



DEFENSA DE TESIS

Desarrollo de un códec
para la transmisión de audio cardiaco
sobre redes de bajas tasas de datos

7 de noviembre de 2014

Roilhi Frajo Ibarra Hernández

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones
División de Física Aplicada



COMITÉ EVALUADOR DE TESIS

- Dr. Miguel Ángel Alonso Arévalo
 - *Director de tesis*
- Dr. Salvador Villarreal Reyes
 - *Miembro del comité*
- Dr. Roberto Conte Galván
 - *Miembro del comité*
- Dr. Jonás D. de Basabe Delgado
 - *Miembro externo del comité*

CONTENIDO

1. Introducción
2. Modelado de la parte determinística
3. Modelado de la parte estocástica
4. Extracción y cuantificación de los parámetros
5. Evaluación y resultados
6. Conclusiones y trabajo a futuro

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

¹Datos actualizados hasta marzo del 2013.

INTRODUCCIÓN

→ *Enfermedades cardiovasculares (CVD's)* ⇒ son las principales causa de muerte en el mundo según la OMS¹.



¹Datos actualizados hasta marzo del 2013.

INTRODUCCIÓN

- *Enfermedades cardiovasculares (CVD's)* ⇒ son las principales causa de muerte en el mundo según la OMS¹.
- En 2008 fallecieron 17.3 millones de personas en el mundo a causa de alguna CVD.

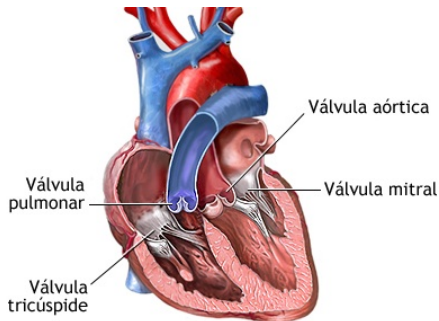


¹Datos actualizados hasta marzo del 2013.

FONOCARDIOGRAMA

Auscultación

Método económico, accesible y confiable en la detección de cardiopatías. Se obtiene en éste una señal de audio llamada *fonocardiograma (PCG)* que indica la actividad de las válvulas cardiacas.



FONOCARDIOGRAMA

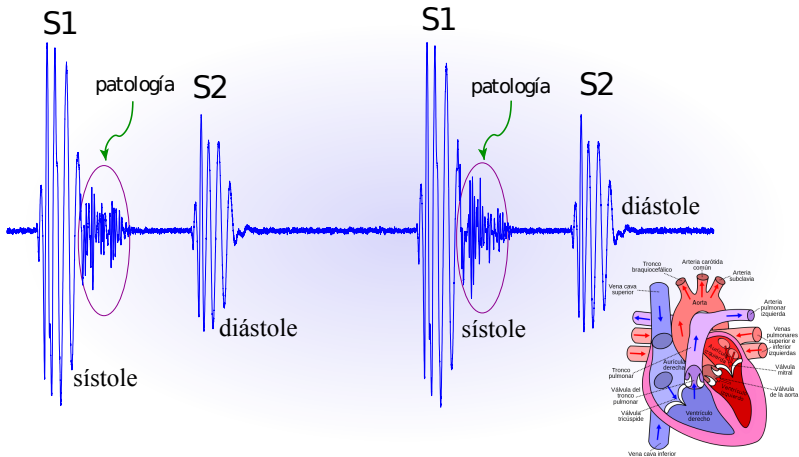
Ciclo cardiaco \Rightarrow Se consideran dos sonidos o eventos principales.

Evento	Duración (s)	Frecuencias (Hz)
s1	0.1-0.12	20-150
s2	0.08-0.14	50-60

Señal cuasi-estacionaria: Los ciclos son altamente consistentes y muy similares en duración, tiempo y forma.

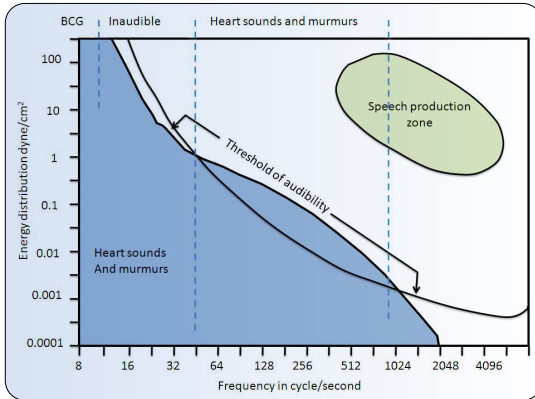
FONOCARDIOGRAMA

Patología cardíaca \Rightarrow Daño en las válvulas, cambio en el flujo sanguíneo y en la frecuencia del sonido.



FONOCARDIOGRAMA

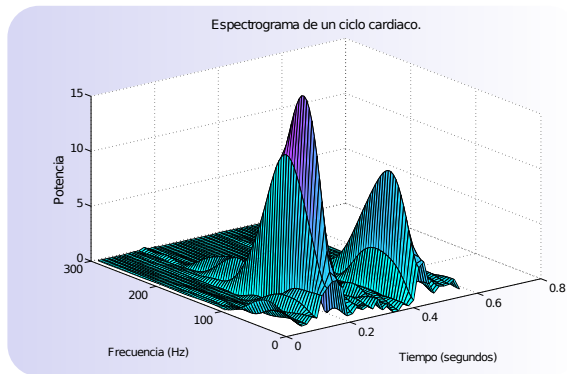
La mayor parte de la energía del PCG no es audible, se encuentra por debajo del umbral de audición.



FONOCARDIOGRAMA

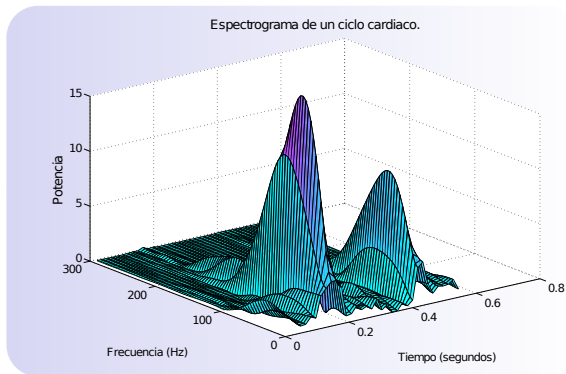
FONOCARDIOGRAMA

- La digitalización del PCG permite analizarle en el plano tiempo-frecuencia con más precisión.



