



Centro de Investigación en Matemáticas, A. C.

**DOCTORADO EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN CIENCIAS DE LA
COMPUTACIÓN**

2019 -

VIGENCIA

Estudios de maestría en alguna área afín a las Ciencias de la Computación, con conocimientos demostrables en matemáticas y programación y algoritmos.

ANTECEDENTES ACADEMICOS DE INGRESO

MODALIDAD

Escolarizada

DURACION DEL CICLO

Semestral, 14 a 15 semanas efectivas de clase

CLAVE DEL PLAN DE ESTUDIOS

2019

OBJETIVOS GENERALES DEL PLAN DE ESTUDIOS

1. Formar investigadores de frontera en Ciencias de la Computación, capaces de identificar, plantear, y resolver problemas científicos y técnicos sofisticados mediante la aplicación de métodos computacionales y la modelación matemática.
2. Preparar a los egresados para desempeñarse como investigadores y docentes en el ambiente académico o profesionistas altamente capacitados para resolver problemas en el sector productivo.
3. Formar a los egresados con la capacidad de colaborar con equipos multidisciplinarios en la solución de problemas científico-técnicos.
4. Responder a una demanda cada vez más grande en México de académicos y profesionistas con una formación sólida teórico-práctica en Matemáticas y Ciencias de la Computación y en particular en Métodos Numéricos, Optimización, Estadística y Programación.



PERFIL DEL EGRESADO

Los egresados de este programa adquirirán el más alto perfil de conocimientos en computación matemática, con capacidad de resolver problemas matemático-computacionales mediante soluciones informáticas adecuadas al problema abordado, impactando en el medio industrial y/o en la investigación de frontera en áreas afines a las ciencias de la computación, con capacidad de comunicación e interacción en equipos multidisciplinarios, en español y en inglés.

Los egresados del programa de doctorado en ciencias de la computación podrán:

- Desempeñarse en un **ambiente académico** realizando actividades de investigación y/o docencia en computación matemática, emprendiendo trabajos de investigación original, tanto de manera independiente y con motivación propia, o colaborando con algún equipo de investigación maduro en su campo de especialización.
- Desempeñarse en un **entorno empresarial o gubernamental**, asesorando y coordinando el desarrollo y la implementación de soluciones a proyectos de resolución de problemas relacionados a computación matemática, con la posibilidad de desempeñar cargos directivos o ejecutivos en empresas que requieran del más alto nivel técnico de preparación.

SEMESTRE	LISTA DE ASIGNATURAS O UNIDADES DE APRENDIZAJE	CLAVE	SERIACION	HORAS		CRÉDITOS	INSTALACIONES
				CON DOCENTE	INDEPENDIENTES		
1	Optativa I			48	80	8	A, L
	Optativa II*			48	80	8	A, L
	Seminario de Tesis I	DC19TES1		60	180	15	O, L
2	Optativa III*			48	80	8	A, L
	Seminario de Tesis II	DC19TES2	DC19TES1	60	180	15	O, L
	Actividades Académicas Prácticas I*	DC19AAP1		20	28	3	A, L, T
3	Optativa IV*			48	80	8	A, L
	Seminario de Tesis III	DC19TES3	DC19TES2	60	180	15	O, L
	Examen de	DC19EXC1		28	100	8	O, L



	Candidatura al Doctorado						
4	Seminario de Tesis IV	DC19TES4	DC19TES3	60	180	15	O, L
	Actividades Académicas Prácticas II*	DC19AAP2	DC19AAP1	20	28	3	A, L, T
5	Seminario de Tesis V	DC19TES5	DC19TES4	60	180	15	O, L
6	Seminario de Tesis VI	DC19TES6	DC19TES5	60	180	15	O, L
7	Seminario de Tesis VII	DC19TES7	DC19TES6	60	180	15	O, L
8	Seminario de Tesis VIII	DC19TES8	DC19TES7	60	180	15	O, L

SUMA	SUMA	SUMA
740	1916	166

La nomenclatura de instalaciones es la siguiente:

A= Aula, L = Laboratorio, T=Taller, O=Otros

Comentarios sobre el mapa curricular

- El asterisco (*) indica que la posición de la materia o actividad en el mapa curricular está dada de manera indicativa.
- Las modalidades de evaluación de los Seminario de tesis se especifican en los Lineamientos Complementarios del Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Ciencias de la Computación.
- La Actividad académica especial en el semestre 3 consiste en un Examen de Candidatura al Doctorado, cuyas modalidades se especifican en el Reglamento General de Estudios de Posgrados, así como en los Lineamientos Complementarios del Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Ciencias de la Computación.
- Las Actividades académicas prácticas en los semestres 2 y 4 incluyen talleres y cursos cortos de formación general a las buenas prácticas en el entorno académico, por ejemplo, el Taller de Solución de Problemas Industriales (SPI) de CIMAT. La especificación de estas actividades se



actualiza cada año por el Comité Académico del Programa del área de computación.

LISTA DE ASIGNATURAS O UNIDADES DE APRENDIZAJE OPTATIVAS	CLAVE	SERIACION	HORAS		CRÉDITOS	INSTALACIONES
			CON DOCENTE	INDEPENDIENTES		
Cómputo Evolutivo	DC19EVO1	DC19OPE1	48	80	8	A, L
Cómputo Paralelo	DC19PAR1		48	80	8	A, L
Control I	DC19CTR1		48	80	8	A, L
Control II	DC19CTR2	DC19CTR1	48	80	8	A, L
Elemento Finito I	DC19ELF1		48	80	8	A, L
Elemento Finito II	DC19ELF2	DC19ELF1	48	80	8	A, L
Geometría Computacional	DC19GCO1		48	80	8	A, L
Gráficas por Computadora	DC19GCC1		48	80	8	A, L
Inteligencia Artificial	DC19INA1		48	80	8	A, L
Métodos Numéricos en Paralelo	DC19MNP1		48	80	8	A, L
Modelación numérica	DC19MOD1		48	80	8	A, L
Modelos Gráficos Probabilistas	DC19MGP1		48	80	8	A, L
Optimización I	DC19OPT1		48	80	8	A, L
Optimización II	DC19OPT2	DC19OPT1	48	80	8	A, L
Optimización Estocástica	DC19OPE1		48	80	8	A, L
Procesamiento de Señales I	DC19SIG1		48	80	8	A, L
Procesamiento de Señales II	DC19SIG2	DC19SIG1	48	80	8	A, L
Programación de Redes de Comunicación	DC19RED1		48	80	8	A, L
Programación y Algoritmos Avanzados	DC19PAA1		48	80	8	A, L
Reconocimiento Estadístico de Patrones I	DC19REC1		48	80	8	A, L
Reconocimiento Estadístico de Patrones II	DC19REC2		48	80	8	A, L
Robótica I	DC19ROB1		48	80	8	A, L
Robótica II	DC19ROB2	DC19ROB1	48	80	8	A, L
Robótica Probabilística	DC19ROP1	DC19ROB1	48	80	8	A, L
Visión Computacional I	DC19VIS1		48	80	8	A, L
Visión Computacional II	DC19VIS2	DC19VIS1	48	80	8	A, L



Temas de Investigación en Análisis de Datos	DC19TID1		48	80	8	A, L
Temas de Investigación en Visión	DC19TIV1		48	80	8	A, L
Temas de Investigación en Análisis y Procesamiento de Imágenes I	DC19TPI1		48	80	8	A, L
Temas de Investigación en Análisis y Procesamiento de Imágenes II	DC19TPI2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Análisis de Datos	DC19TAD1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Aprendizaje Maquina I	DC19TAM 1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Aprendizaje Maquina II	DC19TAM 2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Computación I	DC19TCO1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Computación II	DC19TCO 2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Cómputo Estadístico	DC19TCE1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Cómputo Evolutivo I	DC19TEV1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Cómputo Evolutivo II	DC19TEV2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Cómputo Paralelo I	DC19TCP1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Cómputo Paralelo II	DC19TCP2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Ecuaciones Diferenciales	DC19TED1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Geometría	DC19TGE1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Imágenes Biomédicas	DC19TIB1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Inteligencia Artificial I	DC19TIA1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Inteligencia Artificial II	DC19TIA2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Matemáticas I	DC19TMB 1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Matemáticas II	DC19TMB 2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Matemáticas Aplicadas I	DC19TMA 1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Matemáticas Aplicadas II	DC19TMA 2		48	80	8	A, L
Temas selectos de Modelación Numérica I	DC19TMN 1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Modelación Numérica II	DC19TMN 2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Optimización I	DC19TOP1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Optimización II	DC19TOP 2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Probabilidad y Estadística I	DC19TPE1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Probabilidad y Estadística II	DC19TPE2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Procesamiento de Señales	DC19TPS1		48	80	8	A, L



Temas Selectos de Programación y Algoritmos I	DC19TPA1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Programación y Algoritmos II	DC19TPA2		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Robótica I	DC19TRO1		48	80	8	A, L
Temas Selectos de Robótica II	DC19TRO2		48	80	8	A, L
Seminario de Investigación I	DC19SI1	DC19TES8	0	0	0	O, L
Seminario de Investigación II	DC19SI1	DC19SI1	0	0	0	O, L
Seminario de Investigación III	DC19SI3	DC19SI2	0	0	0	O, L
Seminario de Investigación IV	DC19SI4	DC19SI3	0	0	0	O, L

NUMERO MINIMO DE HORAS QUE SE DEBERAN ACREDITAR EN LAS

ASIGNATURAS OPTATIVAS, BAJO LA CONDUCCION DE UN DOCENTE

192

NUMERO MINIMO DE CREDITOS QUE SE DEBERAN ACREDITAR EN

LAS ASIGNATURAS OPTATIVAS

32

**NÚMERO MÍNIMO DE CRÉDITOS TOTALES
(OBLIGATORIAS + OPTATIVAS)**

166

PROPUESTA DE EVALUACION Y ACTUALIZACION PERIODICA DEL PLAN DE ESTUDIOS

El CIMAT en acuerdo con el núcleo académico del programa designará un **Comité Académico del Posgrado (CAP)** integrado por investigadores adscritos al CIMAT. Este comité estará a cargo de los aspectos académicos del programa, incluyendo la planeación académica, evaluación y seguimiento del programa. Sus decisiones se tomarán de manera colegiada, siguiendo los lineamientos para el doctorado con orientación en ciencias de la computación y la normativa interna de CIMAT.

