



PRESENTACIÓN

Breve descripción:

El curso trata sobre señales aleatorias y sobre técnicas de procesamiento para este tipo de señales que son relevantes porque tienen aplicaciones en muchas áreas de la Ingeniería de Telecomunicación: sistemas de comunicaciones móviles, posicionamiento, radar y sónar, procesamiento y codificación de señales de voz, audio y vídeo, entre otras. El curso constará de módulos autocontenidos en los que los desarrollos teóricos irán acompañados por prácticas de Laboratorio con el programa Matlab, para que los estudiantes adquieran la capacidad de aplicar los conceptos teóricos en situaciones prácticas.

- **Titulación:** Máster en Ingeniería de Telecomunicación
- **Módulo/Materia:** Tecnología de Telecomunicación / Teoría de la señal y la comunicación
- **ECTS:** 5 ECTS
- **Curso, semestre:** 1º, Segundo
- **Carácter:** Obligatorio
- **Profesorado:**
 - [Gutiérrez Gutiérrez, Jesús](mailto:jgutierrez@tecnun.es) - Email: jgutierrez@tecnun.es / Catedrático
 - [Podhorski, Adam](mailto:apodhorski@unav.es) - Email: apodhorski@unav.es / Profesor Contratado Doctor
- **Idioma:** Castellano

RESULTADOS DE APRENDIZAJE (Competencias)

- CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación
- CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio
- CG4 - Capacidad para el modelado matemático, cálculo y simulación en centros tecnológicos y de ingeniería de empresa, particularmente en tareas de investigación, desarrollo e innovación en todos los ámbitos relacionados con la ingeniería de Telecomunicación y campos multidisciplinares afines.
- CE01 - Capacidad para aplicar métodos de la teoría de la información, la modulación adaptativa y codificación de canal, así como técnicas avanzadas de procesamiento digital de señal a los sistemas de comunicaciones y audiovisuales.

TEMA 1: Estimación lineal.

Teoría:

Variables y matrices aleatorias complejas. Definición y propiedades de su esperanza matemática. Estimación de un vector aleatorio complejo como combinación lineal de otros. Definición y propiedades del error cuadrático medio (MSE) para el problema de estimación



Universidad de Navarra

lineal considerado. Principio de ortogonalidad para calcular el estimador lineal que minimiza el MSE (o equivalentemente, para calcular los coeficientes del filtro óptimo). Aplicaciones: método de mínimos cuadrados, regresión lineal, proyección ortogonal.

Práctica de laboratorio:

Breve introducción al lenguaje de composición tipográfica LaTeX. Cadena de compilación en Windows con la distribución MikTeX. Manejo del editor WinEdt. Práctica de escritura de fórmulas en LaTeX. Generación de gráficas en Matlab en formato pdf para su posterior inclusión en documentos escritos en LaTeX. Utilización de símbolos matemáticos mediante comandos de LaTeX directamente en los objetos gráficos creados en Matlab. Cálculo del mínimo MSE en un problema de ecualización en función del número de vectores considerados para la estimación lineal.

TEMA 2: Estimación lineal iterativa.

Teoría:

Cálculo del gradiente del problema de estimación lineal considerado. Obtención del principio de ortogonalidad a partir del gradiente usando la condición necesaria de extremo relativo. Convergencia de sucesiones de matrices complejas. Cálculo del filtro óptimo como límite de una sucesión de vectores definida usando el gradiente (estimación lineal iterativa) dependiente de un parámetro y de un vector inicial (no aleatorio).

Práctica de laboratorio:

Estudio de la velocidad de convergencia del estimador lineal iterativo para el problema de ecualización considerado en la práctica del Tema 1 en función del parámetro, del vector inicial y del número de vectores considerados para la estimación lineal.

TEMA 3: Predicción lineal e interpolación lineal.

