



Universidad Nacional
de Entre Ríos

Doctorado en Ingeniería
Facultades de Ciencias Agropecuarias; Ciencias de la Alimentación e
Ingeniería

Carrera: **Doctorado en Ingeniería**

Mención: **Bioingeniería**

Curso de Posgrado: **Análisis tiempo-frecuencia y descomposición de señales**

Carga Horaria: **60 horas**

Docente/s a cargo: **Dr. Marcelo A. Colominas**

Colaboradores:

Semestre: 2º Año: **2024**

Características del curso

1. Carga horaria: la cantidad de horas reloj. **60 hs.**
2. Curso teórico: curso donde se desarrolla en forma expositiva una temática propia de la disciplina:
3. Curso teórico-práctico: curso que articula la modalidad del curso teórico con una actividad de la práctica con relación a la temática de estudio. Lo teórico y lo práctico se dan simultáneamente en forma interrelacionada: **Teórico-práctico.**
4. Carácter: si son del ciclo común o del ciclo electivo: **Electivo.**

Programa Analítico de foja: a foja:

Bibliografía de foja: a foja:

Aprobado Resoluciones de Consejos Directivos:

Fecha:

Modificado/Anulado/ Res. Cs. Ds.:

Fecha:

Carece de validez sin la certificación del Comité de Doctorado:



Universidad Nacional
de Entre Ríos

PROGRAMA ANALÍTICO

I - Introducción

La necesidad del análisis tiempo-frecuencia. Repaso Transformada de Fourier. Definición. Definición de producto interno. Propiedades de la transformada de Fourier: linealidad, derivación con respecto al tiempo, corrimiento con respecto al tiempo, escalado en el tiempo, derivación con respecto a la frecuencia, corrimiento con respecto a la frecuencia. Identidad de Plancherel. Convolución en el tiempo. Convolución en la frecuencia. Identidad de Parseval.

II – Frecuencia Instantánea

Definición de frecuencia instantánea. Método de la señal analítica. Transformada de Hilbert. Limitaciones. Teoremas de Bedrosian y de Nuttall.

III – Transformada de Fourier de tiempo corto (STFT)

Definición. Transformada de Fourier de tiempo corto clásica y modificada. Interpretación en el dominio temporal. Interpretación como banco de filtros. Reconstrucción clásica y vertical. Estimación de frecuencia instantánea. Espectrograma. Cantidades marginales. Principio de incertidumbre. Elección de la ventana.

IV – Transformada ondita continua (CWT)

Definición. Transformada ondita continua con distintas normalizaciones. Opciones para el eje de escalas. Reconstrucción clásica y vertical. Interpretación en el dominio temporal. Interpretación como banco de filtros autosimilares. Estimación de escala (frecuencia) instantánea. Escalograma. Cantidades marginales. Principio de incertidumbre. Elección de la ventana.

V – Reassignment y Synchrosqueezing

Dispersión temporal y frecuencial. Reassignment de la STFT. Distintas versiones de los operadores de reassignment. Synchrosqueezing de la STFT e inversión. Synchrosqueezing de la CWT e inversión.

VI – Detección de crestas y extracción de modos

El modelo de señal multicomponente. Detección de crestas: problema de optimización. Solución voraz. Uso del vector de reassignment. Cuencas de atracción. Extracción de modos. Definiciones de dominios mediante ajuste de modelo en plano TF. Limpieza de ruido por umbralado.

VII – Wave Shape Functions

El modelo multicomponente con función de forma de onda. Modelo adaptativo no armónico. Definición de función de forma de onda. Algoritmo de estimación de forma de onda.

VIII – Descomposición empírica en modos

Transformada de Hilbert-Huang. Algoritmos asistidos por ruido. Descomposición empírica en modos por conjuntos (EEMD). Descomposición empírica en modos por conjuntos completa con ruido adaptativo. Aproximaciones a EMD basadas en técnicas de optimización.



