



Facultad de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Planificación de Cátedra:
DISEÑO DE CONTROL MODERNO

Año 2018

Dr. Ing. Humberto Alejandro SECCHI
Profesor Titular

Dr. Ing. Juan Pablo GRAFFIGNA
Jefe del Departamento
Electrónica y Automática

Ing. Daniel Eduardo ARGUMOSA
Secretaria Académica

Código Asignatura: 1199

Plan: 2006

Área: Ciclo de Especialización

Semestre: 9

Carga Horaria Total: 5 horas

Régimen: Semestral

Correlativas Débiles: Electrónica Digital III, Procesamiento Digital de Señales,
Sistemas de Control.

Correlativas Fuertes: Control III, Procesamiento Analógico de Señales.

Carácter de Coursado: Promocional

La presente Planificación de Cátedra responde a la normativa vigente de la Facultad de Ingeniería en su reglamento académico (Ord. 02/06 CD y Ord. 15/13CD), y además incluye el contenido solicitado en los instructivos de auto-evaluación de CONEAU (Programa Analítico).

1. INTRODUCCIÓN

Los contenidos curriculares de esta asignatura comprenden los conceptos básicos del modelado y diseño de controladores digitales en variable de estado.

El tópico tratado en este curso es el control de sistemas dinámicos multivariados, empleando realimentación de estados mediante el uso de un microprocesador en el lazo de control.

Desde que la gran mayoría de los controladores pueden ser implementados con hardware analógico, la industria está tentada a preguntar por qué estudiar teoría de control digital. Los ingenieros están interesados en la posibilidad de incorporar microcontroladores y computadoras debido a la capacidad de estos dispositivos para procesar grandes cantidades de información y para desplegar estrategias de control basada en esta información. Por otro lado la gran complejidad de muchos procesos desemboca en el manejo simultáneo de un gran número de variables y es donde el uso de la variable de estado adquiere relevancia. La asignatura Diseño de Control Moderno estudia el control de sistemas a partir del uso de la variable de estado empleando microcontroladores, para ello la asignatura se organiza en dos partes y pretende dar una visión general de:

Control determinístico de sistemas (Unidades 1, 2, 3 y 4). Se brindan los conocimientos básicos sobre el modelado y control de sistemas en variable estado y la observación de estados cuando las variables no están contaminadas por ruido aleatorio.

Control estocástico de sistemas (Unidades 5, 6 y 7). Se brindan los conocimientos básicos sobre el modelado y control de sistemas en variable estado y la observación de estados cuando las variables están contaminadas por ruido aleatorio.

2. OBJETIVOS

a) Objetivo General:

- Conocer las características generales, estructuras y partes de los sistemas de control digital en el espacio de estado.
- Integrar los fundamentos teóricos necesarios que permitan comprender las distintas técnicas de diseño de sistemas de control digital de estado.
- Argumentar y defender criterios propios.

b) Objetivos específicos:

- Conocer e interpretar el funcionamiento y las características de distintos tipos de controladores digitales de estado determinísticos.
- Conocer e interpretar el funcionamiento y las características de distintos tipos de controladores digitales de estado estocásticos.
- Aplicar los conocimientos adquiridos para el diseño de controladores de estado.
- Manejar software específico para el diseño y aplicación de controladores de estado.

3. CONTENIDOS

UNIDAD 1: REPRESENTACIÓN DE SISTEMAS EN EL ESPACIO DE ESTADO

- 1.1 Introducción al concepto de variables de estado.
- 1.2 Modelación en el espacio de estado de un sistema simple.
- 1.3 Modelación de un sistema monovariado de orden n .
- 1.4 Extensión para sistemas multivariados.
- 1.5 Modelos de tiempo discreto.

- 1.6 Carácter no único del modelo de estado.
- 1.7 Solución de la ecuación de estado de tiempo discreto.
- 1.8 Relación entre la representación de estado y la matriz o función de transferencia.
- 1.9 Análisis de estabilidad.
- 1.10 Controlabilidad.
- 1.11 Observabilidad.
- 1.12 Dualidad de procesos lineales.

UNIDAD 2: CONTROL DIGITAL DETERMINÍSTICO

- 2.1 Introducción.
- 2.2 Definiciones, planteos de control y clasificación: Definiciones fundamentales relativas a los sistemas de control. Control en lazo abierto y en lazo cerrado. Clasificación de los tipos de controladores.

