

MAESTRIA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN COMPUTACIÓN Y MATEMÁTICAS INDUSTRIALES

Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.

Plan de estudios 2016



VIGENCIA

Título de licenciatura en alguna de las ciencias exactas y naturales, o de ingenierías en un área afín a las Ciencias de la Computación.

ANTECEDENTES ACADÉMICOS DE INGRESO

MODALIDAD	ESCOLARIZADA
DURACIÓN DEL CICLO	4 semestres de 16 semanas efectivas de clase 1 verano de 8 semanas efectivas de clase
CLAVE DEL PLAN DE ESTUDIOS	2016

OBJETIVOS GENERALES DEL PLAN DE ESTUDIOS

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) ofrece una formación sólida para realizar investigación de frontera y resolver problemas técnicos sofisticados mediante la aplicación de métodos computacionales y la modelación matemática. Asimismo, el plan de estudios contempla cursos teóricos y prácticos así como un trabajo de tesis que preparan a los egresados para desempeñarse como profesionistas altamente capacitados para resolver problemas en el sector productivo, colaborar con equipos multi-disciplinarios en la solución de los mismos, realizar labores de docencia en ambientes académicos y/o emprender estudios de doctorado y dedicarse a la investigación. El programa responde a una demanda cada vez más fuerte en México de profesionistas y académicos con una formación sólida teórico-práctica en Matemáticas y Ciencias de la Computación y en particular en Métodos Numéricos, Optimización, Estadística y Programación.

RESEÑA HISTÓRICA

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) se creó como programa uni-sede en enero de 1997, con el objetivo de formar recursos humanos de alto nivel en Ciencias de la Computación y Matemáticas Industriales. A partir de 1998 fue incorporada en el Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC). Después de varios años de crecimiento, obtuvo en 2013 el **nivel de Competencia Internacional** de dicho Padrón.

PERFIL DEL INGRESO

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) está orientada a estudiantes interesados en el área de Ciencias de la Computación que han cumplido con sus estudios de licenciatura en alguna de las ciencias exactas y naturales o de ingenierías.

Los candidatos al ingreso deben (1) tener conocimientos básicos en Álgebra Lineal, Cálculo Diferencial e Integral, Geometría del plano, Programación y Algoritmos, los cuales serán evaluados en un examen de admisión y (2) tener fuerte motivación para la resolución de problemas matemático-computacionales en entornos industriales y/o en la investigación en Ciencias de la Computación.

PERFIL DEL EGRESADO

La Maestría en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales del CIMAT (MCC) forma maestros en ciencias altamente cualificados y competitivos, con sólidas bases en **programación y modelación estadística y matemática**, capacidad de **análisis de problemas con un enfoque matemático-computacional**, capacidad de **plantear soluciones informáticas adecuadas al problema tratado**, y capacidad de **comunicación con un equipo multidisciplinario**.

La MCC forma a dos tipos de egresados: (1) académicos con la capacidad de contribuir y realizar investigación de vanguardia en las ciencias computacionales o (2) profesionistas aptos para la resolución de problemas técnicos sofisticados en un entorno industrial.

Como **académico**, un egresado de este programa deberá ser capaz de:

- Innovar, identificar y formular problemas en su campo de estudio.
- Realizar actividades docentes.
- Continuar sus estudios de doctorado en instituciones nacionales y del extranjero de alto nivel.

Como **profesionista en entorno industrial**, un egresado de este programa deberá ser capaz de:

- Aplicar con rigor científico los métodos de modelación matemática enseñados en la Maestría, en el contexto de la resolución de problemas industriales.
- Proponer soluciones computacionales eficientes para la resolución de dichos problemas, usando en particular las últimas tecnologías disponibles en cuanto al uso del poder computacional (por ejemplo, cómputo paralelo).
- Asesorar y coordinar el desarrollo y la implementación de soluciones a proyectos de resolución de problemas industriales.

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

Semestr e	LISTA DE ASIGNATURAS O UNIDADES DE APRENDIZAJE	CLAVE	SERIACIÓN	HORAS		CRÉDITOS	INSTALACIONES A= Aula L = Laboratorio T=Taller O=Otros
				CON DOCENTE	INDEPEN DIENTES		
Sem. 1	Análisis de Datos	C16ADD1	-	48	96	9	A, L
	Métodos Numéricos	C16NUM1	-	48	96	9	A, L
	Programación y Algoritmos I	C16PRG1	-	48	96	9	A, L
Sem. 2	Optimización I	C16OPT1	C16NUM1, C16PRG1	48	96	9	A, L
	Optativa I (Básica de Especialización)						
	Optativa II						
	Optativa III						
Verano	Proyecto Tecnológico I	C16TEC1	-	15	81	6	O, L
Sem. 3	Seminario de tesis I	C16TES1	-	30	114	9	O, L
	Optativa IV						
Sem. 4	Seminario de tesis II	C16TES2	C16TES1	30	114	9	O, L

TOTAL 267	TOTAL 693	TOTAL 60
---------------------	---------------------	---------------------------

ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN

El programa ofrece tres áreas de especialización:

- Modelación, Optimización y Cómputo Paralelo (MOCP).
- Visión, Imágenes y Análisis de Datos (VIAD).
- Robótica y Sistemas Inteligentes (RSI).