Teoría:

Predicción e interpolación lineal como casos particulares del estimador lineal analizado. Definición y propiedades de los procesos estocásticos vectoriales complejos estacionarios en sentido amplio (WSS). Método de Levinson-Durbin para obtener en un número finito de iteraciones el filtro óptimo para un predictor lineal de un proceso vectorial WSS. Comportamiento asintótico de una sucesión de matrices de Toeplitz generada por los coeficientes de Fourier de una función de la clase de Wiener. Comportamiento asintótico del mínimo MSE (MMSE) para el problema de predicción lineal considerado para un proceso WSS cuando el número de vectores considerados en la predicción tiende a infinito.

Práctica de laboratorio:

Cálculo del MMSE para un predictor lineal de un cierto proceso vectorial WSS por dos métodos distintos (el método clásico y el de Levinson-Durbin). Estudio de la velocidad de convergencia cuando el número de vectores considerados en la predicción tiende a infinito. Cálculo del MMSE asintótico usando la transformada discreta de Fourier (DFT).

TEMA 4: Filtro de Wiener.

Teoría:

Estimación de un vector aleatorio complejo como combinación lineal de otros, siendo ahora matrices los coeficientes de la combinación lineal. Cálculo del MMSE y de los coeficientes del



Universidad
de Navarra

filtro óptimo (filtro de Wiener). Definición del MSE geométrico (GMSE) y obtención del mínimo GMSE (GMMSE). Interés del GMSE.

Práctica de laboratorio:

Difuminación de una imagen de Norbert Wiener mediante un filtro FIR simulando el movimiento de cámara con la velocidad de obturación insuficiente. Construcción del filtro de Wiener para compensar este efecto y recuperar la imagen original investigando cómo el orden del filtro influye en la calidad de esta recuperación. Filtrado de una señal de audio con un filtro FIR y construcción del filtro de Wiener para compensar el efecto del filtro FIR. Construcción y simulación de un sistema MIMO comprobando la eficacia de filtrado de Wiener al introducir fallos en las antenas transmisoras y en las antenas receptoras.

TEMA 5: Aplicación del filtro de Wiener en predicción, interpolación y ecualización.

Teoría:

Predicción e interpolación lineal vectorial. Obtención de una expresión alternativa del MMSE para un predictor lineal vectorial. MIMO Decision Feedback Equaliser.

Práctica de laboratorio:

Eliminación de los clicks de las grabaciones de audio procedentes de discos de vinilo. Detección de los clicks mediante la predicción lineal modelando la señal de audio como un proceso autorregresivo. Estimación del valor correcto de las muestras de la señal declaradas como erróneas a partir de las muestras cercanas, declaradas como correctas, solucionando un problema de mínimos cuadrados. Procesado de la señal por segmentos (frames) y métodos de preprocesamiento de la señal que mejoran la detección y eliminación de los clicks.

ACTIVIDADES FORMATIVAS

30 clases presenciales: 45 horas

EVALUACIÓN

CONVOCATORIA ORDINARIA

- Participación en clase: 10%
- Exámenes tipo test: 30%
- Prácticas: 60%

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

- Examen teórico-práctico: 100%

HORARIOS DE ATENCIÓN

Los alumnos podrán semanalmente acudir a resolver dudas pidiendo cita al profesor por email.

BIBLIOGRAFÍA



Universidad
de Navarra

Bibliografía básica:

1. S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 1986. [Localízalo en la Biblioteca](#)

Bibliografía complementaria:

1. A. H. Sayed, Adaptive Filters, Wiley, 2008. [Localízalo en la Biblioteca \[en línea\]](#) / [\[impreso\]](#)
2. P. P. Vaidyanathan, The Theory of Linear Prediction, Morgan & Claypool, 2008. [Localízalo en la Biblioteca](#)
3. J. Gutiérrez-Gutiérrez, I. Iglesias, A. Podhorski, "Geometric MMSE for one-sided and two-sided vector linear predictors: From the finite-length case to the infinite-length case," Signal Processing, vol. 91, pp. 2237-2245, 2011.