FONOCARDIOGRAMA

- La digitalización del PCG permite analizarle en el plano tiempo-frecuencia con más precisión.
- El contenido frecuencial del fonocardiograma no rebasa los 2,000 Hz aún con patologías.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

→ Los codificadores existentes están diseñados para audio en general.

Objetivo de la tesis

Diseñar un códec (codificador-decodificador) tipo paramétrico adaptado al audio cardiaco para su transmisión sobre redes de bajas tasas de datos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Los codificadores existentes están diseñados para audio en general.
- Los recursos son excesivos para representar al PCG en frecuencia.

Objetivo de la tesis

Diseñar un códec (codificador-decodificador) tipo paramétrico adaptado al audio cardiaco para su transmisión sobre redes de bajas tasas de datos.

→ Anteriormente se han modelado con éxito señales PCG de manera determinística mediante Matching Pursuit.

- Anteriormente se han modelado con éxito señales PCG de manera determinística mediante Matching Pursuit.
- Se creyó que el modelo determinista era suficiente para representar la información contenida en la señal.

- Anteriormente se han modelado con éxito señales PCG de manera determinística mediante Matching Pursuit.
- Se creyó que el modelo determinista era suficiente para representar la información contenida en la señal.
- Se propone en este trabajo el modelado de la suma de dos partes:

$$PCG = Parte_{determinista} + Parte_{estocastica}$$

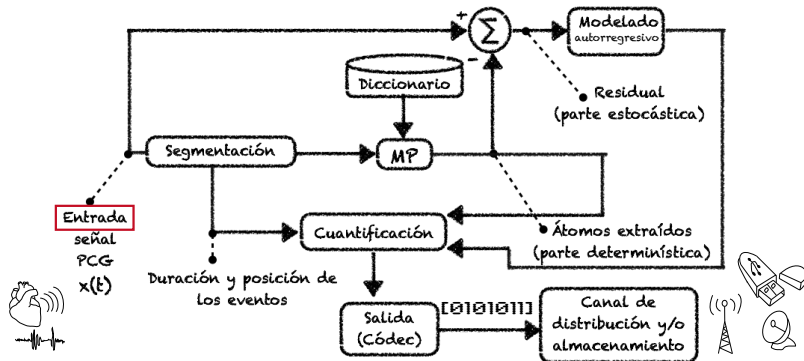
- Anteriormente se han modelado con éxito señales PCG de manera determinística mediante Matching Pursuit.
- Se creyó que el modelo determinista era suficiente para representar la información contenida en la señal.
- Se propone en este trabajo el modelado de la suma de dos partes:

$$PCG = Parte_{determinista} + Parte_{estocastica}$$

- No se ha encontrado algún codificador para audio cardiaco con dichas características.

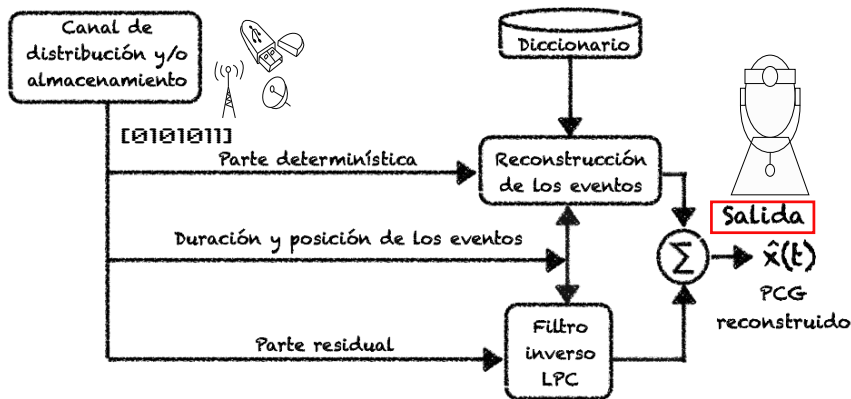
ESTRUCTURA DEL CÓDEC

Eta de codificación



ESTRUCTURA DEL CÓDEC

Etapa de decodificación



MODELADO DE LA PARTE DETERMINÍSTICA

REPRESENTACIÓN DISPERSA DE SEÑALES

Idea principal: Extraer información compacta a partir de conjuntos masivos de datos.

Representación dispersa

La mayoría o totalidad de la información es representada por una combinación lineal de formas de onda llamadas átomos.

$$x(t) = \sum_k u_k \phi_k(t)$$

o en forma matricial:

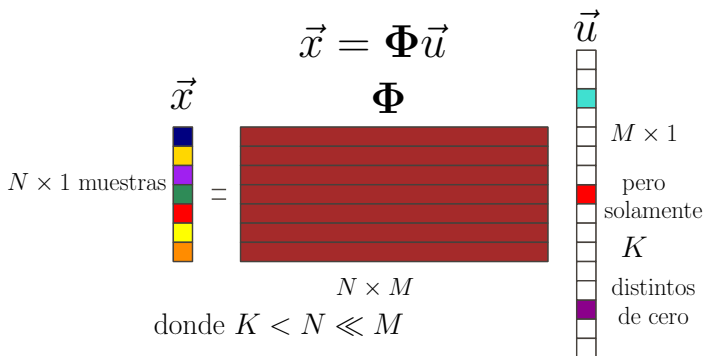
$$\vec{x} = \Phi \vec{u},$$

donde x es la señal a representar, ϕ el k -ésimo átomo y Φ el conjunto átomos o *diccionario*; \vec{u} es un vector significativo para realizar la representación.

