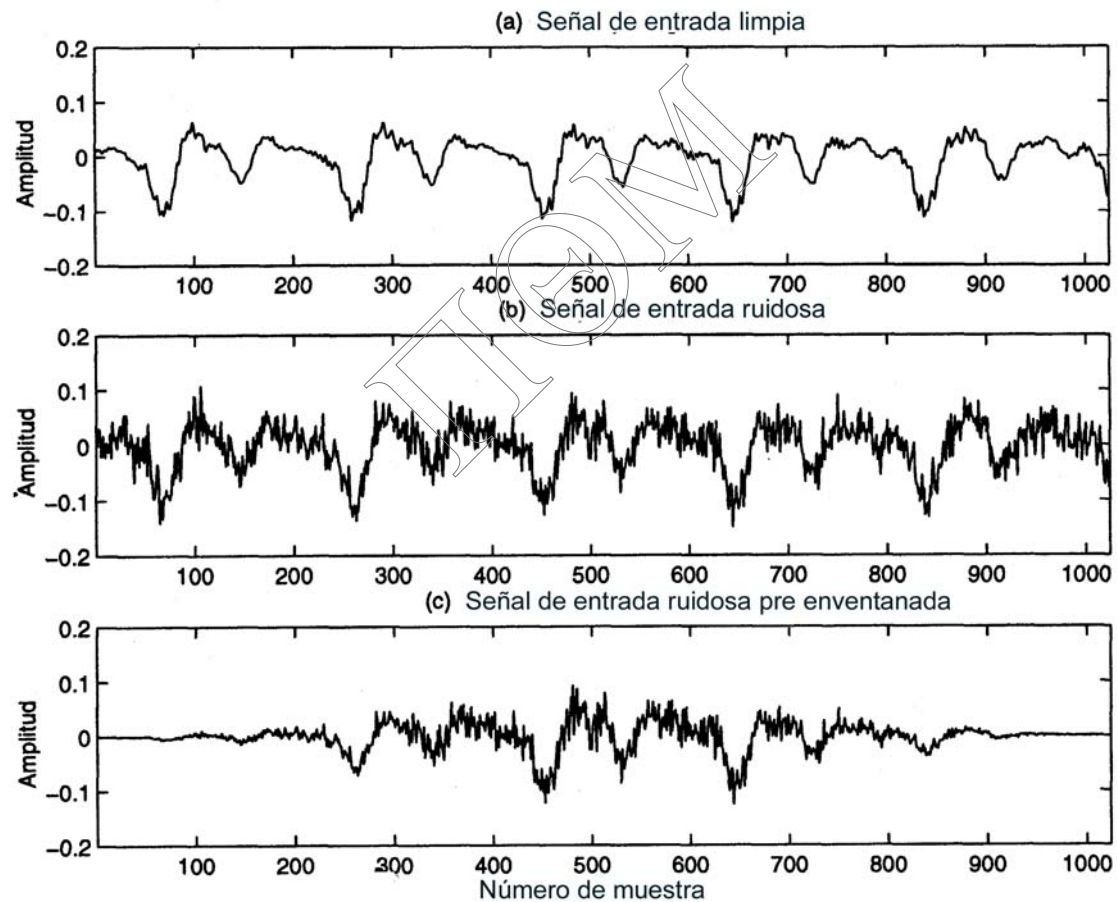


➤ Wiener

UOM

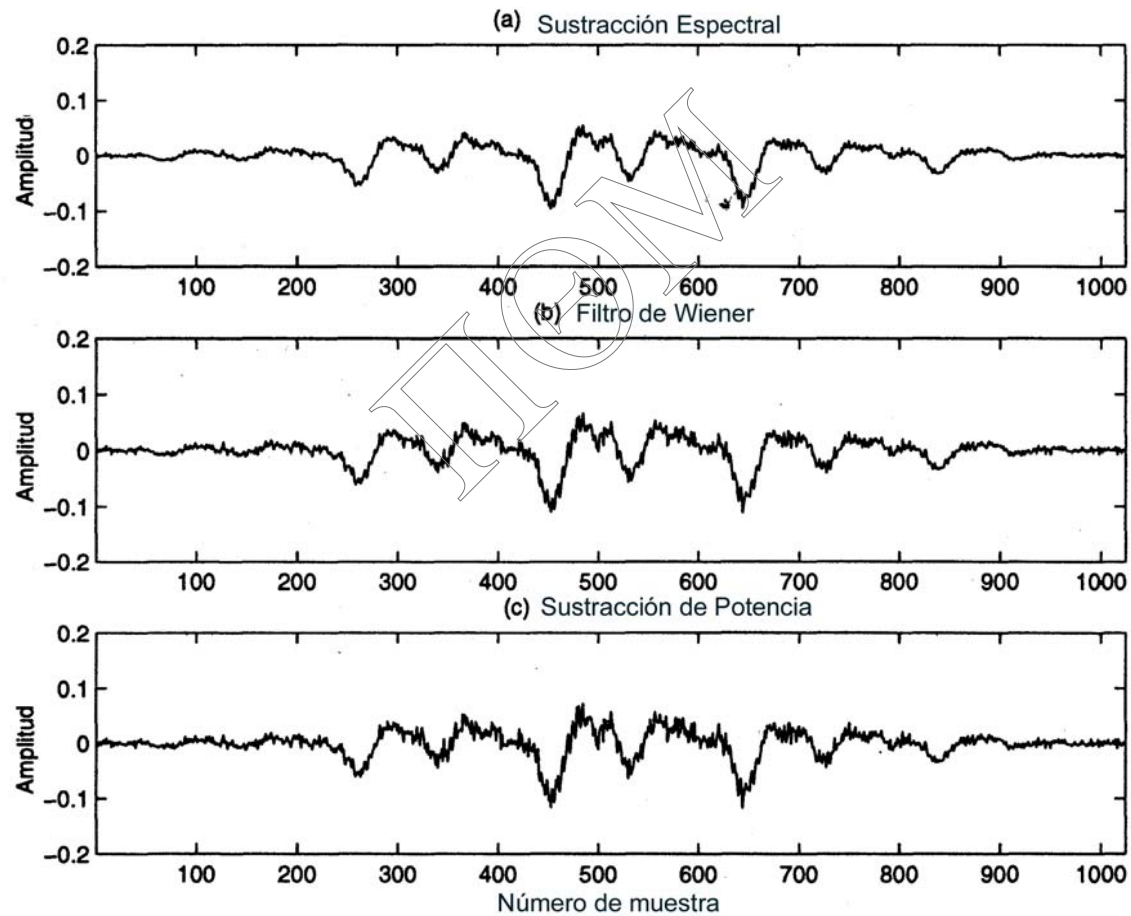
# RUIDO DE FONDO

➤ Ejemplo, Señal ruidosa



# RUIDO DE FONDO

➤ Ejemplo, Señal restaurada



# RUIDO DE FONDO

---

- Distorsiones (Ruidos residuales)
  - Ruido musical
    - Sobre-estimación en gran señal
    - Sub-estimación en pequeña señal
    - Mejoras
      - Sobreestimación del ruido
      - Umbral para el ruido tonal
      - Umbral de wiener (más natural)

$$f(Y(m)) = \max\left(\alpha, \frac{\rho(m)}{1 + \rho(m)}\right) Y(m)$$

# RUIDO DE FONDO

---

- Eliminación del ruido musical
  - Información temporal de ventanas adyacentes
  - Ruido tonal probable que ocurra a la misma frecuencia en ventanas consecutivas
  - Estimación de la amplitud espectral mínima a partir de ventanas adyacentes como salida restaurada
  - Medias de los bloques de datos adyacentes mejor que media aritmética o valor mínimo



