

ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO AVANZADO DE SEÑALES



Dra. María Eugenia Torres
Dr. Hugo Leonardo Rufiner
Dr. Diego H. Milone

Universidad Nacional de Entre Ríos
Facultad de Ingeniería
Laboratorio de Señales y
Dinámicas no Lineales

Universidad Nacional del Litoral
Facultad de Ciencias Hídricas
SINC(I)

Objetivos

Que el alumno:

- Conozca los fundamentos teóricos de técnicas avanzadas de análisis y procesamiento de señales.
- Comprenda su significado a los efectos de la correcta implementación de los correspondientes algoritmos.
- Identifique la utilidad de estas técnicas para su aplicación en señales reales
- Desarrolle habilidad para la lectura fluida y comprensiva de publicaciones científicas actuales sobre el tema.

Contenidos (I)

- **INTRODUCCIÓN.** Elementos de matemática avanzada. Operadores lineales. Proyecciones. Espacios vectoriales. Filtros lineales invariantes en el tiempo. Integrales de Fourier en L1 y en L2 - Propiedades. Filtros lineales discretos invariantes en el tiempo. Señales finitas.
- **ANÁLISIS TIEMPO-FRECUENCIA Y ANÁLISIS TIEMPO-ESCALA** Análisis por tramos. La transformada Fourier por ventanas. Distribución de Wigner-Ville, Clase de Cohen, distribución de Choi-Williams. Series de Distribución T-F. Representaciones T-F adaptativas. La transformada ondita. Frecuencia Instantánea. Energía tiempo-frecuencia Energía tiempo-escala.
- **MARCOS** Teoría de Marcos. Marcos en Fourier y en onditas. Invariancia ante traslación. Transformada Ondita Diádica.
- **BASES ONDITA.** Bases onditas ortogonales. Aproximaciones multirresolución. Funciones escala. Filtros espejo conjugados. Clases de bases ondita. Onditas y bancos de filtros. Bases biortogonales.

3

APAS 2009

Contenidos (II)

- **BASES PAQUETES DE ONDITAS Y COSENOS.** Transformada paquetes de onditas. Bases posibles. Algoritmo rápido. Transformada paquetes de cosenos. Búsqueda de bases: método de los marcos, mejor base ortogonal, base discriminante local, base menos dependiente estadísticamente, base de mejor dispersión.
- **DICCIONARIOS.** Representaciones basadas en diccionarios: ralas y/o factoriales. Planteo general. Métodos determinísticos y estocásticos. Relación con el análisis de componentes independientes. Selección de coeficientes o inferencia: caso limpio y ruidoso. Métodos de selección de subconjuntos. Búsqueda de bases y búsqueda por coincidencia. Búsqueda del diccionario o aprendizaje: Diccionarios fijos o "a medida" y óptimos. Descomposición modal empírica.
- **APLICACIONES.** Aplicaciones al análisis de señales reales.

4

APAS 2009

Conocimientos previos

- **Algebra lineal:** Espacios vectoriales.
- **Fundamentos de sistemas y señales:** espacio de señales, transformada de Fourier, convolución, transformada Z, filtros lineales.
- **Lenguajes de programación.**
- **Inglés**

Forma de evaluación

- No se tomarán exámenes parciales.
- El alumno deberá presentar el 100% de guías de práctica resueltas.

Del examen final

- **Trabajo final:** reproducción de los resultados de un trabajo publicado en una revista científica internacional oportunamente acordado con los profesores.
 - **informe escrito**
 - **defensa oral.**
- **Examen final:** preguntas de distintas unidades temáticas (oral y con los desarrollos teóricos).

Tema I: Introducción.

- ¿Qué es una señal?
- ¿Cuál es la información que podemos extraer de ella?
- ¿Cómo extraer dicha información?
- ¿Son ruido ciertas irregularidades?
- ¿Pueden ser asociadas a procesos subyacentes determinísticos (incluso caóticos)?, o ¿son alguna combinación de ambas?

Tema I: Introducción.

- ¿Qué es una señal?.
- ¿Cuál es la información que podemos extraer de ella?.
- ¿Cómo extraer dicha información?.
- ¿Son ruido ciertas irregularidades?
- ¿Pueden ser asociadas a procesos subyacentes determinísticos (incluso caóticos)?, o ¿son alguna combinación de ambas?.

Son cuestiones esenciales cuyas respuestas no son aún definitivas; por el contrario, han variado considerablemente en las últimas décadas.

Tema I: Introducción.

Y. Meyer, en su Prefacio al libro de P. Flandrin (1993), distingue tres períodos fundamentales.

&(1940-1960) señales eran analógicas y su tratamiento era esencialmente un capítulo de la física.

&(1960-1970) con la irrupción de los microprocesadores, la señal analógica cedió lugar a la señal digital.