REPRESENTACIÓN DISPERSA DE SEÑALES

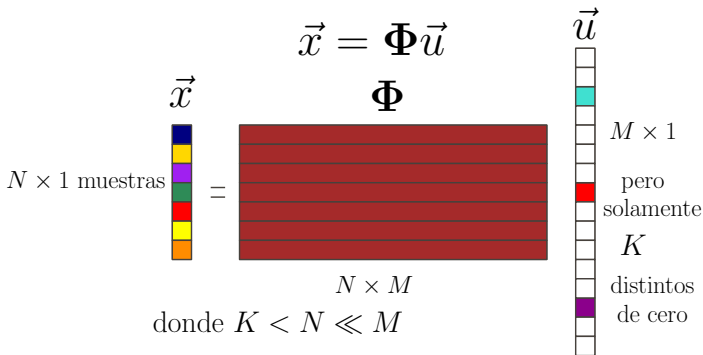
REPRESENTACIÓN DISPERSA DE SEÑALES

→ Base sobrecompleta \Rightarrow existe una cantidad infinita de \vec{u} que generan la misma \vec{x} .



REPRESENTACIÓN DISPERSA DE SEÑALES

- Base sobrecompleta \Rightarrow existe una cantidad infinita de \vec{u} que generan la misma \vec{x} .
- Mayor interés en los \vec{u} dispersos, estos son los que contienen el menor número K , de elementos distintos de cero.



MATCHING PURSUIT

MATCHING PURSUIT

→ Algoritmo de RD seleccionado en este trabajo.

MATCHING PURSUIT

- Algoritmo de RD seleccionado en este trabajo.
- *Descompone* o representa una señal $x(t)$ en una combinación lineal de átomos y un término residual:

$$x(t) = \sum_{m=1}^K \underbrace{\alpha_m}_{\text{factor de ponderación}} \cdot \underbrace{g_{\gamma_m}(t)}_{\text{\textit{m-ésimo átomo óptimo}}} + \underbrace{R_K(t)}_{\text{Residual después de } K \text{ iteraciones}}.$$

factor de ponderación

m -ésimo átomo óptimo

Residual después
de K iteraciones

MATCHING PURSUIT

- Algoritmo de RD seleccionado en este trabajo.
- *Descompone* o representa una señal $x(t)$ en una combinación lineal de átomos y un término residual:

$$x(t) = \sum_{m=1}^K \underbrace{\alpha_m}_{\text{factor de ponderación}} \cdot \underbrace{g_{\gamma_m}(t)}_{m\text{-ésimo átomo óptimo}} + \underbrace{R_K(t)}_{\text{Residual después de } K \text{ iteraciones}}.$$

- Selecciona en cada iteración los átomos que mejor coincidan (*best-match*) con la estructura de la señal.

MATCHING PURSUIT

- Algoritmo de RD seleccionado en este trabajo.
- *Descompone* o representa una señal $x(t)$ en una combinación lineal de átomos y un término residual:

$$x(t) = \sum_{m=1}^K \underbrace{\alpha_m}_{\text{factor de ponderación}} \cdot \underbrace{g_{\gamma_m}(t)}_{m\text{-ésimo átomo óptimo}} + \underbrace{R_K(t)}_{\text{Residual después de } K \text{ iteraciones}}.$$

- Selecciona en cada iteración los átomos que mejor coincidan (*best-match*) con la estructura de la señal.
- Una vez seleccionado el átomo que mejor coincida se extrae (resta) de $x(t)$ y comienza de nuevo el proceso hasta cumplir un criterio para detener el algoritmo.

MATCHING PURSUIT

MATCHING PURSUIT

- Es importante la selección de un diccionario adecuado para las descomposiciones en MP.

MATCHING PURSUIT

- Es importante la selección de un diccionario adecuado para las descomposiciones en MP.
- Se ha encontrado que los diccionarios de Gabor presentan elementos con características similares a las de la señal a modelar.

MATCHING PURSUIT

- Es importante la selección de un diccionario adecuado para las descomposiciones en MP.
- Se ha encontrado que los diccionarios de Gabor presentan elementos con características similares a las de la señal a modelar.
- Los *átomos* de Gabor son ondas cosenoidales bien concentradas en tiempo y frecuencia obtenidas por:

de un impulso gaussiano.

MATCHING PURSUIT

- Es importante la selección de un diccionario adecuado para las descomposiciones en MP.
- Se ha encontrado que los diccionarios de Gabor presentan elementos con características similares a las de la señal a modelar.
- Los *átomos* de Gabor son ondas cosenoidales bien concentradas en tiempo y frecuencia obtenidas por:
 - Dilatación

de un impulso gaussiano.

MATCHING PURSUIT

- Es importante la selección de un diccionario adecuado para las descomposiciones en MP.
- Se ha encontrado que los diccionarios de Gabor presentan elementos con características similares a las de la señal a modelar.
- Los *átomos* de Gabor son ondas cosenoidales bien concentradas en tiempo y frecuencia obtenidas por:
 - Dilatación
 - Modulación

de un impulso gaussiano.

MATCHING PURSUIT

- Es importante la selección de un diccionario adecuado para las descomposiciones en MP.
- Se ha encontrado que los diccionarios de Gabor presentan elementos con características similares a las de la señal a modelar.
- Los *átomos* de Gabor son ondas cosenoidales bien concentradas en tiempo y frecuencia obtenidas por:
 - Dilatación
 - Modulación
 - Traslaciónde un impulso gaussiano.