Universidad Nacional
de Entre Ríos

BIBLIOGRAFIA

- F. Auger, P. Flandrin, Y.T. Lin, S. McLaughlin, S. Meignen, T. Oberlin, & H.T. Wu. "Time-frequency reassignment and synchrosqueezing: An overview". *IEEE Signal Processing Magazine*, 30(6), 32-41. 2013.
- R.G. Baraniuk, P. Flandrin, A.J. Janssen, & O.J. Michel. "Measuring time-frequency information content using the Rényi entropies". *IEEE Transactions on Information theory*, 47(4), 1391-1409. 2001.
- B. Boashash (ed.), *Time-Frequency Signal Analysis and Processing*, Academic Press, 2016.
- R.A. Carmona, W.L. Hwang, & B. Torrésani. "Characterization of signals by the ridges of their wavelet transforms". *IEEE transactions on signal processing*, 45(10), 2586-2590. 1997.
- L. Cohen, *Time-Frequency Analysis*, Prentice Hall, 1995.
- Colominas, M. A., Schlotthauer, G., & Torres, M. E. (2014). Improved complete ensemble EMD: A suitable tool for biomedical signal processing. *Biomedical Signal Processing and Control*, 14, 19-29.
- Colominas, M. A., & Wu, H. T. (2021). Decomposing non-stationary signals with time-varying wave-shape functions. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 69, 5094-5104.
- I. Daubechies, J. Lu, & H.T. Wu, "Synchrosqueezed wavelet transforms: An empirical mode decomposition-like tool". *Applied and computational harmonic analysis*, 30(2), 243-261. 2011.
- P. Flandrin, *Time-Frequency / Time-Scale Analysis*, Academic Press, 1999.
- P. Flandrin, *Explorations in Time-Frequency Analysis*, Cambridge University Press, 2018.
- N.E. Huang & S.S.P. Shen. *Hilbert-Huang Transform and Its Applications*, World Scientific, 2005.
- S. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, 2009.
- S. Meignen, T. Oberlin, P. Depalle, P. Flandrin, & S. McLaughlin. "Adaptive multimode signal reconstruction from time-frequency representations". *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150205. 2016.
- Oberlin, T., Meignen, S., & Perrier, V. (2015). Second-order synchrosqueezing transform or invertible reassignment? Towards ideal time-frequency representations. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 63(5), 1335-1344.
- Pham, D. H., & Meignen, S. (2017). High-order synchrosqueezing transform for multicomponent signals analysis—With an application to gravitational-wave signal. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 65(12), 3168-3178.
- Ruiz, J., Schlotthauer, G., Vignolo, L., & Colominas, M. A. (2024). Fully adaptive time-varying wave-shape model: Applications in biomedical signal processing. *Signal Processing*, 214, 109258.
- H.T. Wu. "Instantaneous frequency and wave shape functions (I)". *Applied and Computational Harmonic Analysis*, 35(2), 181-199. 2013.
- H.T Wu, H.K. Wu, C.L. Wang, Y.L. Yang, H.W. Wu, H.T. Tsai, & H. H. Chang. "Modeling the pulse signal by wave-shape function and analyzing by synchrosqueezing transform". *PloS one*, 11(6), e0157135. 2016.



Universidad Nacional
de Entre Ríos

PLANIFICACIÓN DEL CURSO

Objetivos Generales:

- Comprender los conceptos fundamentales del análisis tiempo-frecuencia y la descomposición de señales, indagando en las técnicas más recientes.
- Incrementar sus habilidades de pensamiento lógico.
- Afianzar destrezas de resolución creativa de problemas.
- Adquirir el hábito de la actualización bibliográfica permanente en el área.

Objetivos Particulares:

- Comprender los conceptos y métodos del análisis tiempo-frecuencia.
- Adquirir conocimientos elementales en la implementación de los algoritmos en tiempo discreto.
- Desarrollar habilidades para el tratamiento de señales del mundo real.
- Conocer los tópicos más recientes del análisis tiempo-frecuencia.
- Aplicar las herramientas adquiridas al tratamiento de señales discretas en un entorno de programación.

Metodología de Trabajo:

Clases teórico-prácticas con exposición oral por parte del docente, y trabajo en PC como parte práctica.

Equipo docente:

Dr. Marcelo A. Colominas

Fecha de inicio del dictado y duración del Curso (en semanas).

Fecha tentativa de Inicio: 05/09/2024

Cupo de estudiantes (cantidades mínima y máxima): Mínima 5, máxima 10.

Lugar: Facultad de Ingeniería, UNER.

Fecha	Tema	Profesor
05/09/2024	Introducción. La necesidad del análisis tiempo-frecuencia. Transformada de Fourier. Propiedades.	Dr. Marcelo A. Colominas
12/09/2024	Frecuencia instantánea. Transformada de Hilbert. Transformada de Fourier de tiempo corto. Implementación.	Dr. Marcelo A. Colominas

19/09/2024	Estimación de frecuencia instantánea. Espectrograma. Cantidades marginales. Principio de incertidumbre. Elección de la ventana.	Dr. Marcelo A. Colominas
26/09/2024	Transformada ondita continua. Distintas normalizaciones. Opciones para el eje de escalas. Implementaciones.	Dr. Marcelo A. Colominas
03/10/2027	Reassignment y synchrosqueezing. Operadores. Reassignment de la STFT y de la CWT. Implementaciones.	Dr. Marcelo A. Colominas
10/10/2024	Detección de crestas y extracción de modos. Algoritmos. Umbralado. Implementaciones.	Dr. Marcelo A. Colominas
17/10/2024	Funciones de forma de onda. Definición. Algoritmos para su estimación. Implementaciones.	Dr. Marcelo A. Colominas
24/10/2024	Descomposición empírica en modos. Transformada de Hilbert-Huang. Versiones asistidas por ruido.	Dr. Marcelo A. Colominas

Día(s) y horario(s) de dictado: Jueves, 15hs.

Condiciones de Regularidad y Promoción:

Cada alumno deberá presentar todas las guías de trabajos prácticos resueltas de forma individual. Además deberá analizar un artículo científico elegido con la guía del docente. Deberá presentar un informe conteniendo el mencionado análisis y los códigos de los algoritmos implementados, así como también reproducir los resultados alcanzados en el artículo. Este trabajo deberá ser expuesto y defendido en una clase pública.

Se exigirá la resolución de un examen final escrito que abarcará los conceptos teóricos vertidos en el curso, y ejercicios prácticos que deberán resolverse en el transcurso de un tiempo máximo de 3 horas. En caso de ser necesaria, se contemplará una única instancia de recuperación.

Fecha de Evaluación:

A convenir con los estudiantes.

Fecha de Recuperatorio:

A convenir con los estudiantes.

Infraestructura necesaria:

Pizarra y cañón proyector. PC o notebook con Matlab u Octave por cada dos alumnos.