- ⊙ la Teoría de la Información (IT) tomó vuelo.
- ⊙ algoritmos de cálculo rápido: transformada rápida de Fourier (FFT) (Cooley y Tuckey, 1965).
- ⊙ progresos en el campo de la estadística.

&(1970-1990) métodos y técnicas de la física-matemática y, en particular, de la mecánica cuántica.

Tema I: Introducción.

Las **técnicas clásicas** de análisis de señales generadas a partir de **sistemas lineales** se basan en:

- ⊙ el análisis espectral
- ⊙ las funciones de auto-correlación y de correlación cruzada.

▪ Podemos considerar que un **cuarto período** se inició hacia 1990:

- ⊙ advenimiento de técnicas para el análisis de señales provenientes de sistemas no lineales (caóticos).
- ⊙ el desarrollo de la Teoría de Onditas (WT).
- ⊙ el desarrollo de la Teoría Espectral de Orden Superior (HOS)
- ⊙ análisis estadístico de señales (análisis fractal, multifractal, procesos estocásticos) .

1930

Representaciones usando funciones bases con escala variable:

- P. Levy (Físico):
usando Haar basis, investigó Brownian Motion.
- Littlewood-Paley-Stein (Math.):
Cálculo de la energía de una función $f(x)$

1960-1980

- G. Weiss y R. Coifman (Math):
Elementos mas simples de un espacio funcional (*átomos*)

Por qué Teoría de Onditas?.

Una señal es el soporte físico de una información.

Orígenes: fisiológicos, acústicos, ópticos, económicos, etc.

Es a partir de su evolución *temporal* que quien la analiza trata de extraer la información que juzga de utilidad.

Su "legibilidad" depende de la facilidad con que sean obtenidos y con la cual puedan ser manipulados los datos.

Mirar desde un ángulo particular.

Espacio de representación inmediato (señal "cruda")



Espacio transformado que contenga la misma información

Necesidad de poner en evidencia características específicas de la señal para
"mirarla" desde un ángulo particular

Nacimiento de las Onditas (I)

- Jean P. Morlet
(geofísico francés, 1981)



15

APAS 2009

Nacimiento de las ondas (II)

- Jean P. Morlet
- Alex Grossman
(Físico croata,
University of Aix-
Marseille II in
Luminy)



16

APAS 2009

Historia (I)

- 1807 (1822) – **Joseph Fourier** (1768-1830) indica que toda función periódica puede ser expresada como una suma infinita de senos y cosenos de distintas frecuencias.
- 1909 – **Alfred Haar** (matemático húngaro) descubre una base de funciones que con el tiempo demostrarán ser las primeras “onditas”.
- 1930 – **Paul Levy** (físico Francés) mostró que las funciones de Haar eran mejores que las de Fourier para poner en relieve los detalles en el movimiento Browniano.



17

APAS 2009

Historia (II)

- 1946 – **Dennis Gabor** (físico) descompone una señal en paquetes tiempo-frecuencia.
- 1981 – **Jean P. Morlet** (ingeniero geofísico, francés) encuentra el modo de descomponer una señal sísmica en cierto tipo de “onditas” de forma constante.
- 1984 – Con la ayuda de **Alex Grossman** (físico cuántico croata en Francia), Morlet desarrolla su modelo. El término **ondelette** (**wavelet**) aparece por primera vez.



18

APAS 2009

Nacimiento de las onditas

- Jean P. Morlet
- Alex Grossman
(Físico croata,
University of Aix-
Marseille II in
Luminy)



19

APAS 2009

Historia (III)

- 1985- **Ives Meyer** (matemático francés)
Identifica la relación de la propuesta de Morlet y Grossmann con el análisis armónico de **Alberto P. Calderón** (1920-1998) en 1980.
Propone la primera ondita ortogonal suave.
- 1986 – **Stéphane Mallat**
(matemático francés ← computer vision and image analysis)
Demuestra que los métodos de Haar, Gabor, Morlet... están relacionados por el mismo algoritmo de onditas.
- **Meyer** y **Mallat** dieron origen al análisis Multirresolución (MRA) en el contexto wavelet, sentando las bases teóricas para construir cualquier tipo de onditas.



20

APAS 2009

Historia (III)

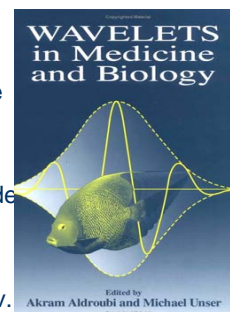
- 1970 Croisier, E. Esteban y C Galland (Ing. Electr.) Cancellación exacta del aliasing: QMF
- 1983 – Smith & Barnwell / Mintzner. Reconstrucción de QMF.
- 1987- **M. Vetterli** Mismo descubrimiento independientemente.
- 1988 - **Ingrid Daubechies** (Física, Belga), es la primera profesora mujer de Princeton. Utilizó el MRA para construir sus propias onditas (onditas de Daubechies), onditas ortogonales a soporte compacto.