OPCIONES DE TITULACIÓN

Para obtener el grado de Doctor en Ciencias con Orientación en Ciencias de la



Computación, la única opción de titulación es la realización de una tesis doctoral como se especifica en los Lineamientos Complementarios del Programa de Doctorado en Ciencias con Orientación en Ciencias de la Computación, y para esto el estudiante requiere:

- Cumplir con los requisitos administrativos especificados por los servicios escolares de CIMAT.
- Cubrir un total de 166 créditos (134 obligatorios y 32 optativos) del plan de estudios.
- Demostrar manejo del idioma inglés en las modalidades especificadas por las autoridades académicas de CIMAT.
- Defender exitosamente la tesis ante un comité de investigadores elegido para su evaluación.

Dr. Víctor Manuel Rivero Mercado
Director General



CÓMPUTO EVOLUTIVO

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19EVO1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

En esta asignatura se introducen y analizan diversos métodos de optimización aproximados basados en el cómputo evolutivo para los ámbitos de optimización multi-objetivo y optimización con restricciones. Además, se introducen los algoritmos meméticos y se aplican en ambos ámbitos de optimización, cubriéndose además la forma de diseñar e implementar algoritmos evolutivos paralelos. Para cada propuesta se analizan sus fundamentos y se llevan a la práctica a través de la resolución de problemas complejos.

TEMAS Y SUBTEMAS

Tema 1: Algoritmos meméticos

- Búsquedas locales y métodos de trayectoria
- Exploración e intensificación del espacio de búsqueda
- Método de Lamarck y método de Baldwin
- Integración estática de métodos globales y locales
- Integración dinámica de métodos globales y locales
- Integración adaptativa de métodos globales y locales
- Aplicaciones

Tema 2: Optimización multi-objetivo

- Dominancia de Pareto



- Métricas multi-objetivo
- Hipervolumen
- Indicador Épsilon
- Contribución
- Superficies de cubrimiento
- Otras métricas
- Variantes iniciales de algoritmos evolutivos multi-objetivo
- Algoritmos evolutivos basados en la dominancia de Pareto
- Algoritmos evolutivos basados en descomposición
- Métricas de diversidad en el espacio de los objetivos
- Control de diversidad

Tema 3: Optimización con restricciones

- Funciones de penalización
- Decodificadores
- Operadores especiales
- Ordenamiento estocástico
- El método de la restricción épsilon
- Aplicación de esquemas multi-objetivo

Tema 4: Algoritmos evolutivos paralelos

- Paralelización de la función de evaluación
- Esquemas basados en islas
- Modelos celulares
- Métricas de rendimiento

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de software de cómputo matemático



Lectura de publicaciones recientes

Desarrollo de un proyecto

Preparación de presentaciones

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas Semanales (30%)

Tareas Mensuales (30%)

Proyecto (30%)

Presentación de proyecto (10%)

BIBLIOGRAFÍA

- F. Neri, C. Cotta, P. Moscato. Handbook of Memetic Algorithms. Springer, 2012.
- C. Coello, G. B. Lamont, D. Van Veldhuizen. Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. Springer, 2007.
- E. Mezura-Montes. Constraint-Handling in Evolutionary Optimization. Springer, 2009.
- E. Alba. Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms. Wiley, 2005.
- El-Ghazali Talbi. Metaheuristics: From Design to Implementation. Wiley, 2009.
- J. Dréo, A. Pétrowski, P. Siarry, E. Taillard. Metaheuristics for Hard Optimization.
- F. Glover, G. A. Kochenberger. Handbook of Metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- Michel Gendreau, Jean-Yves Potvin. Handbook of Metaheuristics. Springer, 2010.
- S. Luke. Essential of Metaheuristics. 2013.
- E. Eiben, J. E. Smith. Introduction to Evolutionary Computing. Springer, 2003.
- Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer, 1996.

CÓMPUTO PARALELO



CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19PAR1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

La asignatura presenta un recorrido por las técnicas y herramientas más utilizadas para el análisis, diseño, implementación y comparación de algoritmos paralelos sobre diversas plataformas. Se revisan diferentes modelos de programación, haciendo especial énfasis en el uso de herramientas estándar como OpenMP, MPI y CUDA. Se analiza la utilización de estas herramientas en aplicaciones de varios ámbitos diferentes, incluyendo optimización matemática.

TEMAS Y SUBTEMAS

Tema 1: Introducción

- Arquitectura Von Neumann
- Desempeño del procesador
- Arquitecturas UMA y NUMA
- Sistema multiprocesamiento
- Caché: coherencia, caché hits, cache miss
- *Prefetchers*
- Relación de los conceptos anteriores con OpenMP
- Análisis de rendimiento: Valgrind (Cachegrind, cg_annotate)

Tema 2: Programación en C

- Organización de la memoria (Heap, Stacks, Globals)
- Programación para uso eficiente del caché

Tema 3: Conceptos básicos en cómputo paralelo

- Representación de algoritmos en un Grafo Dirigido Acíclico (DAG)



- Medidas de complejidad
- Aceleración teórica y eficiencia
- Métricas para entornos heterogéneos
- La ley de Amdahl
- Escalabilidad
- Funciones de *overhead*
- Extracción de paralelismo: modelo de datos paralelos, modelo de granjas, grafos de tareas, pipeline
- Fuentes de pérdida de rendimiento

Tema 4: OpenMP

- Introducción
- *Deadlocks*, sincronía y conformidad con el estándar
- Directivas
- Cláusulas
- Modelo de memoria
- Librerías
- Estructura de un programa C con OpenMP
- Reducciones
- Sincronización
- Tareas
- Anidaciones
- *Locks*
- Aplicaciones

Tema 5: MPI

- Introducción
- Modelo de programación
- Compilación y ejecución
- Estructura de programas MPI en C



- SSH
- Tipos de datos simples
- Comunicaciones: punto a punto o en grupo, sincronía, bloqueos
- Implementación interna de operaciones de comunicación grupales
- Administración del ambiente
- *Buffering*
- Estructuras y datos derivados
- Topologías
- Empaquetamiento
- Debuggeo con MPI.
- Aplicaciones

Tema 6: Optimización paralela

- Introducción a metaheurísticas
- Paralelización de técnicas de optimización exactas
- Paralelización de técnicas de optimización aproximadas
- Análisis de rendimiento

Tema 7: CUDA

- Introducción
- Arquitectura de las Unidades de Procesamiento Gráficas (GPU)
- Modelo de programación
- Compilación y ejecución
- Bloques y *threads*
- Sincronización
- Operaciones atómicas
- Compartición de datos
- Uso eficiente de GPUs
- Algoritmos paralelos
- *Streams*



- Análisis de rendimiento
- Librerías
- Aplicaciones.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Programación de software

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

60% tareas

20% primer proyecto

20% segundo proyecto

BIBLIOGRAFÍA

- Grama, A. Gupa, G. Karypis, V. Kumar. *Introduction to Parallel Computing*. Addison-Weley, 2003
- D.P. Bertsekas and J.N. Tsitsiklis. *Parallel and Distributed Computation: Numerical Methods*. Athena Scientific, 1997.
- Quinn, M. J. *Parallel Computing: Theory and Practice*. McGraw-Hill, New York, 1994.
- J. Jája: *An Introduction to Parallel Algorithms*. Addison Wesley, Massachusetts, 1992.
- *Valgrind documentation*: <http://valgrind.org/docs/manual/>
- *Rogue Wave Software. 8 Steps to Optimizing Cache Memory Access and Application Performance. A recommended approach for cache memory optimization, 2011*
- Markus Kowarschik, Christian Weib. Chapter "An Overview of Cache Optimization Techniques and Cache-Aware Numerical Algorithms" in *Algorithms for Memory Hierarchies*, 2003
- Brian Dougherty, Jules White, Russell Kegley, Jonathan Preston, Douglas C. Schmidt, and Aniruddha Gokhale, *Optimizing Integrated Application Performance with Cache-aware Metascheduling*, Proceedings of the 1st International Symposium on Secure Virtual Infrastructure, 2011
- Stefano Cozzini. *Optimization techniques: an overview*.
- http://http://www.democritos.it/events/computational_physics/lecture_stefano3.pdf, 2005.



- OpenMP Specification: <http://www.openmp.org>
- R. Chandra, L. Dagum, D. Kohr, D. Maydan, J. McDonald, R. Menon. *Parallel Programming in OpenMP*. Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
- Chapman, G. Jost, R. V. Der Pas. *Using OpenMP. Portable Shared Memory Parallel Programming*. The MIT Press, 2008
- M. J. Quinn. *Parallel Programming in C with MPI and OpenMP*. McGraw Hill, 2003.
- P. S. Pacheco. *Parallel Programming with MPI*. Morgan Kaufmann, 1997.
- Jason Sanders, Edward Kandrot. *CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming*. Addison-Wesley, 2011.
- Curso udacity: *Intro to Parallel Programming*: <https://www.udacity.com/course/cs344>
- *CUDA C Programming Guide*: <http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/>
- S. Mohanty, A. K. Mohanty, F. Carminati. *Efficient pseudo-random number generation for Monte-Carlo simulation using graphic processors*. Journal of Physics, 2012.
- John Cheng, Max Grossman, Ty McKercher. *Professional CUDA C Programming*. Wiley, 2014.
- S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi. *Optimization by Simulated Annealing*. Science 220 (13), 1983.
- Enrique Alba. *Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms*. Wiley, 2005.
- Corana, M. Marchesi, C. Martini, S. Ridella. *Minimizing multimodal functions of continuous variables with the "simulated annealing" algorithm*. ACM Transactions on Mathematical Software 13 (3), 1987.
- J. S. Higginson, R. R. Neptune, F. C. Anderson. *Simulated parallel annealing within a neighborhood for optimization of biomechanical systems*. Journal of Biomechanics 38 (9), 2005.