Para cada área de especialización, se proponen materias Básicas de Especialización, que se toman en “Optativa I” en la estructura presentada anteriormente, así como un conjunto de materias optativas, que pueden ser elegidas del conjunto de básicas de especialización o del conjunto general de materias optativas. Las materias Básicas de Especialización para cada área de especialización son las siguientes:

- En MOCP: C16ELF1, C16OPE1, C16MOD1
- En VIAD: C16SIG1, C16VIS1, C16REC1
- En RSI: C16ROB1, C16CTR1

En la tabla siguiente, se presenta la lista de los cursos optativos propuestos en el Programa así como la(s) área(s) de especialización asociada(s), para los cuales son materias optativas o básicas (esas últimas siendo indicadas con un “+”). El símbolo “-” indica que el curso no está asociado a un área de especialización particular, mientras el símbolo “*” indica para los Temas Selectos que, en función del tema específico del curso y de su temario, el Comité Académico del Posgrado de Ciencias de la Computación podrá decidir asociarle una o varias áreas de especialización. En estos casos, será como asignatura optativa de área y no como asignatura básica de especialización. Además, para cada materia se incluye su clave, seriación (materias requeridas para cursar la asignatura), las horas asociadas a la misma, el número de créditos, y la información sobre las instalaciones requeridas.

El estudiante elegirá al inicio del tercer semestre un área de especialización. Para elegir un área de especialización dada, el estudiante deberá: (1) haber cursado en el semestre 2 una materia Básica de Especialización asociada a esta área y (2) cursar o haber cursado al menos una Optativa de Especialización en semestre 2 o 3, en función del área elegida.

Ejemplo 1: José cursa las 4 materias obligatorias de los primeros dos semestres. Además, en el semestre 2, toma las 3 materias siguientes: Reconocimiento Estadístico de Patrones I (C16REC1), Elemento Finito I (C16ELF1), Visión Computacional I (C16VIS1). En el periodo de verano, realiza el Proyecto Tecnológico I (C16TEC1). Al inicio del tercer semestre, puede elegir entre el área de especialización VIAD (para la cual ya tiene una materia Básica y una Optativa) o el área de especialización MOCP (para la cual ya tiene una materia Básica). Opta por el área VIAD y cursa finalmente Programación y Algoritmos II (C16PRG2) en el semestre 3.

Ejemplo 2: María cursa las 4 materias obligatorias de los primeros dos semestres. Además, en el semestre 2, toma de optativas las 3 materias siguientes: Optimización Estocástica (C16OPE1), Procesamiento de Señales I (C16SIG1), Robótica I (C16ROB1). En el periodo de verano, realiza el Proyecto Tecnológico I (C16TEC1). Al inicio del tercer semestre, puede elegir entre las áreas de especialización MOCP, VIAD y RSI. Se decide por MOCP (para la cual tiene una materia Básica) y cursa Cómputo Evolutivo (C16EVO1) en el semestre 3.