# RUIDO DE FONDO

---

- Eliminación del ruido musical
  - Enmascarados no lineales de las componentes de frecuencia cuyas vecinas temporales son de amplitud pequeña
  - Aplicación de la supresión de ruido en el dominio de la frecuencia a la envolvente temporal del espectro de ruido en cada banda de frecuencias

# CLICK

---

- Características
  - Degradación aditiva (o sustitutiva)
  - No interfiere en el timing
  - Ráfagas aleatorias
    - Dependencia en la ráfaga (no Bernoulli)
    - Detecciones omitidas, falsas alarmas
  - Amplitudes aleatorias
    - Gran amplitud, influye en todo
    - Pequeña amplitud, no se detecta

# CLICK

---

- Proceso
  - Detección de las muestras degradadas
  - Restauración de las muestras degradadas
  - ¿Información en las muestras degradadas?
    - Interpolación

# CLICK

---

- Interpolación
  - Uso de muestras adyacentes no dañadas
  - Intervalos de 1 a 100 muestras a 44.1 kHz
  - Criterios de estimación
    - MSE, ML, MAP
  - Métodos
    - Filtro de media, muestras cercanas
    - Gaussiano, Modelo de ruido, AR

# CLICK

---

## ➤ Modelo

### ➤ Ruido aditivo

$$y_t = x_t + i_t n_t$$

### ➤ Bloque de datos buenos y malos

$$x_t = [x_{-(i)a}^T \ x_{(i)}^T \ x_{-(i)b}^T]^T$$

### ➤ Bloque de datos reordenados

$$x_t = Ux_{(i)} + Kx_{-(i)}$$

# CLICK

- Interpolación Gaussiano de covarianzas conocidas
  - Probabilidad condicional de muestras malas

$$p(x_{(i)}|x_{-(i)}) = \frac{p(x)}{p(x_{-(i)})} = \frac{p_x(Ux_{(i)} + Kx_{-(i)})}{p(x_{-(i)})}$$

- Estimación MAP gaussiana (igual a MSE)

$$x^T R_x^{-1} x = (Ux_{(i)} + Kx_{-(i)})^T R_x^{-1} (Ux_{(i)} + Kx_{-(i)})$$

$$x_{(i)}^{MAP} = -M_{(i)(i)}^{-1} M_{(i)-(i)} x_{-(i)} \quad M_{(i)-(i)} = U^T R_x^{-1} K$$

$$M_{(i)(i)} = U^T R_x^{-1} U$$

# CLICK

- Interpolación Gaussiano de covarianzas conocidas
  - Modelo de ruido Gaussiano,  $N(0, \sigma_v)$
  - Interpolador MAP

$$x_{(i)}^{MAP} = -\left(M_{(i)(i)} + \frac{1}{\sigma_v^2} I\right)^{-1} \left(M_{(i)-(i)} x_{-(i)} - \frac{1}{\sigma_v^2} y_{(i)}\right)$$

# CLICK

➤ Interpolación basado en modelo AR

➤ Error de predicción

$$e = A(Kx_{-(i)} + Ux_{(i)}) = A_{-(i)}x_{-(i)} + A_{(i)}x_{(i)}$$

➤ Estimación de mínimos cuadrados

$$E = \sum_{n=P+1}^N e_n^2 = e^T e \quad x_{(i)}^{LS} = \arg \min_{x_{(i)}} \{ E \}$$

$$\frac{\partial E}{\partial x_{(i)}} = 2(A_{-(i)}x_{-(i)} + A_{(i)}x_{(i)})^T A_{(i)} = 0$$

$$x_{(i)}^{LS} = -\left( A_{(i)}^T A_{(i)} \right)^{-1} A_{(i)}^T A_{-(i)} x_{-(i)}$$



# CLICK

- Detección de click
  - Filtrado paso alto + Umbral
  - Cálculo del residuo AR + Umbral