CONTROL I

CICLO

CLAVE DE LA ASIGNATURA

Página 15 de 84



OPTATIVA

DC19CTR1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El alumno será capaz de analizar, modelar, diseñar y evaluar sistemas de control continuo y discreto en lazo cerrado para sistemas lineales, los cuales satisfagan el desempeño deseado según las especificaciones requeridas por la aplicación.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Introducción al control de sistemas

- a. Importancia del control de sistemas
- b. Transformada de Laplace

II. Modelado de sistemas físicos

- a. Función de transferencia
- b. Algebra de bloques
- c. Espacio de estados

III. Análisis transitorio y de estado estable

- a. Análisis de respuesta transitoria y de estado estable de sistemas de primer orden
- b. Análisis de respuesta transitoria y de estado estable de sistemas de segundo orden
- c. Errores en estado estacionario

IV. Análisis de estabilidad

- a. Criterio de estabilidad de Routh-Hurwitz
- b. Método del lugar geométrico de las raíces



V. Acciones básicas de control

- a. Control ON-OFF
- b. Control PID
- c. Métodos básicos de sintonización de controladores PID

VI. Diseño de compensadores

- a. Compensadores de adelanto
- b. Compensadores de atraso
- c. Compensadores de adelanto-atraso

VII. Representación de sistemas en el espacio de estados

- a. Representaciones canónicas de sistemas en espacio de estados
- b. Solución de la ecuación de estado
- c. Controlabilidad y observabilidad

VIII. Control por realimentación del estado

- a. Diseño de controladores por reubicación de polos
- b. Formula de Ackerman
- c. Diseño del observador de Luenberger
- d. Control con estimación del estado
- e. Control para seguimiento de trayectorias

IX. Control de sistemas en tiempo discreto

- a. Importancia del control en tiempo discreto
- b. Transformada Z y ecuaciones en diferencias
- c. Función de transferencia pulso
- d. Proceso de muestreo y retención
- e. Estabilidad de sistemas en tiempo discreto
- f. Diseño de controladores en tiempo discreto



X. Introducción al control de sistemas no lineales

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de un proyecto

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Primer examen 15%

Segundo examen 25%

Proyecto final 25%

Tareas 35%

BIBLIOGRAFÍA

- K. Ogata. *Modern Control Engineering*, 4th Ed., Pearson, Prentice Hall, 2001.
- K. Ogata. *Discrete-time control systems*, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. , 1995.
- R.C. Dorf. *Modern Control Systems*, 9th Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ , 2001.
- G. Franklin, J.D. Powell and A. Emami-Naeini. *Feedback Control of Dynamic Systems*, 5th Edition, Pearson, Prentice Hall, 2006.

SOFTWARE DE APOYO

Python, Matlab, Scilab.

CONTROL II



CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19CTR2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El alumno estudiará el estado del arte del control de robots, tanto robots móviles como robots manipuladores industriales, por medio de visión como único sensor para realimentación de información, con aplicaciones en posicionamiento y navegación.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Introducción al control de sistemas lineales de múltiples entradas

- a. Controlabilidad
- b. Realimentación del estado
- c. Seguimiento de trayectorias
- d. Estabilidad de Lyapunov

II. Introducción al control de sistemas no lineales

- a. Concepto de grado relativo
- b. Linealización de entrada-salida
- c. Control robusto

III. Introducción al control visual de robots

- a. Clasificación de esquemas de control visual
- b. La función de tarea
- c. Matriz de interacción o Jacobiano de imagen

IV. Modelos de cámara

- a. Modelo de cámara perspectiva



- b. Modelo de cámara omnidireccional

V. Visión para control de robots

- a. Búsqueda de correspondencias
- b. El modelo de homografía
- c. La geometría epipolar
- d. El tensor trifocal
- e. Rastreo de puntos

VI. Control visual basado en posición

- a. Representación de rotaciones – fórmula de Rodríguez
- b. Estimación de postura con cámara monocular
- c. Esquema de control basado en posición
- d. Estabilidad del control basado en posición
- e. Esquema de control basado en posición binocular

VII. Control visual basado en imagen

- a. Matriz de interacción para puntos de imagen
- b. Aproximación de la matriz de interacción
- c. Estabilidad del control basado en imagen
- d. Esquema de control basado en imagen binocular

VIII. Métodos de control visual avanzado

- a. Control visual 2.5D
- b. Control particionado XY/Z
- c. Control visual híbrido
- d. Control basado en momentos de imagen
- e. Control basado en una restricción geométrica
- f. Control basado en optimización numérica



IX. Control visual basado en restricciones geométricas

- a. Control basado en homografía
- b. Control basado en geometría epipolar
- c. Control basado en tensor trifocal

X. Control visual de robots móviles

- a. Modelo matemático de robots no holónomos
- b. Control de robots no holónomos basado en Jacobiano de imagen
- c. Controles genéricos para robots no holónomos
- d. Navegación de robots móviles basada en visión
- e. Perspectivas del control visual de robots humanoides.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales.

Programación de diferentes esquemas de control en simulación.

Proyecto final integrador de la materia.

Lecturas de artículos.

Presentaciones orales.

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 25%

Primer examen: 20%

Segundo examen: 20%

Exposición(es): 10%

Proyecto final: 25%

BIBLIOGRAFÍA

- P. Corke. *Robotics, Vision & Control*, Springer Tracts in Advanced Robotics, 2013.
- P. Corke. *Visual Control of Robots: High-Performance Visual Servoing*, free e-book, 1996.



SOFTWARE DE APOYO

Python, MATLAB, Scilab, Webots, OpenCV.



ELEMENTO FINITO I

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19ELF1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El alumno deberá conocer los fundamentos del método, así como saber aplicar la mejor aproximación a la solución de problemas prácticos en 1D, 2D o 3D, en rangos estáticos y dinámicos. Se presenta una introducción a problemas no lineales.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Solución de la ecuación de Poisson en 1D

- a. Elementos lineales
- b. Ecuaciones de la discretización del campo de la variable principal
- c. Solución con varios elementos
- d. Formulación matricial
- e. Elementos 1D más avanzados
- f. Formulación isoparamétrica e integración numérica
- g. Organización básica de un programa de elementos finitos
- h. Elementos de alto orden
- i. Convergencia de elementos

II. Solución de la ecuación de Poisson en 2D

- a. Formulación con elementos finitos. Elemento triangular de 3 nodos
- b. Formulación con elementos finitos. Elemento rectangular de 4 nodos



- c. Elementos rectangulares Lagrangianos
- d. Elementos rectangulares serendipitos
- e. Elementos triangulares de alto orden
- f. Elementos isoparamétricos bidimensionales
- g. Calculo numérico de integrales sobre elementos rectangulares
- h. Calculo numérico de integrales sobre elementos triangulares
- i. Programación
- j. Errores en la solución con elementos finitos

III. Simetría de revolución para la ecuación de Poisson

- a. Teoría de sólidos de revolución
- b. Formulación con elementos finitos
- c. Elementos isoparamétricos para sólidos de revolución
- d. Programación de Sólidos de revolución

IV. Solución de la ecuación de Poisson en 3D

- a. Formulación con elementos finitos. Elemento tetraédrico de 4 nodos
- b. Formulación con elementos finitos. Elementos hexaédricos
- c. Elementos isoparamétricos para sólidos
- d. Programación
- e. Errores en la solución con elementos finitos

V. Dinámica con elementos finitos

- a. Solución al problema transitorio
- b. Integración en el tiempo: implícita y explícita

VI. Problemas de convección-difusión

- a. Bloqueo numérico de la solución
- b. Formulación con elementos finitos. Elementos más utilizados



c. Programación

VII. Ecuación de onda

a. Problema de valores y vectores propios con elementos finitos

VIII. Conceptos básicos de elasticidad.

- a. Problema de deformación plana
- b. Problema de tensión plana
- c. Problema de axi-simetría
- d. Problema en 3D

IX. Conceptos básicos de no-linealidad

- a. No linealidad geométrica
- b. No linealidad material

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Dos exámenes (incluye tareas) (50%).

Un proyecto final (50%)

BIBLIOGRAFÍA

- *El Método de los Elementos Finitos. Formulación básica y problemas Lineales. Vols. 1, 2, 3 (6a edición).* Zienkiewicz - Taylor. Ed. CIMNE. 2015.
- *El Método de los Elementos Finitos. Mecánica de Sólidos y Fluidos. Dinámica y no Linealidad.* Zienkiewicz- Taylor. Ed. CIMNE- Mc. Graw Hill. 1994.
- *Numerical Methods in Finite Element Analysis.* K.J. Bathe and E.L. Wilson, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 1977.
- *Finite Element Procedures in Engineering Analysis.* K. J. Bathe, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 1982.



- CALSEF 2.1. *Programa para Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos*, S. Botello, E. Oñate CIMNE 83, 1996.
- *Modulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos: MEFI*. S. Botello, H. Esqueda, F. Gómez, M.A. Moreles y E. Oñate. Aula CIMNE-UGTO, Noviembre 2004.
- *Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos. Análisis Estático Lineal*. Eugenio Oñate. Ed. CIMNE. 1995.
- *Modulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos para Resolver la Ecuación de Poisson*. S. Botello, M.A. Moreles y E. Oñate. Monografía M-CIMAT-1., Julio 2010.