ASIGNATURAS O UNIDADES DE APRENDIZAJE OPTATIVAS	CLAVE	SERIACIÓN	HORAS		CRÉDITOS	INSTALACIONES A= Aula L = Laboratorio T=Taller O=Otros	AREA DE ESPECIALIZACIÓN
			CON DOCENTE	INDEPENDIENTES			
Cómputo Evolutivo	C16EVO1	C16OPE1	48	96	9	A, L	MOCP
Cómputo Paralelo	C16PAR1		48	96	9	A, L	-
Control I	C16CTR1		48	96	9	A, L	RSI+
Control II	C16CTR2	C16CTR1	48	96	9	A, L	RSI
Elemento Finito I	C16ELF1	C16NUM1	48	96	9	A, L	MOCP+
Elemento Finito II	C16ELF2	C16ELF1	48	96	9	A, L	MOCP
Geometría Computacional	C16GCO1	C16PRG1	48	96	9	A, L	-
Gráficas por Computadora	C16GCC1		48	96	9	A, L	VIAD
Inteligencia Artificial	C16INA1		48	96	9	A, L	-
Métodos Numéricos en Paralelo	C16MNP1		48	96	9	A, L	MOCP
Modelación numérica	C16MOD1		48	96	9	A, L	MOCP+
Modelos Gráficos Probabilistas	C16MGP1		48	96	9	A, L	-
Optimización II	C16OPT2	C16OPT1	48	96	9	A, L	MOCP
Optimización Estocástica	C16OPE1		48	96	9	A, L	MOCP+
Procesamiento de Señales I	C16SIG1		48	96	9	A, L	VIAD+
Procesamiento de Señales II	C16SIG2	C16SIG1	48	96	9	A, L	VIAD
Programación de Redes de Comunicación	C16RED1	C16PRG1	48	96	9	A, L	-
Programación y Algoritmos II	C16PRG2	C16PRG1	48	96	9	A, L	-
Reconocimiento Estadístico de Patrones I	C16REC1		48	96	9	A, L	VIAD+
Reconocimiento Estadístico de Patrones II	C16REC2		48	96	9	A, L	VIAD

Robótica I	C16ROB1		48	96	9	A, L	RSI+
Robótica II	C16ROB2	C16ROB1	48	96	9	A, L	RSI
Robótica Probabilística	C16ROP1	C16ROB1	48	96	9	A, L	RSI
Visión Computacional I	C16VIS1		48	96	9	A, L	VIAD+, RSI
Visión Computacional II	C16VIS2	C16VIS1	48	96	9	A, L	VIAD, RSI
Temas de Investigación en Análisis de Datos	C16TID1		48	96	9	A, L	*
Temas de Investigación en Visión	C16TIV1		48	96	9	A, L	*
Temas de Investigación en Análisis y Procesamiento de Imágenes I	C16TPI1		48	96	9	A, L	*
Temas de Investigación en Análisis y Procesamiento de Imágenes II	C16TPI2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Análisis de Datos	C16TAD1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Aprendizaje Maquina I	C16TAM1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Aprendizaje Maquina II	C16TAM2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Computación I	C16TCO1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Computación II	C16TCO2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Estadístico	C16TCE1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Evolutivo I	C16TEV1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Evolutivo II	C16TEV2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Cómputo Paralelo I	C16TCP1		48	96	9	A, L	*

Temas Selectos de Cómputo Paralelo II	C16TCP2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Ecuaciones Diferenciales	C16TED1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Geometría	C16TGE1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Imágenes Biomédicas	C16TIB1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Inteligencia Artificial I	C16TIA1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Inteligencia Artificial II	C16TIA2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas I	C16TMB1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas II	C16TMB2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas Aplicadas I	C16TMA1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Matemáticas Aplicadas II	C16TMA2		48	96	9	A, L	*
Temas selectos de Modelación Numérica I	C16TMN1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Modelación Numérica II	C16TMN2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Optimización I	C16TOP1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Optimización II	C16TOP2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Probabilidad y Estadística I	C16TPE1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Probabilidad y Estadística II	C16TPE2		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Procesamiento de Señales	C16TPS1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Programación y Algoritmos I	C16TPA1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Programación y Algoritmos II	C16TPA2		48	96	9	A, L	*

Temas Selectos de Robótica I	C16TRO1		48	96	9	A, L	*
Temas Selectos de Robótica II	C16TRO2		48	96	9	A, L	*

NUMERO MINIMO DE HORAS QUE SE DEBERAN ACREDITAR EN LAS ASIGNATURAS OPTATIVAS, BAJO LA CONDUCCIÓN DE UN DOCENTE

192

NUMERO MINIMO DE CREDITOS QUE SE DEBERAN ACREDITAR EN LAS ASIGNATURAS OPTATIVAS

36



PROPUESTA DE EVALUACIÓN Y ACTUALIZACIÓN PERIODICA DEL PLAN DE ESTUDIOS

Los aspectos académicos del programa están a cargo del Comité Académico del Posgrado (CAP) de Ciencias de la Computación de CIMAT. Este comité tiene bajo su responsabilidad la planeación académica (establecer la lista de cursos optativos para cada semestre), la evaluación y la actualización periódica del plan de estudios. Sus decisiones se toman de manera colegiada, siguiendo los lineamientos definidos para los posgrados en Ciencias de la Computación y la normativa interna de CIMAT.