UNIDAD 3: CONTROLADORES DE ESTADO

- 3.1 Diseño del controlador por asignación de polos.
- 3.2 Regulador óptimo lineal determinístico.

UNIDAD 4: RECONSTRUCCIÓN DEL VECTOR DE ESTADO

- 4.1 Planteo del problema de reconstrucción del estado.
- 4.2 Solución al problema de reconstrucción del estado.
- 4.3 Controladores con Observación de Estado para referencia nula.
- 4.4 Controlador de estado para referencia distinta de cero.

UNIDAD 5: CONTROL DIGITAL ESTOCÁSTICO

- 5.1 Modelos matemáticos de señales estocásticas: Procesos Estocásticos de Tiempo Discreto. Parámetros estadísticos de procesos estocásticos.
- 5.2 Modelos para Sistemas Estocásticos de Tiempo Discreto: Extensión del modelo determinístico para sistemas estocásticos. Caracterización estadística de la salida del sistema. Desarrollo de un predictor para procesos con retardo puro.
- 5.3 Diseño de Controladores para Sistemas Estocásticos Lineales: Formulación del problema de control para sistemas estocásticos. Obtención del controlador estocástico. Condiciones de estabilidad.
- 5.4 Modelos de Estado para Sistemas Estocásticos de Tiempo Discreto: Extensión del modelo de estado determinístico para sistemas estocásticos. Solución de la ecuación en diferencias de estado para sistemas estocásticos.

UNIDAD 6: DISEÑO DE CONTROLADORES DE ESTADO PARA SISTEMAS ESTOCÁSTICOS LINEALES

- 6.1 Formulación del problema de control para sistemas estocásticos.
- 6.2 Solución al problema del Regulador Óptimo Lineal Estocástico.
- 6.3 Controladores de Estado de Varianza Mínima

UNIDAD 7: ESTIMACIÓN DE ESTADO

- 7.1 Planteo general del problema.
- 7.2 Solución al problema de estimación de estado. Controladores Óptimos con Estimación de Estado.

4. METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA

Metodológicamente este espacio se encuentra dividido en dos etapas:

- 1) Control moderno para sistemas determinísticos. En esta primera etapa se pretende mediante clases expositivas lograr la comprensión del funcionamiento y las ventajas de los reguladores de estado discretos junto con las herramientas que permiten transformar los reguladores en controladores y el desarrollo de observadores de estado. En esta misma etapa

los alumnos desarrollan prácticas de los conceptos aprendidos en instancias de autoaprendizaje utilizando Matlab-Simulink. A tal fin se establecen dos instancias presenciales por cada práctica donde se realizará una descripción y evaluación de las mismas. En esta etapa se realizarán 13 clases expositivas aproximadamente y 4 prácticas individuales o en grupos de dos estudiantes. Cada una de las prácticas tendrá tres momentos: la descripción de la práctica, realizada en clase; el desarrollo de los algoritmos, que se realiza fuera del horario de clases apoyado con espacios de consulta; y la calibración y evaluación de los controladores que se realiza en el laboratorio. La etapa completa se desarrolla en 7 semanas y sirve de base para la comprensión de las estrategias de control abordadas en la segunda etapa.

2) Control moderno para sistemas estocásticos. Esta segunda etapa consiste en la presentación de las distintas estrategias de control de estado discreto y el desarrollo del Filtro de Kalman. Esto se realiza mediante clases expositivas, a través de clases prácticas utilizando Matlab y Simulink, y mediante el estudio de casos reales. En esta etapa los alumnos profundizan los conocimientos adquiridos para resolver un problema específico empleando una planta piloto, para lo cual deberán realizar una exposición presentando el modelado del proceso y del sistema de control propuesto con los correspondientes resultados experimentales. Para resolver el problema asignado, el equipo de cátedra brindará toda la información necesaria. Durante el desarrollo de la segunda etapa se brindarán 11 clases expositivas y 2 clases para la defensa de la Práctica Final de Cátedra. Esta etapa tiene una duración de 7 semanas, utilizando la última para que los alumnos realicen la presentación de sus trabajos.

