

Profesor: Miguel Torres T.

Horario: Martes, jueves 15:30 – 16:50, sala B21

I) **Descripción:** En este curso se estudia el diseño e implementación de filtros, estimadores, predictores y controladores óptimos de tiempo real para sistemas dinámicos en la presencia de incertidumbre. El curso empleará como ejemplos aplicaciones de controladores y filtros en sistemas robóticos, electrónicos, de comunicaciones, aeronáuticos, económicos, entre otros. El curso está orientado a alumnos de ingeniería y ciencias interesados en técnicas para estimar el valor de señales o mediciones que tienen ruido o incertidumbre, y en sistemas de control o toma de decisiones bajo incertidumbre en los parámetros del sistema o perturbaciones externas.

II) **Pre-requisitos:** EYP1113 Probabilidades y Estadística, y IEE 2612 Control Automático o ICC2612 Inteligencia Artificial, o Autorización del Profesor.

III) **Objetivos:**

1. Capacitar al alumno en el diseño e implementación de filtros, estimadores y predictores óptimos de tiempo real para sistemas dinámicos en presencia de incertidumbre.
2. Capacitar al alumno en el diseño e implementación de controladores óptimos de tiempo real para sistemas dinámicos en presencia de incertidumbre.

IV) **Resultados según los Objetivos del Curso:**

Al final del curso el alumno será capaz de:

1. Diseñar filtros, estimadores y predictores óptimos para sistemas dinámicos.
2. Diseñar controladores óptimos para sistemas dinámicos.
3. Distinguir las ventajas (eficiencia/costo computacional) de las distintas técnicas de estimación probabilística bayesianas: *Kalman Filter*, *Extended Kalman Filter*, *Unscented Kalman Filter*, estimadores multi-hipótesis basados en mezcla de Gaussianas, estimadores multi-hipótesis Markovianos, Filtro de Partículas, muestreo secuencial de Monte Carlo.
4. Definir funciones de costo y estructuras de controladores cuadráticos Gaussianos.
5. Simular sistemas dinámicos estocásticos mediante métodos de integración numérica y métodos de Monte Carlo.
6. Analizar y evaluar el desempeño de estimadores y controladores.

V) **Contenidos:**

1. Introducción: Formulación de los problemas de estimación, predicción y control óptimo, nociones matemáticas preliminares de probabilidades y modelamiento de sistemas dinámicos estocásticos, métodos numéricos de integración de sistemas lineales y no-lineales, secuencias y procesos aleatorios.
2. Filtro de Bayes.
3. Estimación óptima del estado: Estimación de máxima verosimilitud, mínimos cuadrados (ponderada y recursiva), filtros de Kalman-Bucy Extendidos.
4. Estimación Bayesiana no-paramétrica: métodos de Monte Carlo (MC), filtros de Partículas (MC secuencial), Filtro de Histograma.
5. Modelos de Movimiento y Actuación.
6. Modelos de Medición y Sensado.
7. Control óptimo: trayectorias y control óptimo: Funciones de costos, el Controlador Cuadrático Lineal (LQR), condiciones de optimalidad (condiciones necesarias, suficientes, el Principio del Mínimo, la ecuación de Riccati, la ecuación de Hamilton-Jacobi-Bellman), restricciones.
8. Aplicaciones en robótica: navegación, control, reconocimiento de patrones, seguimiento, finanzas, electrónica, comunicaciones, bioquímica.

VI) **Evaluación:** La evaluación se realizará en base a tareas y un proyecto. La nota final se calcula como:

$$NF = 0.7T + 0.3P$$

donde T es el promedio de las notas de las tareas y P es la nota del proyecto.

La nota del proyecto se calculará de acuerdo con los criterios indicados en la descripción del proyecto.

VII) **Entrega de Tareas:** Las tareas deben ser entregadas al inicio de la clase en las fechas indicadas en la programación de actividades. Tareas fuera de plazo se evaluarán con nota 1.0.

VIII) **Proyecto:** El proyecto será anunciado la primera semana del curso.

IX) **Página Web del Curso:** En esta se publicarán los apuntes del curso, tareas, notas y otras informaciones de utilidad. La página es: <https://cursos.canvas.uc.cl/courses/8142>.

X) **Bibliografía:**

Básica:

- [1] M. Torres. *Estimación y Control Óptimo para Robótica – Apuntes del Curso*. Santiago, Chile, 2016.
- [2] S. Thrun, W. Burgard, D. Fox. *Probabilistic Robotics (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, MIT Press, Sep. 2005.
- [3] B. Ristic, S. Arulampalam, N. Gordon. *Beyond the Kalman Filter – Particle Filters for Tracking Applications*. Artech House Publishers, Febrero, 2004.
- [4] B. D. O. Anderson, J. B. Moore. *Optimal Filtering*. Dover Publications, Enero 2005.
- [5] R. F. Stengel. *Stochastic Optimal Control – Theory and Application*. Dover Publications (originalmente Wiley Interscience); Septiembre, 1994.

Complementaria:

- [6] H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki, S. Thrun, *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations (Intelligent Robotics and Autonomous Agents)*, MIT Press, Junio 2005.
- [7] J. Angeles. *Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods, and Algorithms*, Springer, 3ra ed., Diciembre, 2006.
- [8] M. Athans, P. L. Falb. *Optimal Control: An Introduction to the Theory and Its Applications*, Dover, Diciembre 2006.
- [9] D. E. Dirk. *Optimal Control Theory: An Introduction*, Dover, April, 2004.
- [10] Technical Staff, The Analytic Sciences Corporation. *Applied Optimal Estimation*, A. Gelb (ed., 1 ed. 1974), MIT Press, 16a ed. 2001.
- [11] D. S. Naidu. *Optimal Control Systems*, CRC Press, Agosto, 2002.
- [12] D. P. Bertsekas. *Dynamic Programming and Optimal Control*, Athena Scientific, 2da ed., 2000.
- [13] S. Blackman, R. Popoli. *Design and Analysis of Modern Tracking Systems*, ArTechHouse, Boston, 1999.
- [14] A. Doucet, N. de Freitas, N. Gordon, eds. *Sequential Monte Carlo Methods in Practice*, Springer; Junio 2001.
- [15] R. J. Elliott; L. Aggoun, J. B. Moore. *Hidden Markov Models: Estimation and Control (Applications of Mathematics)*, Springer, 1995.