OPCIONES DE TITULACIÓN

Para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Computación y Matemáticas Industriales, la única opción de titulación requiere :

- Haber cubierto como mínimo un total de **96 créditos (60 obligatorios y 36 optativos)** del plan de estudios. Estos créditos comprenden **8 materias, un Proyecto Tecnológico y 2 Seminarios de Tesis.**
- Después de aprobar los Seminarios de Tesis I y II, presentar y aprobar ante un comité ad-hoc un examen de grado donde se expone el trabajo de tesis.
- Aprobar un examen de inglés, cuya modalidad es determinada por el Consejo de Programas Docentes de CIMAT.
- Atender en tiempo y forma **el procedimiento administrativo de graduación** que establece la Coordinación de Formación Académica de CIMAT.

Dr. José Antonio Stephan de la Peña Mena
Director General

ANÁLISIS DE DATOS

CICLO

SEMESTRE 1

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16ADD1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso cubre la base de la probabilidad y la estadística. En primer lugar se trata de aprender a usar los diferentes conceptos, aprender a reconocerlos en problemas, y aprender a dominar un lenguaje y cálculo apropiado para solucionar estos problemas.

Buscamos por preferencia ejemplos e ilustraciones del uso de probabilidad y estadística en problemas que surgen en el área de Ciencias de la Computación y en el análisis de datos. Enseñamos y usamos el lenguaje R como plataforma para el análisis de datos

TEMAS Y SUBTEMAS

Parte 1: Probabilidad

- **Conceptos básicos:** probabilidades, variables aleatorias, distribuciones (condicionales), momentos, independencia, regla de Bayes, variables multidimensionales, transformaciones de variables aleatorias, medidas de dependencia, teoremas de límite, simulación.
- **Ilustraciones** de lo anterior en aplicaciones en computación (análisis de algoritmos, algoritmos aleatorizados, análisis de lenguaje natural, etc.)

Parte 2: Análisis de datos y data science

- **Visualización y análisis exploratorio de datos;** conceptos generales de minería de datos, reconocimiento de patrones y aprendizaje máquina; técnicas principales de exploración y visualización de datos.
- Introducción a la **inferencia estadística;** pruebas de hipótesis, intervalos de confianza y estimaciones puntuales, métodos computacionalmente intensivos.

- **Modelación estadística y modelación predictiva**; introducción a la regresión lineal; ejemplos de métodos de predicción y clasificación.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales.
Resolución de ejercicios.
Desarrollo de proyectos.

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas semanales (40%)
Tres exámenes parciales (40%)
Dos tareas-proyectos (20%)

BIBLIOGRAFÍA

- J. Van Horebeek, Introducción a métodos estocásticos para Ciencias de la Computación, Notas propias, 2015.
- C. Grinstead & L. Snell. *Introduction to Probability*, AMS, 1998
- D. Nolan, D. Temple Lang. *Data Science in R: A Case Studies Approach to Computational Reasoning and Problem Solving*, Chapman and Hall, 2015.
- Mitzenmacher & Upfal. *Probability and Computing*, Cambridge U.P., 2005
- Dekking et al. *A Modern Introduction to Probability and Statistics*. Springer, 2005
- K.S. Trivedi. *Probability and Statistics with Reliability, Queueing and Computer Science Applications*, Wiley, 2002.
- Material de varios cursos en línea.
- G. James et al. *Introduction to Statistical Learning*, Springer, 2014

CÓMPUTO EVOLUTIVO

CICLO

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16EVO1

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.
- A. E. Eiben, J. E. Smith. Introduction to Evolutionary Computing. Springer, 2003.
- Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer, 1996.



CÓMPUTO PARALELO

CICLO

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16PAR1

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

- A. Grama, A. Gupa, G. Karypis, V. Kumar. *Introduction to Parallel Computing*. Addison-Wesley, 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. Jájá: *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.
- B. 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.

A. 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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16CTR1

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

Matlab

CONTROL II

CICLO

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16CTR2

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

MATLAB, Scilab, Webots, OpenCV.

ELEMENTO FINITO I

CICLO

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16ELF1

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. Cálculo numérico de integrales sobre elementos rectangulares
- h. Cálculo 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

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16ELF2

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.

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.



GEOMETRÍA COMPUTACIONAL

CICLO

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16GCO1

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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16GCC1

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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16INA1

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 NUMERICOS

CICLO

SEMESTRE 1

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16NUM1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Este es un curso clásico de métodos numéricos. Se cubren los temas básicos de álgebra lineal numérica y cálculo diferencial e integral numérico. Para completar la introducción al análisis numérico se presentan también algunos temas de aproximación y ecuaciones diferenciales. En los diferentes temas se buscará un balance entre la teoría detrás del método, su aplicación a problemas prácticos y su implementación computacional. Se presentarán soluciones numéricas utilizando cómputo en paralelo.