ELEMENTO FINITO II

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19ELF2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El alumno deberá conocer temas avanzados del método, así como saber aplicar la mejor aproximación a la solución de problemas prácticos en 1D, 2D o 3D. Se presenta una formulación para Fluidos.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Ecuaciones fundamentales de la mecánica de fluidos

- a. Flujo incompresible no viscoso
- b. Flujos incompresibles (o casi incompresibles)
- c. Soluciones numéricas. Formas débiles, residuos ponderados y aproximaciones con elementos finitos

II. Flujos laminares Newtonianos compresibles

- a. Introducción y ecuaciones básicas
- b. Métodos numéricos para la solución de flujos Newtonianos compresibles
- c. Refinamiento de malla adaptable

III. Flujos no Newtonianos incompresibles

- a. Introducción y ecuaciones básicas
- b. Flujos no Newtonianos- conformado de polímeros y metales
- c. Flujos viscoelásticos



IV. Superficies libres y flujos impulsados por flotación

- a. Flujos con superficie libre
- b. Flujos libres con flotación

V. Flujos turbulentos

- a. Tratamiento de los flujos incompresibles turbulentos
- b. Flujos compresibles turbulentos
- c. Simulación de grandes vórtices

VI. Flujo en medios porosos

- a. Formulación generalizada para flujo en medios porosos
- b. Procedimientos de discretización
- c. Flujos no isotérmicos.
- d. Conexión forzada
- e. Conexión natural

VII. Problemas de aguas poco profundas

- a. Ecuaciones para aguas poco profundas
- b. Aplicaciones numéricas
- c. No linealidad material

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Dos exámenes (incluye tareas) (50%)

Un proyecto final (50%)



BIBLIOGRAFÍA

- *El Método de los Elementos Finitos. Formulación básica y problemas Lineales.* Vols. 1, 2, 3 (6a edición). Zienkiewicz - Taylor. Ed. CIMNE. 2015.
- *El Método de los Elementos Finitos. Mecánica de Sólidos y Fluidos. Dinámica y no Linealidad.* Zienkiewicz- Taylor. Ed. CIMNE- Mc. Graw Hill. 1994.
- *Numerical Methods in Finite Element Analysis.* K.J. Bathe and E.L. Wilson, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 1977.
- *Finite Element Procedures in Engineering Analysis.* K. J. Bathe, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 1982.
- *CALSEF 2.1. Programa para Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos,* S. Botello, E. Oñate CIMNE 83, 1996.
- *Módulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos: MEFI.* S. Botello, H. Esqueda, F. Gómez, M.A. Moreles y E. Oñate. Aula CIMNE-UGTO, Noviembre 2004.
- *Cálculo de Sólidos y Estructuras por el Método de los Elementos Finitos. Análisis Estático Lineal.* Eugenio Oñate. Ed. CIMNE. 1995.
- *Módulo de Aplicaciones del Método de los Elementos Finitos para Resolver la Ecuación de Poisson.* S. Botello, M.A. Moreles y E. Oñate. Monografía M-CIMAT-1., Julio 2010.



GEOMETRÍA COMPUTACIONAL

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19GCO1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

La geometría computacional es el área que trata sobre el diseño y análisis de algoritmos eficientes para estudiar problemas geométricos, típicamente en dimensiones bajas. Este es un curso introductorio a la geometría computacional y sus aplicaciones. Se estudiarán las estructuras de datos geométricas básicas, así como los algoritmos principales para procesar estos datos.

TEMAS Y SUBTEMAS

- I. **Introducción a la geometría computacional.**
- II. **Estructuras de datos básicas.**
- III. ***Convex hull* en 2D.**
- IV. **Intersección de segmentos de recta.**
- V. **Triangulación de polígonos.**
- VI. **Búsqueda e intersección.**
- VII. **Localización de puntos.**
- VIII. **Diagramas de Voronoi.**
- IX. **Arreglos.**
- X. ***Convex hull* en 3D.**
- XI. **Planificación de movimientos en robótica y espacios de configuración**

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios



CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas (4 tareas): 40%

Proyecto: 15%

Exámenes parciales: 15% (x3)

BIBLIOGRAFÍA

- M. de Berg, O. Cheong, M. van Kreveld, M. Overmars. *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- S. Devadoss, J. O'Rourke. *Discrete and Computational Geometry*. Princeton University Press, 2011.
- F.P. Preparata, M.I. Shamos. *Computational Geometry: An Introduction*. Springer-Verlag, 1985.
- J. O'Rourke. *Computational Geometry in C*. Cambridge University Press, 1998.



GRÁFICAS POR COMPUTADORA

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19GCC1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El objetivo de este curso es entender los métodos para generar imágenes a partir de modelos tridimensionales. Estudiaremos los métodos básicos para dibujar primitivas en un *display* (líneas, círculos, polígonos). Miraremos cómo construir modelos matemáticos de objetos en dos y tres dimensiones, cómo manipularlos para formar objetos más complicados, y las operaciones necesarias para plasmarlos en una imagen. Revisaremos también modelos de color, iluminación y el conocido algoritmo de trazado de rayos o *Raytracing*.

TEMAS Y SUBTEMAS

- I. **Pipeline de gráficas.**
- II. **Introducción a programación a OpenGL con *shaders* (Pipeline programable).**
- III. ***Hardware* de gráficos y algoritmos de *raster*.**
- IV. **Transformaciones de cuerpos rígidos y coordenadas homogéneas.**
- V. **Transformaciones de vista y proyecciones (perspectiva y ortográfica).**
- VI. **Representación de orientaciones.**
- VII. **Modelado de objetos en 3D.**



VIII. Curvas paramétricas.

IX. Modelos de color.

X. Modelos de iluminación.

XI. Raycasting y raytracing.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas (4 tareas): 40%

Proyecto: 20%

Exámenes parciales: 40%

BIBLIOGRAFÍA

- P. Shirley, et. al. *Fundamentals of Computer Graphics*. A.K. Peters, 2009.
- J. Foley, et. al. *Computer Graphics, Principles and Practice*. Addison-Wesley Professional, 2013.
- D. Shreiner et. al. *OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL, Version 4.3*. Addison-Wesley Professional, 2013.
- R. Rost et. al. *OpenGL Shading Language*. Addison-Wesley Professional, 2009.
- T. Akenine-Moller, et. al. *Real-Time Rendering*. A.K. Peters / CRC Press, 2008.
- R. Parent. *Computer Animation. Algorithms and Techniques*. Morgan Kaufmann, 2012.



INTELIGENCIA ARTIFICIAL

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19INA1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El propósito de este curso es introducir los problemas básicos de inteligencia artificial, así como los algoritmos usuales empleados para resolverlos.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Inteligencia artificial

- a. Introducción
- b. Agentes inteligentes

II. Resolución de problemas

- a. Resolución de problemas por búsqueda
- b. Más allá de la búsqueda clásica
- c. Búsqueda con adversarios
- d. Problemas de satisfacción de restricciones

III. Conocimiento y razonamiento.

- a. Agentes lógicos
- b. Lógica de primer orden
- c. Inferencia en lógica de primer orden
- d. Planificación clásica



- e. Planificar y actuar en el mundo real
- f. Representación del conocimiento

IV. Conocimiento incierto y razonamiento

- a. Cuantificación de la incertidumbre
- b. Razonamiento probabilístico
- c. Razonamiento probabilístico en el tiempo
- d. Toma de decisiones simples
- e. Toma de decisiones complejas

V. Aprendizaje

- a. Aprender a partir de ejemplos
- b. Conocimiento y aprendizaje
- c. Aprendizaje de modelos probabilísticos
- d. Aprendizaje por reforzamiento

VI. Inteligencia artificial y comunicación

- a. Procesamiento de lenguaje natural
- b. Lenguaje natural para la comunicación

VII. Temas selectos de inteligencia artificial

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 40%

Proyecto: 30%

Exámenes parciales: 30%



BIBLIOGRAFÍA

- S. Russell and P. Norvig. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 3rd Edition, Prentice Hall, 2009.
- M. Ghallab, D.S. Nau, and P. Traverso. *Automated Planning: Theory and Practice*. Elsevier, 2004.
- S. Rabin, *AI Game Programming Wisdom*. Charles River Media, 2002.
- S. Thrun, D. Fox, and W. Burgard. *Probabilistic Robotics*. The MIT Press, 2005.
- R.J. Brachman. *Knowledge Representation and Reasoning*. Morgan Kaufmann, 2004.



MÉTODOS NUMÉRICOS EN PARALELO

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19MNP1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Esta materia está orientada a aprender a resolver sistemas de ecuaciones que tienen matrices dispersas. Este tipo de sistemas ocurren al resolver problemas de grafos, redes, circuitos eléctricos, o modelación de ecuaciones diferenciales parciales con métodos como elemento finito, volumen finito o análisis iso-geométrico. Dado que estos sistemas de ecuaciones suelen ser muy grandes se aplican técnicas de cómputo paralelo para resolverlos más rápidamente. Se hará una introducción a la paralelización con OpenMP (computadoras multi-core) y MPI (*clusters* de computadoras). Se utilizarán los sistemas de super-cómputo del CIMAT para realizar las tareas y proyectos.

TEMAS Y SUBTEMAS

- I. **Optimización de código**
 - a. Arquitectura de procesadores modernos
 - b. Programación eficiente aprovechando el caché
 - c. Organización de la memoria en C/C++
 - d. Directivas de compilación para optimización
 - e. *Branch prediction*
- II. **Matrices dispersas/ralas**
 - a. Tipos de matrices ralas



- b. Costos de almacenamiento y operación
- c. Sistemas de ecuaciones con matrices ralas
- d. Estructura de matrices ralas al modelar ecuaciones diferenciales parciales
- e. *Compressed Row/Column Storage*
- f. Almacenamiento de matrices ralas en formato MatLab
- g. Multiplicación matriz-vector con matrices ralas

III. Gradiente conjugado

- a. Algoritmo de gradiente conjugado
- b. Reordenamiento para optimizar gradiente conjugado.
- c. Número de condición
- d. Precondicionamiento
- e. Precondicionador Jacobi

IV. Paralelización con OpenMP

- a. Operaciones matemáticas en paralelo
- b. Procesadores *multi-core* con memoria compartida
- c. Uso eficiente del caché
- d. Programación con *threads*
- e. El esquema OpenMP
- f. "Hola mundo" con OpenMP
- g. Reducciones
- h. Paralelización de secciones de código
- i. Variables *private* y *shared*
- j. Modificación del *scheduling*
- k. Paralelización de la multiplicación matriz-vector
- l. Gradiente conjugado con OpenMP

V. Factorizaciones Cholesky y LU

- a. Factorización Cholesky simbólica
- b. Paralelización con OpenMP de las factorizaciones Cholesky y LU
- c. Paralelización de *solver* para matrices triangulares
- d. Reordenamiento de renglones y columnas
- e. Matrices de permutación
- f. Matrices ralas como grafos no dirigidos
- g. Algoritmo de grado mínimo
- h. Algoritmo de bisección anidada (librería METIS)

VI. Gradiente biconjugado

- a. Algoritmo de gradiente biconjugado



- b. Paralelización con OpenMP
- c. Precondicionador Jacobi

VII. Precondicionadores con factorización incompleta

- a. Factorización Cholesky incompleta
- b. Gradiente conjugado con precondicionador Cholesky incompleto
- c. Factorización LU incompleta
- d. Gradiente biconjugado con precondicionador LU incompleto

VIII. Precondicionadores con inversa aproximada

- a. Inversa aproximada rala
- b. Inversa aproximada rala factorizada
- c. Gradiente conjugado con precondicionador inversa aproximada
- d. Gradiente biconjugado con precondicionador inversa aproximada