La comunicación extra-áulica con los alumnos se establece a través del correo electrónico y la página web de la Actividad Curricular.

a) Clases Teóricas

El desarrollo de las clases teóricas está basado fundamentalmente en la clase expositiva. Se tratará que la misma sea lo más dinámica posible, promoviendo la participación del alumno a través de la consulta y el diálogo. Se utilizará en el desarrollo de la mayoría de los temas teóricos la técnica de discusión, técnica fundamentalmente activa que culmina con la exposición de las conclusiones sobre el tema obtenidas por cada grupo durante la clase.

b) Actividades Prácticas

La realización de las prácticas de gabinete se hará utilizando la técnica de grupos de aprendizaje, lo que facilitará la tarea docente y estimulará el espíritu de trabajo en grupo del alumno. Las primeras prácticas serán bien pautadas en sus enunciados y con procedimientos de referencia; mientras que en las últimas los estudiantes deberán buscar con mayor libertad la forma de alcanzar los objetivos.

Práctica de Gabinete 1: Controlador por Asignación de Polos y de Tiempo Finito

Práctica de Gabinete 2: Regulador Óptimo Lineal determinístico

Práctica de Gabinete 3: Control con Referencia Distinta de Cero

Práctica de Gabinete 4: Observador de Luenberger

c) Laboratorios

La realización de las prácticas de laboratorio se hará utilizando la técnica de grupos de aprendizaje, lo que facilitará la tarea docente y estimulará el espíritu de trabajo en grupo del alumno. En las prácticas de laboratorio, el alumno integra los conocimientos de la asignatura mediante la solución de un problema de referencia para un sistema didáctico de laboratorio.

Práctica de Laboratorio 1: Controlador por Asignación de Polos y de Tiempo Finito

Práctica de Laboratorio 2: Regulador Óptimo Lineal determinístico

Práctica de Laboratorio 3: Control con Referencia Distinta de Cero

Práctica de Laboratorio 4: Observador de Luenberger

5. EVALUACIÓN

El sistema de evaluación pretende que el alumno pueda conocer su desempeño durante el desarrollo de la actividad curricular. El mismo comprende cinco aspectos, tres vinculados a la obtención de la certificación definitiva y los otros dos a la evaluación final. Estas instancias son las siguientes:

- 1) Evaluaciones parciales: Se tomarán 2 (dos) evaluaciones parciales, en fecha a determinar durante el dictado de la asignatura. La aprobación de las mismas se logrará con una calificación mínima de 50 puntos o mayor sobre 100 posibles. Las evaluaciones que no lograsen los 50/100 puntos deberán recuperarse en las fechas que oportunamente determinará la cátedra.
- 2) Prácticas de gabinete y laboratorio: Se realizarán 6 (seis) prácticas guiadas (5 de gabinete y 5 de laboratorio). Las prácticas se calificarán de 0 a 100 puntos y su aprobación se logrará a través de un informe calificado con 50 o más puntos sobre 100 posibles. Las prácticas que no lograsen los 50/100 puntos deberán recuperarse en las fechas que oportunamente determinará la cátedra.
- 3) Proyecto final de cátedra: Se llevará a cabo 1 (un) proyecto final de cátedra, en grupos de dos alumnos, acerca de temas desarrollados en la asignatura. La aprobación del proyecto final de cátedra se hará a través de la presentación de un informe y una exposición oral del mismo por parte de los integrantes de los grupos correspondientes. La calificación del informe y de la exposición oral será de 0 a 100 puntos, requiriéndose, en ambas, 50 puntos o más sobre 100 posibles. El proyecto final de cátedra no tendrá, por razones obvias, recuperación posible. Para evitar este tipo de inconvenientes, el personal de la cátedra asesorará en forma continua a los alumnos durante el período de realización del mencionado proyecto.
- 4) Examen con Promoción: Posibilidad de promocionar la asignatura si el alumno alcanza una calificación mínima de 70 puntos o mayor sobre 100 posibles.
- 5) Examen con Certificación de Regularidad: Se llevará a cabo en las fechas establecidas por la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan. Podrán acceder a la misma aquellos alumnos que hayan aprobado tanto la evaluación parcial, las prácticas de gabinete y de laboratorio, y el proyecto final de cátedra. La evaluación final consiste en el desarrollo escrito de aspectos teóricos y prácticos específicos de la actividad.