TEMAS Y SUBTEMAS

I. Introducción.

- a. Preliminares.
- b. Problemas no lineales en una variable.
 - 1. Solución de ecuaciones. Bisección, método de Newton.
 - 2. Minimización de funciones.

II. Álgebra lineal numérica.

- a. Solución de sistemas lineales.
 - 1. Eliminación Gaussiana. Sustitución hacia atrás.
 - 2. Descomposición LU. QR, Inversa y determinante de una matriz.
 - 3. Métodos iterativos. Jacobi, Gauss-Seidel, gradiente conjugado.
 - 4. Precondicionadores de *so/vers* iterativos.
- b. El problema de valores propios.
 - 1. Método de Jacobi.
 - 2. Método de la potencia.
 - 3. El problema generalizado de valores propios.
- c. Mínimos cuadrados.

III. Métodos numéricos en cálculo.

- a. Interpolación.
 - 1. Polinomial.
 - 2. *Splines* cúbicos.
 - 3. Elementos Finitos.
- b. Integración y diferenciación.
 - 1. Métodos clásicos.
 - 2. Método de Romberg.
 - 3. Cuadraturas Gaussianas y polinomios ortogonales.
 - 4. Diferencias finitas.
- c. Problemas no lineales multivariados.
 - 1. Sistemas no lineales. Métodos cuasi-Newton.
 - 2. Minimización de funciones.

IV. Ecuaciones Diferenciales.

- a. Problemas con valores iniciales.
 - 1. Método de Euler.
 - 2. Métodos Runge-Kutta. Otros métodos.
- b. Problemas con valores a la frontera
 - 1. Diferencias finitas.
 - 2. Elemento finito.
 - 3. Problemas de advección-difusión.
 - 4. Problema de valores propios.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de Ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Exámenes (2) 50%

Tareas 50% (para obtener crédito, las tareas deben entregarse a tiempo)

BIBLIOGRAFÍA

J. Stoer, R. Bulirsch. *Introduction to Numerical Analysis*, 3rd ed; Springer-Verlag; New York, 2002.

J. E. Dennis, Jr., R.B. Schnabel. *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*; SIAM; Philadelphia, 1996.

D. Greenspan & V. Casulli. *Numerical Analysis for Applied Mathematics, Science, and Engineering*; Addison-Wesley; RedwoodCity, 1988.

J.H. Mathews. *Numerical Methods for Mathematics, Science and Engineering*. Prentice Hall; New Jersey, 1992.

J.L.I. Morris. *Computational Methods in Elementary Numerical Analysis*; John Wiley & Sons. Chichester, 1983.

W.H. Press et al. *Numerical Recipes in C* 2nd ed; Cambridge University Press; Cambridge, 1992.

A.Q. Quarteroni, R. Sacco, F. Saleri. *Numerical Mathematics*; Springer; New York, 2000.



MÉTODOS NUMÉRICOS EN PARALELO

CICLO

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16MNP1

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

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.

A. 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.

A. 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.

A. 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.

A. George, J. W. H. Liu. Computer solution of large sparse positive definite systems. Prentice-Hall, 1981.

A. 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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16MOD1

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 Boonkamp: 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

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16MGP1

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 por supuesto pero 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 repastos 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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16OPT1

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

- a. Formulación matemática
- b. Ejemplo: Un problema de transporte
- c. Tipos de problemas de optimización
- d. Algoritmos de optimización
- e. Convexidad

II. Fundamentos de optimización sin restricciones

- a. ¿Qué es una solución?
- b. Algoritmos (una visión preliminar)
 - 1. Búsqueda en línea
 - 2. 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

- a. 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)