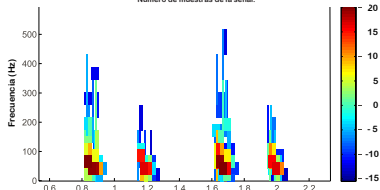
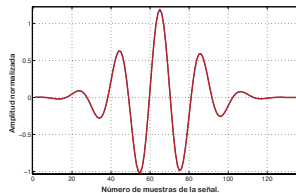
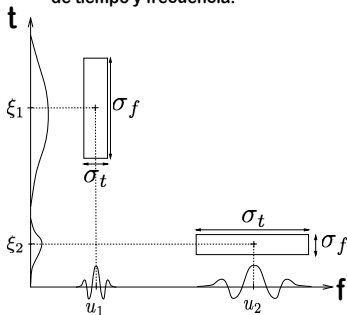
ÁTOMOS DE GABOR

Forma de onda de un átomo de Gabor:

$$g_{\gamma}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} w\left(\frac{t-u}{s}\right) e^{j2\pi\xi(t-u)},$$

donde: $w = \sqrt[4]{2}e^{-\pi t^2}$ y además $\int_{-\infty}^{\infty} |w(t)|^2 dt = 1$

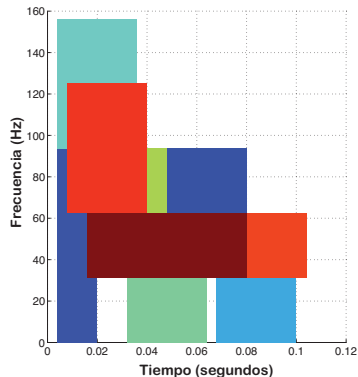
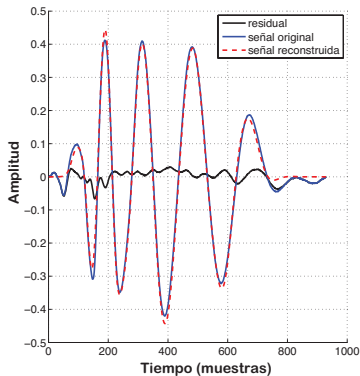
Átomos de Gabor en los planos de tiempo y frecuencia.



DESCOMPOSICIÓN MP DE UN EVENTO CARDIACO

DESCOMPOSICIÓN MP DE UN EVENTO CARDIACO.

Se ha desarrollado la reconstrucción de la forma de onda de eventos cardiacos con precisión mediante Matching Pursuit y átomos de Gabor.



SEÑAL RESIDUAL

SEÑAL RESIDUAL

→ MP es un algoritmo *codicioso* \Rightarrow extrae la mayor cantidad de energía/información de la señal a representar.

SEÑAL RESIDUAL

- MP es un algoritmo *codicioso* \Rightarrow extrae la mayor cantidad de energía/información de la señal a representar.
- No existe un número límite de K iteraciones/átomos para detener el algoritmo, se requiere un criterio.

SEÑAL RESIDUAL

- MP es un algoritmo *codicioso* \Rightarrow extrae la mayor cantidad de energía/información de la señal a representar.
- No existe un número límite de K iteraciones/átomos para detener el algoritmo, se requiere un criterio.
- En este trabajo se ha propuesto extraer 99 % de la energía contenida en los eventos o bien llegar hasta 30 iteraciones.

SEÑAL RESIDUAL

- MP es un algoritmo *codicioso* \Rightarrow extrae la mayor cantidad de energía/información de la señal a representar.
- No existe un número límite de K iteraciones/átomos para detener el algoritmo, se requiere un criterio.
- En este trabajo se ha propuesto extraer 99 % de la energía contenida en los eventos o bien llegar hasta 30 iteraciones.
- El 1 % restante es considerado, junto con los silencios, ***parte estocástica*** del códec.

SEÑAL RESIDUAL

- MP es un algoritmo *codicioso* \Rightarrow extrae la mayor cantidad de energía/información de la señal a representar.
- No existe un número límite de K iteraciones/átomos para detener el algoritmo, se requiere un criterio.
- En este trabajo se ha propuesto extraer 99 % de la energía contenida en los eventos o bien llegar hasta 30 iteraciones.
- El 1 % restante es considerado, junto con los silencios, **parte estocástica** del códec.
 - Baja correlación con los átomos de Gabor.

SEÑAL RESIDUAL

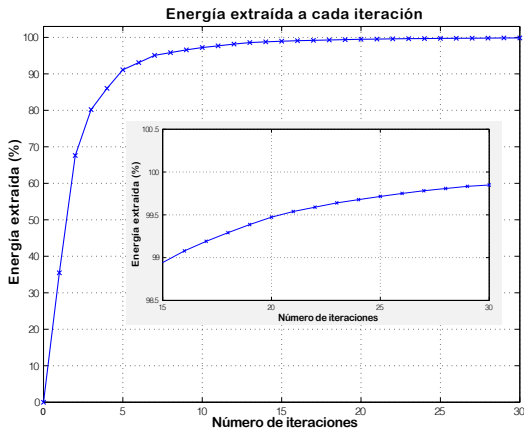
- MP es un algoritmo *codicioso* \Rightarrow extrae la mayor cantidad de energía/información de la señal a representar.
- No existe un número límite de K iteraciones/átomos para detener el algoritmo, se requiere un criterio.
- En este trabajo se ha propuesto extraer 99 % de la energía contenida en los eventos o bien llegar hasta 30 iteraciones.
- El 1 % restante es considerado, junto con los silencios, **parte estocástica** del códec.
 - Baja correlación con los átomos de Gabor.
 - No contiene propiedades determinísticas.

SEÑAL RESIDUAL

- MP es un algoritmo *codicioso* \Rightarrow extrae la mayor cantidad de energía/información de la señal a representar.
- No existe un número límite de K iteraciones/átomos para detener el algoritmo, se requiere un criterio.
- En este trabajo se ha propuesto extraer 99 % de la energía contenida en los eventos o bien llegar hasta 30 iteraciones.
- El 1 % restante es considerado, junto con los silencios, **parte estocástica** del códec.
 - Baja correlación con los átomos de Gabor.
 - No contiene propiedades determinísticas.
 - Aún contiene información sobre el audio cardiaco.