IX. Paralelización con MPI (Message Passing Interface)

- a. *Clusters Beowulf*
- b. Paralelización con memoria distribuida
- c. Descripción de la librería MPI
- d. "Hola mundo" con MPI
- e. Comunicación con bloqueo
- f. Comunicación sin bloqueo
- g. Como correr el programa en un *cluster*
- h. Depuración de programas con MPI
- i. Gradiente conjugado con MPI

X. Descomposición de dominios

- a. Descomposición de dominios
- b. Particionamiento de grafos/mallas
- c. Librería METIS para particionar
- d. Implementación con MPI del método de Schur
- e. Solución de ecuaciones diferenciales con descomposición de dominios
- f. Método alternante de Schwarz
- g. Implementación con MPI del método alternante de Schwarz

1

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE



Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

70% Tareas (aproximadamente 12)

30% Proyecto

BIBLIOGRAFÍA

Libros (disponibles en biblioteca del CIMAT)

- K. A. Gallivan, M. T. Heath, E. Ng, J. M. Ortega, B. W. Peyton, R. J. Plemmons, C. H. Romine, A. H. Sameh, R. G. Voigt, Parallel Algorithms for Matrix Computations, SIAM, 1990.
- Y. Saad. Iterative Methods for Sparse Linear Systems. SIAM, 2003.
- G. H. Golub, C. F. Van Loan. Matrix Computations. Third edition. The Johns Hopkins University Press, 1996.
- Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri. Numerical Mathematics. Springer, 2000.
- O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor, J.Z. Zhu, The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. Sixth edition, 2005.
- J. Nocedal, S. J. Wright. Numerical Optimization, Springer, 2006.

Libros (descargables de la web)

- Message Passing Interface Forum. MPI: A Message-Passing Interface Standard, Version 2.1. University of Tennessee, 2008.
- U. Drepper. What Every Programmer Should Know About Memory. Red Hat, Inc. 2007.
- Fog. Optimizing software in C++. An optimization guide for Windows, Linux and Mac platforms. Copenhagen University College of Engineering. 2011.
- H. Prokop. Cache-Oblivious Algorithms. Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology. 1999.

Otros libros

- B. Chapman, G. Jost, R. van der Pas. Using OpenMP: Portable Shared Memory Parallel Programming. The MIT Press, 2008.
- B. F. Smith, P. E. Bjorstad, W. D. Gropp. Domain Decomposition: Parallel Multilevel Methods for Elliptic Partial Differential Equations. Cambridge University Press, 1996.
- Toselli, O. Widlund. Domain Decomposition Methods - Algorithms and Theory.



Springer, 2005.

- S. Pissanetzky. Sparse Matrix Technology. Academic Press, 1984.

Papers

- E. Chow, Y. Saad. Approximate Inverse Preconditioners via Sparse-Sparse Iterations. SIAM Journal on Scientific Computing. Vol. 19-3, pp. 995-1023. 1998
- E. Chow. Parallel implementation and practical use of sparse approximate inverse preconditioners with a priori sparsity patterns. International Journal of High Performance Computing, Vol 15. pp 56-74, 2001.
- George, J. W. H. Liu. Computer solution of large sparse positive definite systems. Prentice-Hall, 1981.
- George, J. W. H. Liu. The evolution of the minimum degree ordering algorithm. SIAM Review Vol 31-1, pp 1-19, 1989.
- M T. Heath, E. Ng, B. W. Peyton. Parallel Algorithms for Sparse Linear Systems. SIAM Review, Vol. 33, No. 3, pp. 420-460, 1991.
- M. Benzi. Preconditioning Techniques for Large Linear Systems: A Survey. Journal of Computational Physics 182, pp418-477. Elsevier Science, 2002
- W. A. Wulf , S. A. Mckee. Hitting the Memory Wall: Implications of the Obvious. Computer Architecture News, 23(1):20-24, March 1995.



MODELACIÓN NUMÉRICA

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19MOD1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso es una introducción a la simulación numérica de sistemas físicos modelados con ecuaciones en derivadas parciales (EDP). Además de la derivación de los modelos, se presentan elementos del análisis de las EDP correspondientes.

TEMAS Y SUBTEMAS

Tema 1: Ecuaciones de primer orden

- Ecuaciones lineales
- Ecuaciones cuasi-lineales
- Leyes de conservación no lineales
- Aplicaciones y métodos numéricos

Tema 2: Principios de conservación y leyes constitutivas

- Balance de masa y calor en 1D
- Relaciones constitutivas en 1D
- Teorema del transporte
- Momento
- Balance de Energía



Tema 3: La ecuación de Poisson

- Flujo potencial
- El principio del máximo
- El Problema de Dirichlet
- Solución por volumen finito

Tema 4: La ecuación de difusión

- La ecuación del calor
- El principio del máximo
- Unicidad y regularidad
- Métodos numéricos

Tema 5: La ecuación de onda

- Acústica. Dinámica de gases
- La cuerda vibrante
- Solución numérica de PBF
- Ondas no lineales
- Las ecuaciones de Maxwell

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Exámenes (3) 60%

Tareas 40%

BIBLIOGRAFÍA

- J. M. Cooper: Introduction to Partial Differential Equations with MatLab; Birkhauser; Boston. (2000)



- R.M.M. Mattheij, S.W. Rienstra, J.H.M ten Thije Boonkkamp: Partial Differential Equations; Modeling, Analysis, Computation; SIAM; Philadelphia. (2005)
- J. Ockendon, S. Howison, A. Lacey, A. Movchan: Applied Partial Differential Equations; Oxford University Press. (1999)

MODELOS GRÁFICOS PROBABILÍSTICOS

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19MGP1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Esta clase dará a los estudiantes las bases necesarias para plantear representaciones probabilísticas a través de modelos gráficos, redes Bayesianas y más allá de ellos, modelos gráficos no-dirigidos, redes Gaussianas, etc. Se presentarán técnicas de inferencia sobre los modelos gráficos, así como técnicas de aprendizaje para optimizar los parámetros de los modelos considerados. Aplicaciones estarán presentadas a lo largo de toda la clase.

TEMAS Y SUBTEMAS

- I. Introducción y repasos de probabilidades y grafos**
- II. Representaciones probabilísticas**
 - a. Redes Bayesianas
 - b. Modelos gráficos no-dirigidos
 - c. Modelos probabilísticos locales
 - d. Representaciones por plantillas
 - e. Redes Gaussianas
- III. Técnicas de inferencia**



- a. Eliminación de variables
- b. Árboles de cliques
- c. Inferencia por optimización
- d. Inferencia aproximada basada en partículas
- e. Inferencia por máximo a posteriori
- f. Inferencia en redes híbridas
- g. Inferencia en modelos temporales

IV. Aprendizaje

- a. Consideraciones generales
- b. Estimación de parámetros
- c. Aprendizaje de la estructura en redes Bayesianas
- d. Datos parcialmente observados
- e. Aprendizaje de modelos no-dirigidos

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 50%

Proyecto: 20%

Exámenes parciales: 30%

BIBLIOGRAFÍA

- D. Koller and N. Friedman. *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*. The MIT Press, 2009.
- M. Jordan. *Graphical models*. *Statistical Science: Special Issue on Bayesian Statistics*, vol. 19, no. 1, pp. 140-155, Feb. 2004.



- C. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Chapter 8. Graphical Models. pp. 359–422. Springer, 2006.

OPTIMIZACIÓN I

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19OPTI

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Este curso da a los alumnos fundamentos sólidos de optimización sin restricciones, con un panorama completo de los diferentes algoritmos existentes para este tipo de problemas.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Introducción

- Formulación matemática
- Ejemplo: Un problema de transporte
- Tipos de problemas de optimización
- Algoritmos de optimización
- Convexidad

II. Fundamentos de optimización sin restricciones

- ¿Qué es una solución?



- b. Algoritmos (una visión preliminar)
 - Búsqueda en línea
 - Métodos de región de confianza

III. Métodos de búsqueda en línea

- a. Tamaño de paso
- b. Algoritmos para selección del tamaño de paso

IV. Métodos de región de confianza

- a. Punto de Cauchy

V. Métodos de gradiente conjugado

- a. Método de gradiente conjugado lineal
- b. Gradiente conjugado no lineal
- c. Gradiente bi-conjugado

VI. Introducción al cálculo variacional

- a. Problema sin restricciones

VII. Cálculo numérico de derivadas

- b. Aproximación por diferencias finitas

VIII. Métodos de Newton prácticos

- a. Newton con pasos inexactos
- b. Métodos de Newton con búsqueda en línea
- c. Técnicas de región de confianza
- d. Técnicas de modificación del Hessiano
- e. Métodos de Newton de región de confianza

IX. Métodos Quasi-Newton



- a. El método Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno (BFGS)

X. Mínimos cuadrados no lineales

- a. Método Gauss-Newton
b. Método Levenberg-Marquardt

XI. Métodos de penalización para problemas no lineales con restricciones

- a. Penalización cuadrática

XII. Algoritmos sin derivadas

- a. Descenso de simplejo (método de Nelder-Mead)
a. Recosido simulado
b. Algoritmos bio-inspirados

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas 30%

Exámenes 60%

Proyecto 10%

BIBLIOGRAFÍA

- J. Nocedal and S. J. Wright. *Numerical Optimization*, Springer Series in Operation Research, 2000.
- C. T. Kelley. *Iterative Methods for Optimization*, SIAM Frontiers in Applied Mathematics, no 18.
- <http://www.siam.org/books/textbooks/download.php>
- M. Rivera. *Notas del Curso*, en <http://www.cimat.mx/~mrivera/optimizacion.html>



OPTIMIZACIÓN II

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19OPT2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Este curso profundiza el estudio de los métodos de optimización, abordando en particular los problemas de optimización con restricciones en los contextos de programación lineal y cuadrática. Finalmente, se abordan también los problemas de optimización combinatoria.