6. BIBLIOGRAFÍA.

Libros:

- "Modern Digital Control Systems". 1994. R. Jacquot. Marcel Dekker, Inc.
- "Digital Control Systems". 1990. R. Isermann. Springer-Verlag.
- "Digital Control of Dynamic Systems". 1980. G. Franklin y J. Powell. Addison-Wesley.
- "Dynamic Programming". 1957. R. Bellman. Princeton Univ. Press.
- "Digital Control Systems". 1981. B. Kuo. Holt Saunders.
- "Discrete-Time Control Systems". 1987. K. Ogata. Prentice-Hall, Inc.

Revistas:

- Publicaciones periódicas de la IEEE Control System Society disponibles en la Biblioteca del Instituto de Automática, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.
- IEEE Transaction on Automation Science and Engineering.

Reportes internos

- Reportes Internos en el área Control del Instituto de Automática de la Facultad de

Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.

- “Control Digital Directo”. 1983. B. Kuchen y R. Carelli. Notas de curso.

Anexos:

A continuación se da a conocer los siguientes contenidos que van en adjunto al programa como “Anexos”.

-PROGRAMAS SINTÉTICOS DE LAS ASIGNATURAS DEL PLAN DE ESTUDIOS

Representación de sistemas en el espacio de estado.

Control digital determinístico.

Controladores de estado.

Reconstrucción del vector de estado.

Control digital estocástico.

Diseño de controladores de estado para sistemas estocásticos lineales.

Estimación de estados.

-CRONOGRAMA

Semana	Tema	Horas	Observaciones
1	Unidad 1: Representación de sistemas en el espacio de estados.	3	
	Unidad 1: Representación de sistemas en el espacio de estados (cont.)	3	
2	Unidad 1: Representación de sistemas en el espacio de estados (cont.)	3	
	Unidad 2: Control digital determinístico	3	
3	Unidad 3: Controladores de estado	3	
	Unidad 3: Controladores de estado (cont.)	3	Gab. y Lab. 1
4	Unidad 3: Controladores de estado (cont.)	3	
	Unidad 3: Controladores de estado (cont.)	3	Gab. y Lab. 2
5	Unidad 4: Reconstrucción del vector de estado	3	
	Unidad 4: Reconstrucción del vector de estado (cont.)	3	Informe 1 y 2
6	Unidad 4: Reconstrucción del vector de estado (cont.)	3	Gab. y Lab. 3
	Unidad 4: Reconstrucción del vector de estado (cont.)	3	
7	Unidad 4: Reconstrucción del vector de estado (cont.)	3	Gab. y Lab. 4
	Unidad 5: Control digital estocástico	3	
8	Unidad 5: Control digital estocástico (cont.)	3	Informe 3 y 4
	Proyecto Final de Cátedra (PFC)		
	Parcial 1	3	
9	Unidad 6: Diseño de controladores de estado para sistemas estocásticos lineales.	3	
	Unidad 6: Diseño de controladores de estado para sistemas estocásticos lineales (cont.)	3	

10	Unidad 7: Estimación de estado	3	
	Unidad 7: Estimación de estado (cont.)	3	
11	Unidad 7: Estimación de estado (cont.)	3	
	Unidad 7: Estimación de estado (cont.)	3	
12	Parcial 2	3	
	Unidad 7: Estimación de estado (cont.)	3	
13	Unidad 7: Estimación de estado (cont.)	3	
	Unidad 7: Estimación de estado (cont.)	3	Informe PFC
14	Defensa oral del PFC	3	
	Defensa oral del PFC (cont.)	3	

-ENCUESTA A ALUMNOS.

(Correspondiente al Anexo I Ordenanza n°02/2006 Artículo 22°-J)

Con la finalidad de recabar la opinión de los alumnos sobre aspectos sustantivos referidos al desarrollo de la asignatura al finalizar cada semestre se puede administrar una encuesta para evaluar aspectos de la cátedra (contenidos, bibliografía, metodología de evaluación, uso de Tics etc.) y los docentes (comunicación, interacción grupal, dictado de clases etc.). La misma puede ser confeccionada por los Departamentos.

La opinión de los estudiantes constituye un insumo relevante para la toma de decisiones, que promueve procesos reflexivos orientados al mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje.