SEÑAL RESIDUAL

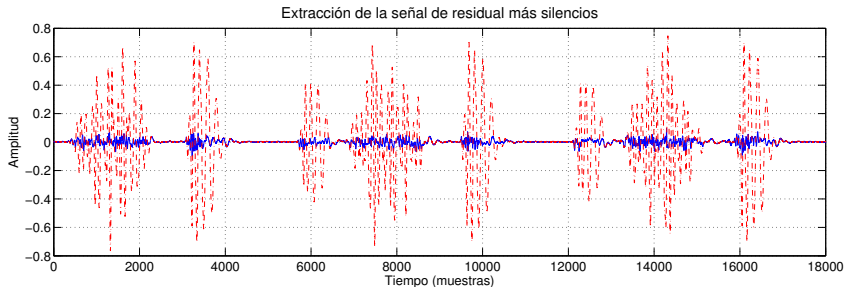
El perfil de extracción de energía dado por MP tiene un comportamiento asintótico.



MODELADO DE LA PARTE ESTOCÁSTICA

SEÑAL RESIDUAL MÁS SILENCIOS

El residual es obtenido al extraer en MP el 99 % de la energía de la señal en las partes donde hubo eventos.



MODELADO DE LA PARTE ESTOCÁSTICA

Codificación predictiva lineal (LPC)

Bajo la hipótesis que el residual $R_K(t)$ es un proceso estocástico estacionario en sentido amplio, en ventanas cortas de tiempo (≈ 30 ms) $s(n)$, puede ser generado por una ecuación en diferencias recursiva:

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k) + Gu(n),$$

donde a_k son los coeficientes de un filtro *predictor*, G es la ganancia del filtro y $s(n-k)$ son las p muestras anteriores de $s(n)$.

Este modelo ***no pretende representar la forma de onda***, sino aproximar la envolvente del espectro de la señal $s(n)$.

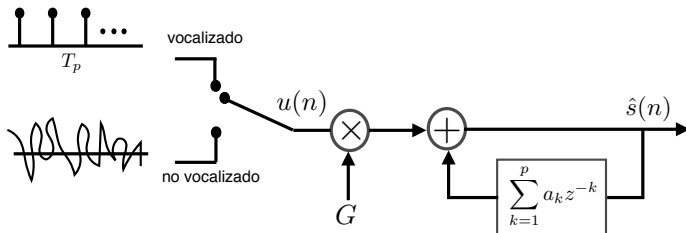
MODELO DE PREDICCIÓN LINEAL

La secuencia $s(n)$ se genera por medio de la excitación de un filtro IIR *todo polos* mediante $u(n)$ teniendo dos casos:

MODELO DE PREDICCIÓN LINEAL

La secuencia $s(n)$ se genera por medio de la excitación de un filtro IIR *todo polos* mediante $u(n)$ teniendo dos casos:

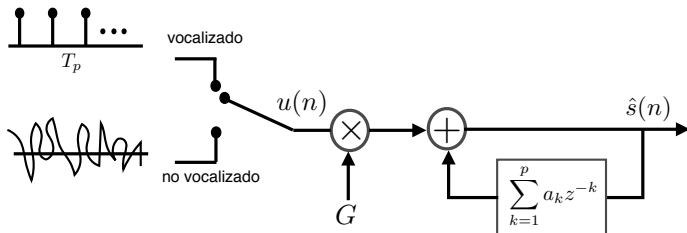
→ Sonido vocalizado (voiced): Se elige a $u(n)$ como un tren de pulsos separados por un *periodo tonal* (pitch).



MODELO DE PREDICCIÓN LINEAL

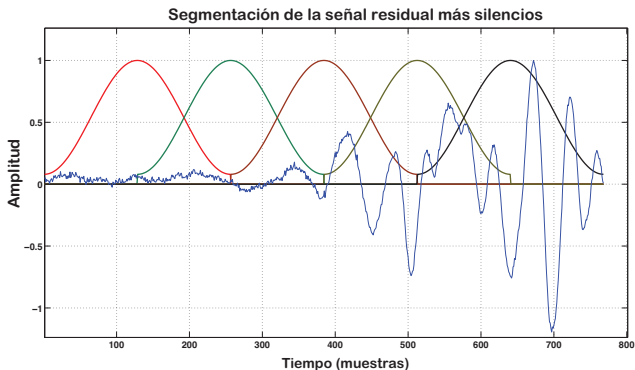
La secuencia $s(n)$ se genera por medio de la excitación de un filtro IIR *todo polos* mediante $u(n)$ teniendo dos casos:

- Sonido vocalizado (voiced): Se elige a $u(n)$ como un tren de pulsos separados por un *periodo tonal* (pitch).
- Sonido no vocalizado (unvoiced): $u(n)$ es una secuencia de ruido gaussiano.



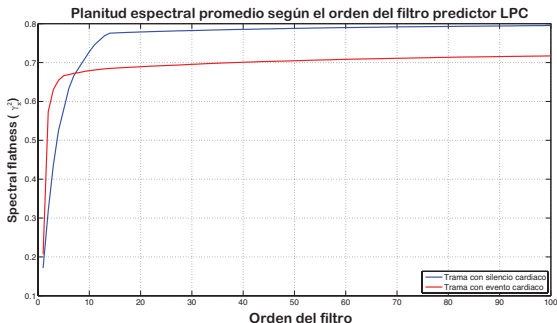
MODELADO LPC DE LA PARTE ESTOCÁSTICA

Se divide la señal residual más silencios en ventanas de 256 muestras (32 ms si $f_s = 8\text{kHz}$) con un recubrimiento (overlap) del 50 % y se calcula para cada una de ellas los coeficientes predictores (recursión de Levinson), y periodo tonal (caso vocalizado).



SELECCIÓN DEL ORDEN DEL FILTRO

Se empleó la *planitud espectral*² γ_x^2 promedio de las señales analizadas para observar en su gráfica el punto donde el espectro comienza a comportarse como plano, teniendo en este caso $p = 15$ y $p = 10$.



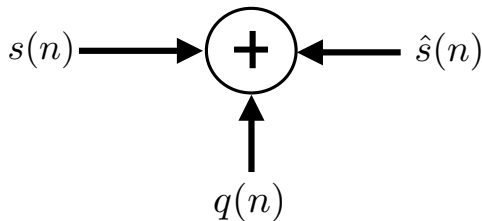
²Razón entre la media geométrica y media aritmética de la PSD de la señal.

EXTRACCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS

CUANTIFICACIÓN

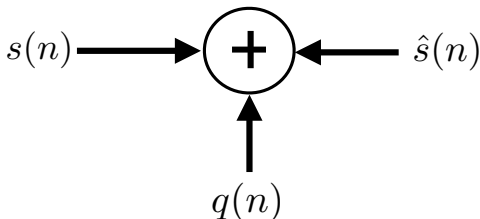
CUANTIFICACIÓN

→ Los valores de amplitud de una señal toman valores discretos en la cuantificación.



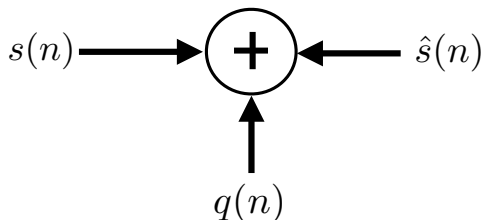
CUANTIFICACIÓN

- Los valores de amplitud de una señal toman valores discretos en la cuantificación.
- El proceso es irreversible y de compresión con pérdidas.



CUANTIFICACIÓN

- Los valores de amplitud de una señal toman valores discretos en la cuantificación.
- El proceso es irreversible y de compresión con pérdidas.
- Matemáticamente equivale a añadir ruido aditivo a la señal.



PARÁMETROS OBTENIDOS EN LOS MODELADOS

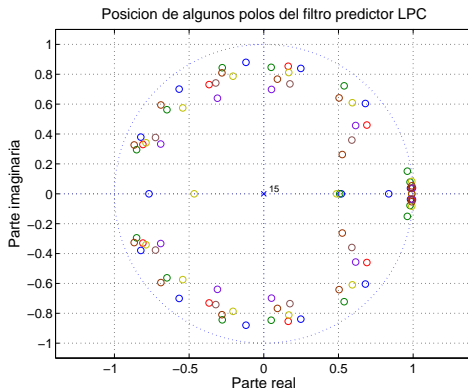
Se cuantificaron los parámetros extraídos que no son de formato *entero*.

Códec para PCG basado en MP y LPC	Parámetros parte determinística	Parámetros a cuantificar	Amplitud de los átomos
			Fase de los átomos
		Parámetros que no se cuantificarán	Posición de los átomos*
			Frecuencia de los átomos
			Longitud de los átomos
	Parámetros parte estocástica	Parámetros a cuantificar	Coefficientes LSFD
			Ganancia del filtro
		Parámetros que no se cuantificarán	Periodo tonal (Pitch)
	Otros parámetros		Segmentación de eventos

SENSIBILIDAD DEL FILTRO PREDICTOR

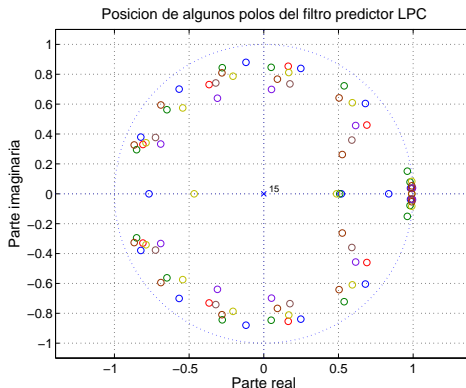
SENSIBILIDAD DEL FILTRO PREDICTOR

→ Varios de los polos del filtro predictor son muy cercanos al círculo unitario.



SENSIBILIDAD DEL FILTRO PREDICTOR

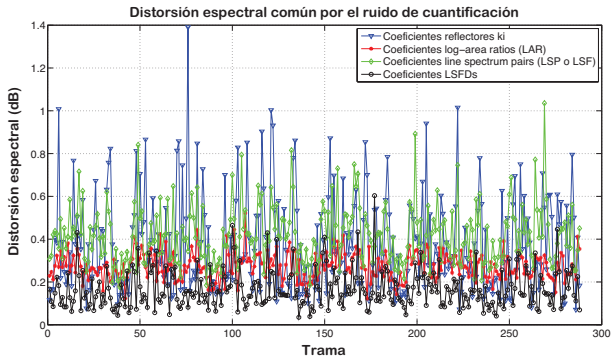
- Varios de los polos del filtro predictor son muy cercanos al círculo unitario.
- No son directamente cuantificables, ya que no se preserva la *estabilidad del filtro*.



DISTORSIÓN ESPECTRAL COMÚN

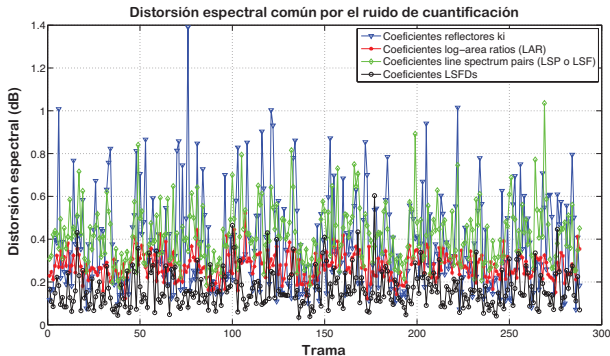
DISTORSIÓN ESPECTRAL COMÚN

→ Existen otras representaciones equivalentes a los coeficientes predictores a_k .



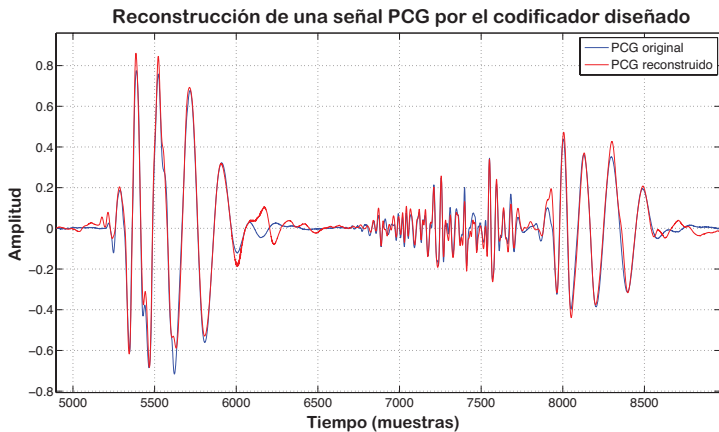
DISTORSIÓN ESPECTRAL COMÚN

- Existen otras representaciones equivalentes a los coeficientes predictores a_k .
- Se ha calculado la *distorsión espectral común* D_i entre las tramas de audio cardiaco reconstruidas tras cuantificar y las tramas originales.