- b. Recosido simulado
- c. Algoritmos bio-inspirados

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales

Resolución de ejercicios

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Tareas 30%

Exámenes 60%

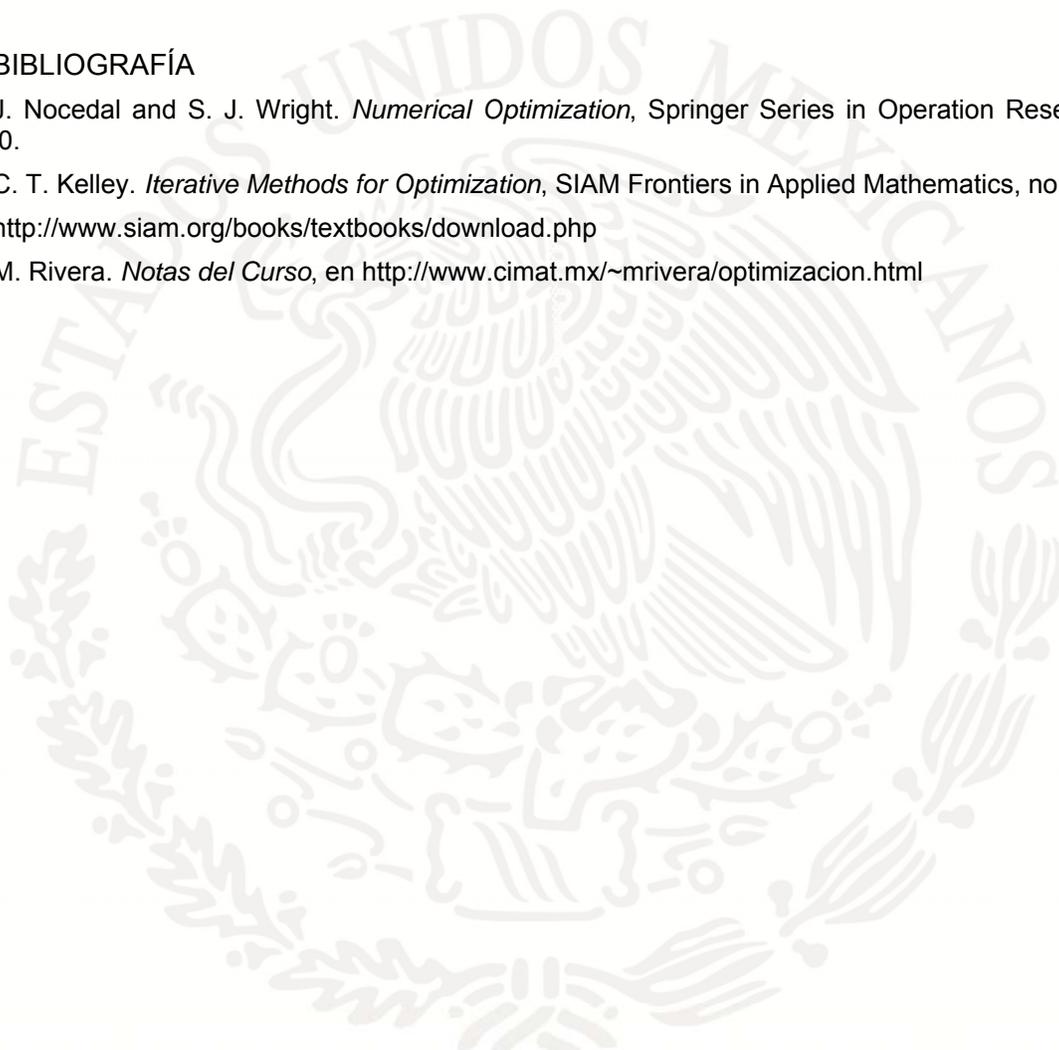
Proyecto 10%

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

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16OPT2

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. Apareamiento (*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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16OPE1

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.
- A. 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.
- C. 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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16SIG1

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 algebra lineal en C++

II. Transformaciones puntuales

- a. Operaciones aritméticas
- b. Funciones de transferencia de tonos
- c. Normalización 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:
 1. Descenso de gradiente
 2. Gauss-Seidel
 3. Descenso Newtoniano
 4. 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.
- A. Oppenheim y R.W. Schaffer. *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

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16SIG2

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 caradura; 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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16RED1

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
 - 1. Estructuras de direccionamiento
 - 2. Proceso de conexión
 - 3. Lectura y escritura (L/E) de sockets
 - 4. Servidores concurrentes
 - 5. L/E multiplexada
 - 6. 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.

A. Tanenbaum. *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 I

CICLO

SEMESTRE 1

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16PRG1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

El curso tiene como objetivo dar a los estudiantes un *background* sólido en programación, y en particular en programación en C y C++.

TEMAS Y SUBTEMAS

1. Introducción

Estructura y sintaxis de un programa en C; Archivos de cabecera; Palabras reservadas; Tipos de datos; Variables, declaración; Alcance de las variables, locales y globales; Tipos de expresiones. *Lvalue*, *rvalue*; Operadores aritméticos, lógicos, relacionales y misceláneos; *printf* y *scanf*; Compilación; Redirección de la entrada y salida estándar; Errores comunes; Tiempo de compilación y tiempo de ejecución; *argv* y *argc*.

2. Funciones

Declaración y definición de funciones; Partes de una función; Paso de argumentos por copia; Archivos cabecera propios; Compilación con varios archivos de declaración y definición de funciones.

3. Ciclos y condicionales:

Condiciones; *if*, *else*; *for*, *do while*; *break* y *continue*; *while*.