DEDICACIÓN DE EQUIPO DE CÁTEDRA

Un Profesor Titular dedicación exclusiva (20hs/sem. de investigación, 20hs/sem. de docencia) con las siguientes tareas:

- Planificación de cátedra, que incluye la organización y distribución de tareas de la misma.
- Dirección de la actividad del equipo de cátedra.
- Dictado de clases.
- Revisión y actualización de apuntes.
- Ampliación bibliográfica.
- Atención de consultas de los alumnos.
- Diagramación y supervisión de los trabajos prácticos y de prácticas experimentales.
- Corrección y evaluación de exámenes parciales, trabajos prácticos y prácticas experimentales.
- Integración de mesas examinadoras.
- Evaluación del equipo de cátedra y del equipo de investigación o creación si fuera el Director del Proyecto
- Elaboración del informe anual de las actividades cumplidas en la cátedra y/o Proyecto de Investigación.
- Clases de apoyo
- Elaboración de documentos de cátedra.
- Supervisión de trabajos.
- Asesoramiento en trabajos finales.
- Participación en reuniones de Claustro, de Área y de Programas o Proyectos.
- Desempeño como miembro de Comisiones.
- Asistencia a clases.
- Publicaciones.
- Actividades de formación de recursos humanos

- Publicitar las actividades de cátedra.
- Participación en Proyectos de investigación.
- Organización de cursos, talleres, seminarios, etc.
- Integración de Jurados de Concursos.
- Elaboración de partes de avances e informes finales sobre Proyectos de Investigación

REGLAMENTO DE EVALUACIÓN

(Sólo para asignaturas con régimen de Promoción)

Según el reglamento de Evaluación Por Régimen de Promoción sin evaluación final, responde a la normativa vigente de la Facultad de Ingeniería en su Reglamento Académico, Ord. 02/06 CD. Por lo tanto se consignan la reglamentación de evaluación respondiendo a estos aspectos:

“ARTÍCULO 27º.-Las planificaciones de asignaturas promocionales prepararán un reglamento que, aprobado por el respectivo Departamento, contendrá el régimen que deberán cumplir los alumnos, consignándose todos aquellos aspectos académicos necesarios para asegurar el adecuado aprovechamiento del proceso de enseñanza-aprendizaje, como por ejemplo:

- a) Porcentaje mínimo, que deberá desarrollarse del programa analítico del curso.
- b) Porcentaje mínimo de asistencia a clases.
- c) Condiciones a cumplir por el alumno para la permanencia en el régimen.
- d) Número mínimo de clases para garantizar la promocionalidad.
- e) Equipo de cátedra suficiente para llevar a cabo el régimen de promocionalidad.
- f) Puntaje mínimo de calificaciones para obtener la promoción.”

ARTICULACION ACADEMICA

La carrera Ingeniería Electrónica se encuentra fuertemente vinculada con el programa de Maestría en Ingeniería de Sistemas de Control. Esto es debido a la incorporación de contenidos de grado en los cursos de posgrado relacionados al control avanzado de sistemas dentro del programa de maestría. Con el fin de lograr una articulación entre la asignatura Diseño de Control Moderno de la carrera Ingeniería Electrónica y el curso Control Digital Avanzado de la Maestría en Ingeniería de Sistemas de Control, se establece un Trayecto de Articulación optativo con una carga horaria de 20 horas (15hs teórica y 5hs de resolución de problemas de ingeniería). Será condición necesaria para acceder al Trayecto de Articulación que la calificación obtenida en la asignatura sea mayor o igual a 70 (setenta) puntos en una escala de 0 (cero) a 100 (cien).

Contenidos

TEMA 1: EL FILTRO DE KALMAN

Descripción del sistema.

Algoritmo para el Filtro de Kalman.

TEMA 2: EL FILTRO DE INFORMACIÓN

Espacio de información. Derivación del Filtro de Información. Características del filtro.

Un ejemplo de estimación lineal. Comparación entre el Filtro de Kalman y el Filtro de Información.

TEMA 3: EL FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO

El espacio de estado no-lineal. Derivación del Filtro de Kalman Extendido.

Implementación del Filtro de Kalman Extendido.

TEMA 4: EL FILTRO DE INFORMACIÓN EXTENDIDO

El espacio de información no-lineal. Derivación del Filtro de Información Extendido.

Implementación del Filtro de Información Extendido. Características del filtro.

Control visual. Flujo óptico. Visión 2D1/2.

PRÁCTICA DE LABORATORIO: Filtro de Kalman Extendido. Filtro de Información Extendido.