EVALUACIÓN Y RESULTADOS

RECONSTRUCCIÓN DEL PCG POR EL CODIFICADOR



BITS REQUERIDOS POR PARÁMETRO

Parámetros de la parte determinística (MP)		
Parámetro extraído	Núm. bits requeridos/átomo	Tipo de cuantificador
Amplitud atómica	8	No uniforme
Longitud atómica	3	Sin cuantificador
Fase atómica	8	Uniforme
Posición atómica	8	Sin cuantificador
Frecuencia atómica	6	Sin cuantificador
Parámetros de la parte estocástica (LPC)		
Parámetro extraído	Núm. bits requeridos/segmento	Tipo de cuantificador
Ganancia del filtro	4	No uniforme
Periodo tonal (Pitch)	8	Sin cuantificador
LSFD	7	No uniforme

Tabla: Número de bits requeridos por parámetro y tipo de cuantificación realizada.

PORCENTAJES DE COMPRESIÓN EN LOS PCG ANALIZADOS

3

Nombre de la señal	Porcentaje de compresión (%)		Bits requeridos por el codificador
	@ 128 kbps	@ 64 kbps	
Soplo diastólico	93.24	86.47	39,818
Clic de eyección	93.88	87.68	39,115
Murmullo sistólico temprano	93.35	86.70	43,301
Murmullo sistólico tardío	93.30	86.61	44,333
Chasquido de apertura	94.06	88.13	38,077
S3	93.99	87.98	38,385
S4	94.06	88.16	39,031
Murmullo pansistólico	93.00	86.00	47,358
Apertura normal S1	94.49	88.98	31,602
Apertura normal S2	94.21	88.43	34,005

³Señales obtenidas de http://solutions.3m.com.mx/wps/portal/3M/es_MX/3M-Littmann-LA/home/Education/SoundLibrary/

EVALUACIÓN OBJETIVA DEL CÓDEC

Se calculó el coeficiente de correlación $\rho_{x,\hat{x}}$ y la raíz cuadrada de la diferencia cuadrática media (PRD) de las señales analizadas:

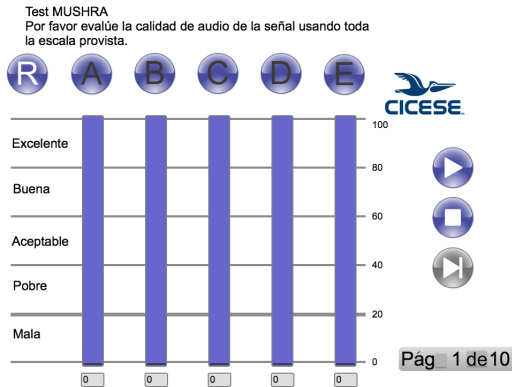
Nombre de la señal	Coeficiente de correlación	PRD (%)
Soplo diastólico	0.97	2.50
Clic de eyección	0.97	2.38
Murmullo sistólico temprano	0.97	2.33
Murmullo sistólico tardío	0.93	2.41
Chasquido de apertura	0.93	2.15
S3	0.94	2.87
S4	0.96	2.77
Murmullo pansistólico	0.96	2.74
Apertura normal S1	0.96	2.77
Apertura normal S2	0.97	2.61

EVALUACIÓN SUBJETIVA DEL CÓDEC

⁴ Mutiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor.

EVALUACIÓN SUBJETIVA DEL CÓDEC

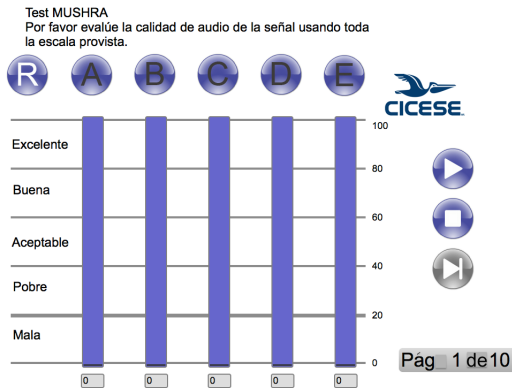
→ Se aplicó la norma ITU-T BS-1534 MUSHRA⁴.



⁴ Multiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor.

EVALUACIÓN SUBJETIVA DEL CÓDEC

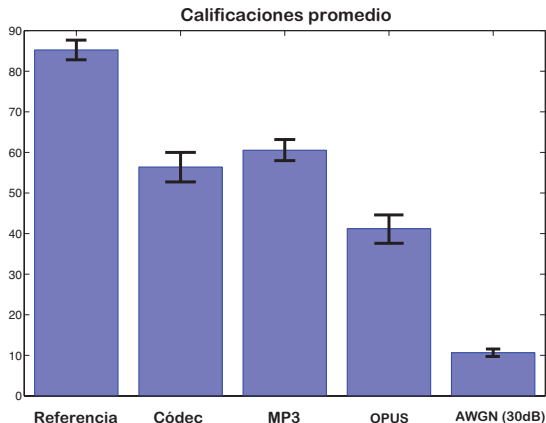
- Se aplicó la norma ITU-T BS-1534 MUSHRA⁴.
- Se comparó el modelo propuesto con los codificadores OPUS y MP3.



⁴ Multiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor.

RESULTADOS OBTENIDOS POR MUSHRA

Se seleccionaron 5 estímulos para ser calificados, sus calificaciones promedio e intervalos de confianza para un nivel del 95 % fueron calculados.



CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un codificador-decodificador para señales de audio cardíaco $x(t)$ basado en la suma de una parte determinística y una parte estocástica:

$$x(t) = \underbrace{\sum_m^K \alpha_k g_{\gamma_m}(t)}_{\text{parte determinística}} + \underbrace{R_K(t)}_{\text{parte estocástica}}$$

.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un codificador-decodificador para señales de audio cardíaco $x(t)$ basado en la suma de una parte determinística y una parte estocástica:

$$x(t) = \underbrace{\sum_m^K \alpha_k g_{\gamma_m}(t)}_{\text{parte determinística}} + \underbrace{R_K(t)}_{\text{parte estocástica}}$$

- El codificador tiene una $R_b = 8\text{kbps}$ y una tasa de compresión $C_r \approx 94\%$.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un codificador-decodificador para señales de audio cardíaco $x(t)$ basado en la suma de una parte determinística y una parte estocástica:

$$x(t) = \underbrace{\sum_m^K \alpha_k g_{\gamma_m}(t)}_{\text{parte determinística}} + \underbrace{R_K(t)}_{\text{parte estocástica}}$$

- El codificador tiene una $R_b = 8\text{kbps}$ y una tasa de compresión $C_r \approx 94\%$.
- No se ha encontrado en la literatura un codificador con estas características.

CONCLUSIONES

- Se desarrolló un codificador-decodificador para señales de audio cardíaco $x(t)$ basado en la suma de una parte determinística y una parte estocástica:

$$x(t) = \underbrace{\sum_m^K \alpha_k g_{\gamma_m}(t)}_{\text{parte determinística}} + \underbrace{R_K(t)}_{\text{parte estocástica}}$$

- El codificador tiene una $R_b = 8\text{kbps}$ y una tasa de compresión $C_r \approx 94\%$.
- No se ha encontrado en la literatura un codificador con estas características.
- Matching Pursuit y los diccionarios de Gabor reconstruyen con precisión las partes del PCG correspondientes a eventos cardíacos.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- La señal residual $R_K(t)$ es aún perceptible e importante de modelar, su comportamiento se considera estocástico por su baja correlación con los átomos (a pesar de ser el 1 % de la energía).

CONCLUSIONES

- La señal residual $R_K(t)$ es aún perceptible e importante de modelar, su comportamiento se considera estocástico por su baja correlación con los átomos (a pesar de ser el 1 % de la energía).
- Por medio de LPC fue posible modelar la parte estocástica, segmentando la señal en tramos de tiempo adecuados.

CONCLUSIONES

- La señal residual $R_K(t)$ es aún perceptible e importante de modelar, su comportamiento se considera estocástico por su baja correlación con los átomos (a pesar de ser el 1 % de la energía).
- Por medio de LPC fue posible modelar la parte estocástica, segmentando la señal en tramos de tiempo adecuados.
- Es importante la realización de pruebas subjetivas en condiciones adecuadas para los oyentes.

CONCLUSIONES

- La señal residual $R_K(t)$ es aún perceptible e importante de modelar, su comportamiento se considera estocástico por su baja correlación con los átomos (a pesar de ser el 1 % de la energía).
- Por medio de LPC fue posible modelar la parte estocástica, segmentando la señal en tramos de tiempo adecuados.
- Es importante la realización de pruebas subjetivas en condiciones adecuadas para los oyentes.
- Los intervalos de confianza dan una valoración aceptable al codificador frente a versiones MP3 y OPUS, tomando además niveles del 95 % de confianza.

CONCLUSIONES

- La señal residual $R_K(t)$ es aún perceptible e importante de modelar, su comportamiento se considera estocástico por su baja correlación con los átomos (a pesar de ser el 1 % de la energía).
- Por medio de LPC fue posible modelar la parte estocástica, segmentando la señal en tramos de tiempo adecuados.
- Es importante la realización de pruebas subjetivas en condiciones adecuadas para los oyentes.
- Los intervalos de confianza dan una valoración aceptable al codificador frente a versiones MP3 y OPUS, tomando además niveles del 95 % de confianza.
- MP3 y OPUS emplean algoritmos más sofisticados de cuantificación.

TRABAJO A FUTURO

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.
- Implementar técnicas de WLPC.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.
- Implementar técnicas de WLPC.
- Implementar modelado mediante VELPC y CELP.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.
- Implementar técnicas de WLPC.
- Implementar modelado mediante VELPC y CELP.
- Emplear cuantificación vectorial en los parámetros.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.
- Implementar técnicas de WLPC.
- Implementar modelado mediante VELPC y CELP.
- Emplear cuantificación vectorial en los parámetros.
- Conformar un código de línea del codificador para después emplear codificación entrópica e incrementar la compresión.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.
- Implementar técnicas de WLPC.
- Implementar modelado mediante VELPC y CELP.
- Emplear cuantificación vectorial en los parámetros.
- Conformar un código de línea del codificador para después emplear codificación entrópica e incrementar la compresión.
- Realizar las pruebas MUSHRA con oyentes expertos en la salud.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.
- Implementar técnicas de WLPC.
- Implementar modelado mediante VELPC y CELP.
- Emplear cuantificación vectorial en los parámetros.
- Conformar un código de línea del codificador para después emplear codificación entrópica e incrementar la compresión.
- Realizar las pruebas MUSHRA con oyentes expertos en la salud.
- Verificar el desempeño del códec en alguna plataforma de simulación.

TRABAJO A FUTURO

- Experimentar el modelado de eventos con Matching Pursuit molecular.
- Agregar la etapa de segmentación al codificador.
- Implementar técnicas de WLPC.
- Implementar modelado mediante VELPC y CELP.
- Emplear cuantificación vectorial en los parámetros.
- Conformar un código de línea del codificador para después emplear codificación entrópica e incrementar la compresión.
- Realizar las pruebas MUSHRA con oyentes expertos en la salud.
- Verificar el desempeño del códec en alguna plataforma de simulación.
- Conformar una base propia de fonocardiogramas.

Gracias por su atención.