TEMAS Y SUBTEMAS

OPTIMIZACIÓN CON RESTRICCIONES

- I. Teoría de la optimización con restricciones**
 - a. Condiciones de optimalidad de primer orden
 - b. Condiciones de optimalidad de segundo orden



II. Programación lineal: el método simplex

- a. Optimalidad y dualidad
- b. Geometría de conjuntos factibles
- c. El método simplex

III. Programación lineal: métodos de punto interior

- a. Métodos primal-dual
- b. Seguimiento de trayectorias y reducción del potencial

IV. Fundamentos de algoritmos para optimización no lineal con restricciones

- a. Categorías de algoritmos
- b. Eliminación de variables
- c. Funciones de mérito

V. Programación cuadrática

- a. Restricciones de igualdad
- b. Solución del problema de Karush–Kuhn–Tucker (KKT)
- c. Restricciones de desigualdad
- d. Conjuntos activos
- e. Proyección de gradiente
- f. Métodos de punto interior

VI. Métodos para manejo de restricciones

- a. Penalización
- b. Penalización no-suave
- c. Barrera
- d. Lagrangiano aumentado



VII. Programación cuadrática secuencial

- a. Métodos punto interior
- b. Implementaciones numéricas
- c. Métodos de región de confianza
- d. Gradiente proyectado no-lineal

VIII. Métodos de punto Interior para programación no-lineal

- a. Interpretación
- b. Algoritmos primal, primal-dual, barrera y aproximaciones Quasi-Newton

OPTIMIZACIÓN COMBINATORIA

IX. El algoritmo primal-dual lineal

- a. Flujo máximo
- b. Trayectoria más corta
- c. Flujo de mínimo costo

X. Empareamiento (*Matching*)

- a. El problema de apareamiento
- b. Apareamiento bipartita y redes de flujo
- c. Apareamiento no bipartita

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 50%



Exámenes (2): 40%

Presentación Final: 10%.

BIBLIOGRAFÍA

- J. Nocedal and S. J. Wright, *Numerical Optimization*, Springer Series in Operation Research, 2000.
- C. T. Kelley, *Iterative Methods for Optimization*, SIAM Frontiers in Applied Mathematics, no 18.
- <http://www.siam.org/books/textbooks/download.php>
- M. Rivera, *Notas del Curso*, en <http://www.cimat.mx/~mrivera/optimizacion.html>

OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19OPE1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

En esta asignatura se introducen y analizan diversos métodos de optimización estocásticos, abarcando desde algoritmos de búsqueda local simple hasta metaheurísticas de trayectoria y poblacionales. Se analizan los fundamentos de las distintas metaheurísticas y se llevan a la práctica a través de la resolución de problemas complejos que no pueden ser abordados con métodos exactos. Se hace especial énfasis en los esquemas evolutivos.

TEMAS Y SUBTEMAS

Bloque 1: Metaheurísticas



Tema 1: Introducción

- Algoritmos exactos.
- Algoritmos aproximados
 - Heurísticas
 - Metaheurísticas
- Clasificaciones de metaheurísticas
- Evaluación de rendimiento
 - Exactos vs. aproximados
 - Tiempos vs. evaluaciones
 - Distribuciones del tiempo de búsqueda
 - Test estadísticos
 - Aplicaciones

Tema 2: Metaheurísticas de trayectoria

- Búsquedas locales básicas.
- Métodos tradicionales
- Inconvenientes
- Enfriamiento simulado
- Búsqueda tabú
- Búsqueda en entorno variable
- Métodos basados en trayectorias múltiples

Bloque 2: Computación evolutiva

Tema 3: Algoritmos evolutivos

- Historia
- Algoritmos genéticos
- Programación evolutiva
- Estrategias evolutivas
- Relación con otras metaheurísticas poblacionales.



Tema 4: Operadores en algoritmos evolutivos

- Selección de padres
- Mutación
- Cruce
- Reemplazamiento
- Esquemas de control y afinamiento de parámetros.

Tema 5: Diversidad y algoritmos de nicho

- Exploración e intensificación
- Gestión de la diversidad
- Optimización multi-modal

Tema 6: Algoritmos de estimación de distribuciones

- Principios fundamentales
- Inicio: *Population-Based Incremental Learning* (PBIL) y *Boltzmann estimation distribution algorithm*
- Discretos: *Bivariate Marginal Distribution Algorithm* (BMDA) y *dependence trees* de Chow-Liu
- Continuos: *Estimation of Multivariate Normal distribution Algorithm* (EMNA).

Tema 7: Evolución diferencial

- Conceptos básicos
- Estrategias de generación de hijos
- Esquemas adaptativos.

Tema 8: Otros conceptos

- Algoritmos meméticos
- Algoritmos evolutivos multi-objetivo
- Algoritmos evolutivos paralelos.



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de software de cómputo matemático

Lectura de publicaciones recientes

Desarrollo de un proyecto

Preparación de presentaciones

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas Semanales (30%)

Tareas Mensuales (30%)

Proyecto (30%)

Presentación de proyecto (10%)

BIBLIOGRAFÍA

- El-Ghazali Talbi. Metaheuristics: From Design to Implementation. Wiley, 2009.
- J. Dréo, A. Pétrowski, P. Siarry, E. Taillard. Metaheuristics for Hard Optimization.
- F. Glover, G. A. Kochenberger. Handbook of Metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, 2003.
- Michel Gendreau, Jean-Yves Potvin. Handbook of Metaheuristics. Springer, 2010.
- S. Luke. Essential of Metaheuristics. 2013.
- B. Melián, J.A. Moreno Pérez, J.M. Moreno Vega. Metaheurísticas: un visión global. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial 19 pp. 7-28, 2003.
- E. Eiben, J. E. Smith. Introduction to Evolutionary Computing. Springer, 2003.
- M. Črepinsêk, S. Liu, M. Mernik. Exploration and Exploitation in Evolutionary Algorithms: A Survey. ACM Computing Surveys, Vol. 45 (3), 2013.
- T. Bäck. Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms. Oxford University Press, 1996.
- M. Mitchell. An Introduction to Genetic Algorithms, MIT Press, 1999.
- Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer, 1996.
- F. J. Lobo, C. F. Lima, Z. Michalewicz. Parameter Setting in Evolutionary Algorithms. Springer, 2007.
- Z. Michalewicz, D. Fogel. How to Solve It: Modern Heuristics. Springer, 2000.



- P. Larrañaga, J. A. Lozano. Estimation of Distribution Algorithms, Springer, 2002.
- K. Price, R. Storn, J. Lampinen. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. Springer, 2005.
- E. Alba. Parallel Metaheuristics: A New Class of Algorithms. Wiley, 2005.
- Coello, G. B. Lamont, D. Van Veldhuizen. Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems. Springer, 2007.
- F. Neri, C. Cotta, P. Moscato. Handbook of Memetic Algorithms. Springer, 2012.

PROCESAMIENTO DE SEÑALES I

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19SIG1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El objetivo de este curso es el de proporcionar al estudiante tanto las bases teóricas como las herramientas computacionales fundamentales para el procesamiento digital de imágenes. Además de las exposiciones teóricas, el estudiante se familiarizará con ciertas herramientas que se han desarrollado para este propósito: una "Calculadora de imágenes" y una biblioteca de funciones en el lenguaje de programación C.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Introducción

- a. Imágenes digitales en grises y color
- b. Librería CImg para procesamiento de imágenes en C++
- c. Librería Eigen3 para álgebra lineal en C++



II. Transformaciones puntuales

- a. Operaciones aritméticas
- b. Funciones de transferencia de tonos
- c. Formalización del rango dinámico

III. Filtros lineales

- a. Operadores lineales
- b. Invariancia bajo translación
- c. Convolución y convolución circular. Propiedades
- d. Convolución normalizada
- e. Convolución lógica y morfología matemática
- f. Filtros Separables

IV. El dominio de la frecuencia

- a. Exponenciales complejas y sistemas lineales
- b. Transformada de Fourier. Propiedades
- c. Transformada discreta y transformada rápida de Fourier
- d. Teorema del muestreo
- e. Filtros en el dominio de la frecuencia
- f. Transformada de Fourier local y filtros de cuadratura

V. Procesamiento de Imágenes con filtros lineales

- a. Suavizadores
- b. Filtros direccionales
- c. Derivadas Gaussianas
- d. Espacio de escalas y pirámides de proceso
- e. Detectores de bordes
- f. Patrones de franjas y fase local



VI. Filtros no-lineales

- a. Operadores no-lineales basados en filtros lineales
- b. Operadores de ventana: filtros de mediana y varianza local
- c. Autómatas celulares

VII. Regularización y modelos de partículas y resortes

- a. Resortes L2 y funcionales cuadráticas
- b. Algoritmos para minimizar funcionales cuadráticas:
 - Descenso de gradiente
 - Gauss-Seidel
 - Descenso Newtoniano
 - Gradiente conjugado
- c. Difusión: isotrópica y anisotrópica
- d. Resortes L1
- e. Partículas con estado complejo y filtros de cuadratura
- f. Filtros adaptables
- g. Resortes L0 y modelo de Ising
- h. Recocido simulado y algoritmo *Iterated Conditional Modes* (ICM)

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

- Tareas cada clase, de las cuales deberá entregarse al menos el 90%.
Ponderación: 50%
- Una tarea (proyecto) especial: 20%
- Exámenes (parciales y final): 30%

BIBLIOGRAFÍA



- B. Jahne. *Digital image processing*. SpringerVerlag, 1991.
- Oppenheim y R.W. Schafer. *Discrete-time signal processing*. Prentice-Hall, 1989.
- R.N. Bracewell. *The Fourier transform and its applications*. McGraw-Hill, 1978.
- R.C. Gonzales y P. Wink. *Digital image processing*. Addison Wesley.

PROCESAMIENTO DE SEÑALES II

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19SIG2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El objetivo de este curso es estudiar unas técnicas avanzadas para el procesamiento de señales discretas en una y dos dimensiones.