4. Memoria y arreglos:

Heap, *stack*, *code*, *globals*; Notas sobre eficiencia; Arreglos; Direcciones de memoria; Arreglos en funciones; Arreglos en ciclos; Arreglos multidimensionales.

5. Lectura y escritura de archivos:

Apertura y modos de apertura; Lectura; Escritura; Archivos binarios.

6. Apuntadores y memoria dinámica:

Apuntadores; Operadores *, & y []; Apuntador *NULL*; Memoria dinámica; *malloc* y *free*; Arreglos con memoria dinámica; Aritmética de apuntadores; Apuntadores y archivos de texto.

7. Cadenas de caracteres:

Caracteres especiales y secuencias de escape; Manejo de strings; *string.h*.

8. Estructuras, uniones:

Tipos *enum*; *typedef struct*; memoria en la estructura; Funciones que reciben y devuelven estructuras; *typedef*; Estructuras y apuntadores; Aritmética de apuntadores en estructuras; *union*; estructuras y uniones; Arreglos de estructuras.

9. Estructuras de datos y recursividad:

Listas ligadas; Listas doblemente ligadas; Algoritmos recursivos para (manejo de memoria en) listas ligadas; Algoritmo de Shunting-Yard; Árboles binarios.

10. Clases de almacenamiento:

auto, *register*, *static*, *extern*.

11. Apuntadores a funciones:

Sintaxis; Funciones que reciben y devuelven apuntadores a funciones; *typedef*.

12. Algoritmos y complejidad:

Invariante de ciclo; Orden; *Merge Sort* (recursión); *Insertion sort*.

13. Librerías estándar:

string.h; *time.h*; *stdlib.h*; *stdio.h*; *streams*; *stdarg.h*; *stddef.h*; *signal.h*; *setjmp.h*; *assert.h*; *math.h*; *errno.h*; *locale.h*; *ctype.h*; *float.h*; *limits.h*.

14. Posix, pipes y forks:

Sistemas Posix; *popen*; *pclose*.

15. Señales:

signal; *raise*; *fork*; *psignal*.

16. Funciones con número variable de argumentos:

va_list; *va_start*; *va_end*.

17. Operaciones con bits:

Operadores; Generadores de pseudo-aleatorios.

18. Preprocesador:

Macros; El preprocesador de C; directivas en gcc; Macros predefinidas; Concatenación; Definición condicional de macros; Compilación condicional.

19. Excepciones:

setjmp.h; assert.h.

20. Introducción a la programación orientada a objetos:

Conceptos OOP; Objeto; Abstracción; Encapsulamiento; Herencia; Polimorfismo; Sobrecarga de funciones y operadores; Compilación con g++; Tipos de datos; namespace.

21. Clases:

class; Datos y funciones miembro; Constructor; Modificadores de acceso; Inicializaciones; Sobrecarga del constructor; Constructor de copia; Destructor; Funciones *friend*; Funciones *inline*; Apuntador *this*; Miembros *static*.

22. Herencia:

Clases base y heredada.

23. Sobrecarga de funciones y operadores:

Sobrecarga de funciones; Sobrecarga de operadores; Operadores sobrecargables.

24. Polimorfismo:

Polimorfismo de funciones en clases derivadas; Funciones virtuales.

25. Abstracción:

Ejemplos de abstracción mediante etiquetas de acceso.

26. Encapsulamiento:

Ejemplos de encapsulamiento.

27. Interfaces:

Clases abstractas; Funciones puramente virtuales.

28. Temas misceláneos:

Makefiles; Multithreading.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Cursos presenciales
Desarrollo de proyectos
Resolución de ejercicios
Desarrollo de software
Preparación de presentaciones
Desarrollo de informes
Lectura de publicaciones especializadas

CRITERIOS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN



40% Tareas.

30% Proyectos (10% el primero, 20% el final).

30% Exámenes.

BIBLIOGRAFÍA

R. Sedgewick. Algorithms in C++. Addison Wesley.

B.Preiss. Data Structures and Algorithms with Object Oriented Design Patterns in (C++, Java). <http://www.brpreiss.com/>

C.Cormen, C.Leiserson, R.Rivest y C.Stein. Introduction to Algorithms. MIT Press.

J.Kleinberg y E.Tardos. Algorithm Design. Addison Wesley.

D.Knuth. The Art of Computer Programming. Vol.1 Fundamental Algorithms, Vol.3 Sorting and Searching. Addison-Wesley.

Stallman, Richard M., and Zachary Weinberg. "The C preprocessor." Free Software Foundation (1987).

Kernighan BW, Ritchie DM. The C programming language. Englewood Cliffs: Prentice-Hall; 1988 Mar 22

Goldberg, David. "What every computer scientist should know about floating-point arithmetic." ACM Computing Surveys (CSUR) 23.1 (1991): 5-48.