21

APAS 2009

Historia (IV)

- 1990 – David **Donoho** y **Johnstone** usan las onditas para eliminar el ruido de una señal. (estadística)
- 1992 – El FBI usa las onditas para comprimir su base de datos de huellas dactilares.
- 1996 – “Wavelets on medicine and Biology”, Eds. Michael **Unser** y Akram **Aldroubi**. Es el primer libro de aplicaciones de wavelets a medicina.
- **Ronald Coifman** (matemático Suizo, Yale Univ.) y **Victor Wickerhäuser** (matemático croata, Yales Univ. Prof. de Ingeniería biomédica, en Washington Univ.)



22

APAS 2009

Bibliografía (Wavelets)

- *Mallat S.,
A Wavelet Tour of Signal Processing, Academic Press, 1999.*
- *Strang G. and Nguyen T.,
Wavelets and Filter Banks, Wellesley- Cambridge Press, 1997.*
- *Chui C.K.,
An Introduction to Wavelets, Academic Press, 1992.*
- *Daubechies I.,
Ten Lectures on Wavelets, SIAM, 1992.*

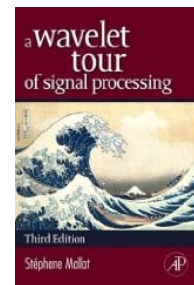
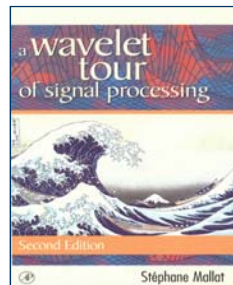
23

APAS 2009

Stéphane Mallat



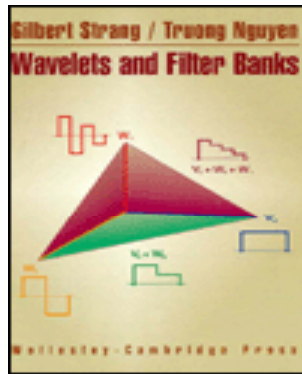
*Ecole Polytechnique,
Palaiseau , France*



24

APAS 2009

Gilbert Strang

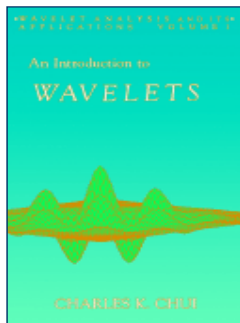


MIT - USA

25

APAS 2009

An Introduction to Wavelets by Charles Chui

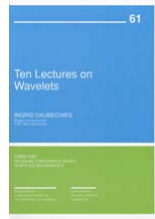


- Curators' Professor, Department of Mathematics and Computer Science, University of Missouri, St. Louis, MO
- Director, Institute of Computational Harmonic Analysis, University of Missouri, St. Louis, MO
- Consulting Professor of Statistics, Stanford University

26

APAS 2009

Daubechies I., Ten Lectures on Wavelets, SIAM, 1992

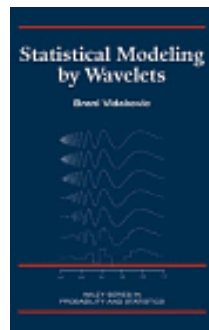


- Member of the technical staff at AT&T Bell Laboratories (1987 to 1994),
- Professor, Princeton University, Department of Mathematics
- Program in Applied and Computational Mathematics, Princeton, NJ.
- 2000 received the National Academy of Sciences (NAS) Award in Mathematics

27

APAS 2009

Statistical Modeling by Wavelets by Brani Vidakovic



[Bibliografía sobre wavelets](#)

28

APAS 2009

Websites

- <http://www.wavelet.org>
- www.amara.com/IEEEwave/IEEEwavelet.html.
Contiene una breve introducción a las onditas.
- www.wavelet.org/wavelet/tutorial/whistory.htm.
Contiene información histórica
- www.mathsoft.com/wavelets.html
Se encuentra gran cantidad de links relacionados con Onditas.

29

APAS 2009

Toolboxes

- "WaveLab"- Version 850.
Plataforma Matlab
Stanford University.
<http://www-stat.stanford.edu/~wavelab/>
- "Time-Frequency Toolbox" (TFTB).
Plataforma Matlab.
ENSL-CNRS (Francia) y Rice University.
<http://tftb.nongnu.org/>
- Matlab Toolbox: Wavelets ToolBox.
- Uvi wave toolbox
<http://www.gts.tsc.uvigo.es/~wavelets/>

30

APAS 2009