TEMAS Y SUBTEMAS

- I. La transformada Z**
 - a. Transformadas directa e inversa
 - b. Función de sistema
 - c. Teoremas y propiedades
 - d. Transformada en Z en 2 dimensiones

- II. Técnicas de diseño de filtros digitales**



- a. Diseño de filtros con Respuesta al Impulso Infinita (RII) a partir de filtros analógicos
- b. Ejemplos de transformación analógico-digital
- c. Técnicas computacionales para diseño de filtros RII
- d. Filtros digitales con Respuesta al Impulso Finita (RIF)
- e. Diseño de filtros RIF usando ventanas
- f. Técnicas computacionales para diseño de filtros RIF
- g. Comparación entre diseños RII y RIF

III. Transformada discreta de Hilbert

- a. Condiciones suficientes para secuencias causales
- b. Condición de fase mínima
- c. Transformada de Hilbert y transformada discreta de Fourier
- d. Transformada de Hilbert para secuencias complejas

IV. Señales aleatorias

- a. Procesos aleatorios en tiempo discreto
- b. Promedios
- c. Representaciones espectrales de señales con energía infinita
- d. Sistemas lineales y señales aleatorias

V. Proceso homomórfico de señales

- a. Superposición generalizada
- b. Sistemas homomórficos multiplicativos
- c. Proceso homomórficos de imágenes
- d. Sistemas homomórficos para convolución
- e. Propiedades del Cepstrum complejo
- f. Implementaciones
- g. Ejemplos de aplicaciones



VI. Estimación del espectro de potencia

- a. Introducción a la teoría de estimación
- b. Estimadores de auto-covarianza
- c. Periodogramas y estimadores del espectro de potencia
- d. Estimadores suavizados
- e. Estimadores de la covarianza cruzada y el espectro cruzado
- f. Transformada rápida de Fourier y estimación espectral
- g. Ejemplos

VII. Reconstrucción a partir de proyecciones

- a. Series focales
- b. Reconstrucción espacial
- c. Reconstrucción por filtrado inverso
- d. Microscopía de barrido confocal
- e. Reconstrucción de imágenes tomográficas
- f. Transformada de radón y teorema de la rebanada
- g. Retroproyección filtrada
- h. Reconstrucción algebraica

VIII. Proceso de secuencias de imágenes

- a. Movimiento en el dominio de Fourier
- b. Filtrado de velocidades: filtros de proyección y filtros de Gabor
- c. Movimiento en una dimensión: método tensorial; filtros de cuadratura; métodos de fase
- d. Movimiento en dos dimensiones: filtros de cuadratura; métodos sensoriales

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios



CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

- Tareas cada clase: 50%
- Una tarea (proyecto) especial: 20%
- Exámenes (parciales y final): 30%

BIBLIOGRAFÍA

- J.G. Proakis and D.G. Manolakis. *Digital Signal Processing*. Prentice Hall, 2006.
- A.V. Oppenheim, R. W. Schaffer. *Discrete-time signal processing*. Prentice Hall, 1999, 2nd edition.
- S. Mitra. *Digital Signal Processing: a Computer-Based Approach*. McGraw-Hill Education, 4th edition, 2010.

PROGRAMACIÓN DE REDES DE COMUNICACIÓN

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19RED1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso ofrece una introducción a las redes de computadora y un estudio detallado de la programación de redes y protocolos de comunicación más importantes del Internet (TCP y UDP). Se hace énfasis en técnicas avanzadas de programación en C/C++ tales como comunicación entre procesos, señales, memoria compartida, y entrada/salida multiplexada, útiles para el diseño y desarrollo de programas distribuidos (comunicación de procesos) sobre el Internet.

TEMAS Y SUBTEMAS



I. Introducción a las redes de computadoras

- a. Modelo de referencia OSI
- b. Modelo de referencia TCP/IP

II. Tecnologías de redes de computadoras

- a. *Ethernet*
- b. *Token Ring*
- c. *Fiber Distributed Data Interface (FDDI)*
- d. Tecnologías WAN (ISDN, DSL, T1, T3)
- e. Redes inalámbricas

III. Capa de la red IP

- a. Enrutamiento
- b. *Classless InterDomain Routing (CIDR)*
- c. Protocolo de Control ICP

IV. Capa de transporte TCP/IP

- a. Protocolo TCP/IP
- b. Protocolo UDP

V. Programación de sockets

- a. *Sockets TCP*
 - Estructuras de direccionamiento
 - Proceso de conexión
 - Lectura y escritura (L/E) de *sockets*
 - Servidores concurrentes
 - L/E multiplexada
 - L/E asíncrona
- b. *Sockets UDP*
- c. Protocolo *Domain Name Server (DNS)*



d. Comunicación multipunto

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

2 exámenes 35%

Tareas 30%

Proyecto Final 35%

BIBLIOGRAFÍA

- R. Stevens. *Unix Network Programming*. Vol. 1 Prentice-Hall, 1998.
- Tenenbaum. *Computer Networks*. Prentice-Hall, 3rd. Ed 1996.
- W. Gay. *Advanced Unix Programming*. 2000 SAMS.
- D. Bertsekas y R. Gallager. *Data Networks*. 2nd Ed., Prentice-Hall 1992.
- R. Stevens y G. Wright. *TCP/IP Illustrated 3 Volume Set*. Addison Wesley Professional, 1st edition (January 15, 2002).



PROGRAMACIÓN Y ALGORITMOS II

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19PRG2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Esta materia trata problemas de algoritmia avanzada para alcanzar altos niveles de eficiencia en programación. Toma como soporte educativo principal la base de datos de problemas de tipo ACM, con el fin de que el estudiante pueda rápidamente identificar un tipo de problema computacional, así como programar una solución eficiente en tiempo y memoria.

TEMAS Y SUBTEMAS



I. Introducción: *tips* generales en concursos de tipo ACM

II. Estructuras de datos avanzadas

- a. Repaso: estructuras de datos lineares. Arreglos estáticos, dinámicos; listas ligadas; pilas; colas; arreglos de bits; `std::vector`, `std::deque`, `std::list`, `std::stack`; `std::queue`; `std::bitset`
- b. Estructuras de datos no-lineares:
 - Árboles binarios balanceados: árboles AVLs, árboles RB; `std::map` y `std::set`
 - B-trees
 - Colas de prioridad y montículos. `std::priority_queue`
 - Montículos binomiales; montículos de Fibonacci
 - Tablas de hash. `std::unordered_map`
- c. Estructuras de datos para grafos
- d. Estructuras de datos para conjuntos disjuntos
- e. Árbol de segmento
- f. *Quadtrees* y *Octrees*
- g. Árbol de Fenwick
- h. Estructuras dedicadas a cadenas de caracteres: tries
- i. Estructuras de datos persistentes

III. Paradigmas de resolución de problemas.

- a. Búsqueda exhaustiva.
- b. Divide y vencerás
- c. Programación dinámica

IV. Algoritmos sobre grafos

- a. Recorridos de grafos
- b. Árboles generadores mínimos
- c. Caminos más cortos, nodo fuente único
- d. Caminos más cortos, nodos fuentes múltiples
- e. Flujos máximos
- f. Pasos en grafos particulares

V. Resolución de problemas matemáticos



- a. Manejo de los enteros grandes
- b. Combinatoria
- c. Problemas relacionados a la teoría de números
- d. Búsqueda de ciclos
- e. Teoría de juegos
- f. Potencias de matrices

VI. Procesamiento de cadenas

- a. Procesamiento clásicos
- b. Emparejamiento de cadenas
- c. Programación dinámica para el procesamiento de cadenas
- d. Manejo de los tries (ver II.H)

VII. Geometría computacional

- a. Representación de objetos geométricos
- b. Representación de polígonos
- c. Algoritmos involucrando polígonos

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Diseño de algoritmos para la resolución de problemas

Programación de esquemas para la resolución problemas

Uso de bases de datos de problemas

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Exámenes parciales: 40%

Tareas: 60 %

BIBLIOGRAFÍA

- S. Halim and F. Halim. *Competitive Programming*. <http://cpbook.net/>
- T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, C. Stein. *Introduction to Algorithms (3rd ed.)*. MIT Press and McGraw-Hill, 2009.



RECONOCIMIENTO ESTADÍSTICO DE PATRONES I

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19REC1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso se sitúa en el área fronteriza entre el análisis y procesamiento de datos, análisis estadístico multivariado, aprendizaje máquina y cómputo estadístico. Nos enfocamos a la exploración y la modelación de datos multivariados; estudiamos, discutimos y aplicamos los conceptos y métodos más importantes para problemas de visualización, clasificación y predicción.



Tomamos los ejemplos de diferentes áreas de aplicación según el interés de los estudiantes (desde procesamiento de imágenes hasta genética).

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Métodos exploratorios para datos multivariados.

- a. Visualización y resúmenes de la dependencia entre variables.
- b. Métodos de proyección, *Principal Component Analysis* (PCA), *Multidimensional scaling*.
- c. Algunos algoritmos de exploración de minería de datos.

II. Métodos de agrupamiento.

- a. Agrupamiento jerárquico.
 - medias y extensiones.

III. Métodos de predicción.

- a. Métodos geométricos vs métodos probabilísticos.
- b. Clasificador Bayesiano óptimo, análisis discriminante lineal.
- c. El enfoque basado en márgenes, máquinas de soporte vectorial.
- d. Regresión logística.
- e. Redes neuronales tipo *feedforward*.
- f. Métodos de ensamblaje: *random forests* y *boosting*.
- g. Extensiones usando transformaciones implícitas (*kernel trick*).
- h. Regularización con norma L1, L2.

IV. Tópicos selectos de métodos de álgebra matricial y uso en Big Data.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

Desarrollo de proyectos

Análisis del estado del arte

Lectura de publicaciones especializadas



CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN.

Tareas & proyecto (70%) y dos exámenes (30%).

BIBLIOGRAFÍA

- G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani. *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R*. Springer, 2013.
- C. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning*, Springer, 2007
- R. Duda, P. Hart, D. Stork. *Pattern classification*. Wiley, 2000.
- Izenman. *Modern Multivariate Statistical Techniques: Regression, Classification, and Manifold Learning*. Springer. 2008.
- T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, Springer, 2013.

RECONOCIMIENTO ESTADÍSTICO DE PATRONES II

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19REC2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso cubre temas avanzados y de frontera del análisis de datos y de reconocimiento estadístico de patrones.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Tópicos selectos de modelos lineales

- Modelos lineales para dimensiones altas ($p \gg n$)



- *Partial least squares* y análisis de correlación canónica

II. Tópicos selectos de métodos para datos complejos

- Métodos basados en *kernels*
- Métodos basados en diccionarios
- Métodos para análisis de grafos

III. Tópicos selectos de modelos con variables latentes

- Métodos basados en factorización matricial
- Métodos probabilísticos basados en variables latentes

IV. Tópicos selectos de métodos para Big Data.

- Algoritmos para flujos de data
- Métodos distribuidos e implementaciones en la nube
- Aprendizaje profundo

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Desarrollo de proyectos

Análisis del estado del arte

Lectura de publicaciones especializadas

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN.