Drepper, Ulrich. "What every programmer should know about memory." Red Hat, Inc 11 (2007): 2007.

Mark Allen Weis, Efficient C Programming A practical approach, Prentice Hall

Pitt-Francis, Joe, and Jonathan Whiteley. Guide to scientific computing in C++. Springer Science & Business Media, 2012.

PROGRAMACIÓN Y ALGORITMOS II

CICLO

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16PRG2

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:
 - 1. Árboles binarios balanceados: árboles AVLs, árboles RB; `std::map` y `std::set`
 - 2. B-trees
 - 3. Colas de prioridad y montículos. `std::priority_queue`
 - 4. Montículos binomiales; montículos de Fibonacci
 - 5. Tablas de hash. `std::unordered_map`
- c. Estructuras de datos para grafos
- d. Estructuras de datos para conjuntos disjuntos
- e. Árbol de segmento
- f. *Quadrees* 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. Casos 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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16REC1

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.

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

II. Métodos de agrupamiento.

- Agrupamiento jerárquico.
- K-medias y extensiones.

III. Métodos de predicción.

- Métodos geométricos vs métodos probabilísticos.
- Clasificador Bayesiano óptimo, análisis discriminante lineal.
- El enfoque basado en márgenes, máquinas de soporte vectorial.
- Regresión logística.

- Redes neuronales tipo *feedforward*.
- Métodos de ensamblaje: *random forests* y *boosting*.
- Extensiones usando transformaciones implícitas (*kernel trick*).
- 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.

A. 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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16REC2

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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16ROB1

OBJETIVO(S) GENERAL(ES) DE LA ASIGNATURA

Introducir al estudiante en dos de las componentes básicas que integran un robot, que son la componente de decisión (planificación de movimientos) y la componente de acción (control automático), así como la interacción entre ambas. En la primera parte del curso se estudian diferentes métodos de planificación de movimientos, desde esquemas clásicos hasta aquellos en el estado del arte. En la segunda parte del curso se estudian técnicas de control clásico usando la modelación de función de transferencia y técnicas de control moderno usando la representación en variables de estado.

TEMAS Y SUBTEMAS

Introducción

- a. Componente de decisión
- b. Componente de acción

Bloque 1: Planificación de movimientos

- I. Navegación: Diferentes enfoques
 - a. Algoritmos insecto (*bug algorithms*)
- II. 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

III. Representaciones geométricas y transformaciones

- a. Modelos geométricos
 - b. Modelos poligonales
 - c. Transformaciones de cuerpos rígidos
 - d. Transformaciones de cadenas cinemáticas
- IV. Planificación de movimientos
- a. Presentación teórica de métodos completos
 - b. Métodos probabilísticas
 - c. Mapas de caminos probabilísticos
 - d. Árboles aleatorios de exploración rápida

Bloque 2: Control de sistemas

- I. Modelización de sistemas
- a. Sistemas lineales y no lineales
 - b. Sistemas en lazo abierto y lazo cerrado
 - c. Función de transferencia
 - d. Representación en variables de estado
 - e. Linealización de sistemas no lineales
- II. Teoría de control clásico
- a. Análisis de la respuesta transitoria
 - b. Análisis de la respuesta estacionaria
 - c. Análisis de estabilidad
 - d. Controlador Proporcional Integral Derivativo (PID)
- III. Control de sistemas por retroalimentación del estado
- a. Observabilidad
 - b. Controlabilidad de sistemas lineales
 - c. Diseño de observadores
 - d. Diseño de controladores por retroalimentación
- IV. Sistemas no-holonómicos
- a. Modelos diferenciales
 - b. Campos vectoriales
 - c. Los corchetes de Lie

d. Integrabilidad 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

2 exámenes no acumulativos 20% cada uno
Proyecto Final 40%
Tareas 20 %

BIBLIOGRAFÍA

K. Ogata, "Modern Control Engineering", (5th Edition), Prentice Hall.
JC Latombe, Robot Motion Plannin, Kluwer Academic Press, 1991.
JP Laumond, Robot Motion Planning and Control. Springer Verlag, 1998 (available freely at <http://www.laas.fr/~jpl>).
H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki and S. Thrun, "Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations", 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

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16ROB2

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 sentido, 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 sentido

- a. Visibilidad

- b. Descomposiciones celulares
- c. Navegación basada en sentido
- 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

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16ROP1

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

SEMESTRE 2

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16VIS1

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

SEMESTRE 3

CLAVE DE LA ASIGNATURA

C16VIS2

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.