Tareas & proyecto (70%) y dos exámenes (30%).

BIBLIOGRAFÍA

- K. Murphy, *Machine learning: a probabilistic perspective*, MIT Press, 2012
- T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, *The elements of statistical learning*, Springer, 2009



- T. Hastie, R. Tibshirani, M. Wainwright, *Statistical learning with sparsity*, Chapman & Hall, 2015
- C. Giraud, *Introduction to High-Dimensional Statistics*, Chapman & Hall, 2015
- P. Bühlmann, P. Drineas, M. Kane, M. van der Laan, *Handbook of Big Data*, Chapman & Hall, 2016

ROBÓTICA I

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19ROB1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Los sistemas automáticos se caracterizan por estar constituidos de un ciclo percepción-decisión-acción. La planificación de movimientos corresponde al componente de decisión dentro de un sistema flexible y autónomo.

Esta temática surge durante las dos pasadas décadas en el campo de la robótica, sin embargo, ha encontrado aplicaciones en otras áreas como las gráficas por computadora, los vídeo juegos o la manufactura. El tipo de preguntas que se tratan de resolver al abordar esta temática son:



- ¿Cómo debe moverse un robot en un espacio con obstáculos para evitar colisiones y alcanzar su meta?
- ¿Es posible retirar una pieza de un ensamble sin retirar otras?
- ¿Cuántas maniobras debe de realizar un automóvil para estacionarse en un lugar estrecho?
- ¿Pueden ser automatizados ciertos movimientos de los personajes de un juego de vídeo?
- ¿Cuál es la estrategia de movimiento para encontrar y seguir un blanco móvil?

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Introducción

II. Navegación: Diferentes enfoques algoritmos insecto (bug algorithms).

III. El espacio de configuraciones: Una formulación geométrica del problema de la mudanza del piano.

- a. Conceptos topológicos básicos
- b. Espacios topológicos
- c. Variedades
- d. Trayectorias en espacios topológicos

IV. Representaciones geométricas y transformaciones

- a. Modelos geométricos
- b. Modelos Poligonales
- c. Transformaciones de cuerpos rígidos
- d. Transformaciones de cadenas cinemáticas

V. Planificación de movimientos

- a. Presentación teórica de métodos completos
- b. Métodos probabilísticas
- c. Mapas de caminos probabilísticos
- d. Árboles aleatorios de exploración rápida



VI. Detección de colisión

- a. Introducción
- b. Diferentes métodos de detección de colisión

VII. Sistemas Noholónicos

- a. Modelos Diferenciales
- b. Campos Vectoriales
- c. Los corchetes de Lie
- d. Integribilidad y Controlabilidad

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Implementación de simulaciones

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

1 examen final 45%

Proyecto Final 40

Tareas 15 %

BIBLIOGRAFÍA

- JC Latombe, "Robot Motion Planning", Kluwer Academic Press, 1991
- JP Laumond, "Robot Motion Planning and Control", Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>).



- Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations, H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, MIT Press, Boston, 2005
- S. M. LaValle, Planning Algorithms, Cambridge University Press, available freely at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/>, 2006.

ROBÓTICA II

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19ROB2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Esta materia profundiza el tema de planificación de movimientos en robótica, describiendo las principales herramientas matemático-computacionales necesarias para abordar la planificación de caminos óptimos, la planificación con restricciones de sensado, la búsqueda de objetos o el problema de persecución-evasión.



TEMAS Y SUBTEMAS

I. Introducción

II. Teoría de sistemas y técnicas analíticas

- a. Modelos diferenciales
- b. Campos vectoriales
- c. Los corchetes de Lie
- d. Accesibilidad
- e. Controlabilidad en pequeño tiempo (STLC)
- f. Estabilidad
- g. Un planificador de movimientos para robots no-holonómicos

III. Control óptimo

- a. Programación dinámica
- b. Principio del máximo
- c. Programación dinámica en estados con información imperfecta

IV. Planificación de movimientos bajo restricciones de sensado

- a. Visibilidad
- b. Descomposiciones celulares
- c. Navegación basada en sensado
- d. Marcas visuales

V. Filtros de Kalman

- a. Estimación probabilística
- b. Observador simple
- c. Observabilidad en sistemas lineales



- d. Filtro de Kalman para Localización y Mapeo Simultáneos (SLAM)
- e. Filtro de Kalman Extendido (EKF)

VI. Exploración y construcción de mapas

- a. Diferentes representaciones
- b. Técnicas de exploración

VII. Búsqueda de objetos

- a. Formulación combinatoria
- b. Formulación continua

VIII. Persecución-evasión

- a. Métodos Montecarlo
- b. Algoritmos completos
- c. Restricciones cinemáticas

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Examen final 45%

Proyecto Final 40%

Tareas 15 %

BIBLIOGRAFÍA



- J.P. Laumond, *Robot Motion Planning and Control*, Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>)
- *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations*. H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, MIT Press, Boston, 2005
- S. M. LaValle, *Planning Algorithms*, Cambridge University Press, available freely at <http://msl.cs.uiuc.edu/planning/> 2006.
- D.P. Bertsekas, *Dynamic Programming and Optimal Control*. Vol I y II, Athena Scientific, second edition.

ROBÓTICA PROBABILÍSTICA

CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19ROP1



OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El objetivo de esta clase es formar a los alumnos al uso de técnicas de filtrado Bayesiano tal como se les conoce en robótica, y estudiar unos casos particulares en los cuales estas técnicas están particularmente adecuadas, como el de la localización de robots móviles o el de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping).

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Bases teóricas

- a. Sistemas lineales
- b. Probabilidades
- c. Estimación por mínimos cuadrados

II. Filtros Bayesianos

- a. Derivación de las ecuaciones del filtro
- b. Propagación de estados y covarianzas
- c. Filtro Bayesiano discreto
- d. Filtro de Kalman (tiempo discreto)
- e. Filtro de Kalman (tiempo continuo)
- f. Filtro de Kalman Extendido (EKF)
- g. Filtro de Kalman *unscented*
- h. Filtro de partículas
- i. Suavizado óptimo
- j. Filtro H-infinity

III. Localización de robots

- a. Modelos de movimiento con incertidumbre
- b. Modelos de percepción con incertidumbre
- c. Localización con filtros de Kalman
- d. Localización con filtros de partículas



IV. Localización y Mapeo Simultáneos

- a. El problema de Localización y Mapeo Simultáneo (SLAM)
- b. SLAM con filtros de Kalman (EKF-SLAM)
- c. El algoritmo Fast-SLAM
- d. SLAM visual y aplicaciones

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de problemas

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 30%.

Examen final: 25%.

Proyecto: 30%.

Presentación de un artículo en clase: 15%.

BIBLIOGRAFÍA

- D. Simon. *Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches*, Wiley.
- S. Thrun. *Probabilistic Robotics*. MIT Press, 2005.

VISIÓN COMPUTACIONAL I

CICLO

CLAVE DE LA ASIGNATURA



OPTATIVA

DC19VIS1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Este curso pretende dar los fundamentos de la Visión Computacional, desde las herramientas geométricas necesarias para modelar la formación de imágenes y la reconstrucción 3D, hasta las herramientas de procesamiento de imágenes, de probabilidades y de optimización requeridas para resolver problemas de tipo reconocimiento de objeto, segmentación de imágenes, colorización...

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Geometría de cámaras

- a. Modelos geométricos de cámaras
- b. Geometría proyectiva
- c. Calibración de cámaras

II. Procesamiento de imágenes de bajo nivel

- a. Color y textura
- b. Filtros lineales y no-lineales
- c. Detección de bordes
- d. Detección de puntos característicos

III. Geometría de múltiples vistas

- a. Geometría de dos vistas
- b. Geometría de tres vistas
- c. Reconstrucción proyectiva, afín, Euclidiana
- d. Estereo-visión

IV. Rastreo

- a. Elementos generales del problema de rastreo



- b. Rastreo por filtros estocásticos
- c. Rastreo por detección

V. Flujo óptico

- a. Técnicas densas
- b. Técnicas ralas

VI. Segmentación de imágenes

- a. Segmentación por agrupamiento
- b. Segmentación por técnicas probabilísticas
- c. *Graph cuts*

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 40%; Exámenes (2): 30%; Presentación Final: 30%.

BIBLIOGRAFÍA

- D. Forsyth and J. Ponce. *Computer Vision, a Modern Approach*. Prentice Hall, 2003.
- R. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2003.
- R. Szeliski. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2010.
- J.E. Solem. *Programming Computer Vision with Python*. O'Reilly, 2012.

VISIÓN COMPUTACIONAL II



CICLO
OPTATIVA

CLAVE DE LA ASIGNATURA
DC19VIS2

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso Visión Computacional II explora temas avanzados de visión por computadora, tanto a bajo nivel (filtrado no-lineal, algoritmos avanzados de *inpainting*, de segmentación...), como a nivel intermedio (reconstrucción de escenas, *bundle adjustment*) o a alto nivel (reconocimiento de objetos, aprendizaje profundo).

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Visión computacional bajo nivel

- a. Recordatorios de filtrado lineal
- b. Filtrado no-lineal
- c. Técnicas variacionales en visión por computadora
- d. Aplicaciones: *inpainting*
- e. Aplicaciones: segmentación

II. Visión computacional de nivel intermedio

- a. Recordatorios de geometría de múltiples vistas
- b. Estimación de la matriz fundamental
- c. Auto-calibración
- d. Estructura a partir de movimiento
- e. *Bundle adjustment*

III. Visión computacional alto nivel

- a. Técnicas de reconocimiento: Objetos específicos



- b. Técnicas de reconocimiento: Bolsas de Palabras
- c. Técnicas de reconocimiento: Algoritmos por partes
- d. Técnicas de reconocimiento: *Boosting*
- e. Introducción al Aprendizaje Profundo

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Desarrollo de proyectos

Lectura de publicaciones especializadas

Preparación de presentaciones

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas: 40%; Exámenes (2): 30%; Presentación Final: 30%

BIBLIOGRAFÍA

- D. Forsyth and J. Ponce. *Computer Vision, a Modern Approach*. Prentice Hall, 2003.
- R. Hartley and A. Zisserman. *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Cambridge University Press, 2003.
- R. Szeliski. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2010.
- J.E. Solem. *Programming Computer Vision with Python*. O'Reilly, 2012.