

Descripción del curso

El proceso de optimización se encuentra con frecuencia en la Ingeniería, ya que una de las funciones de un ingeniero es diseñar sistemas nuevos, mejores, más eficientes y menos costosos, así como diseñar planes y procedimientos para la operación mejorada de los sistemas existentes. Este curso es una introducción a la teoría de la optimización y su aplicación a los problemas que surgen en la ingeniería. En términos más generales, la teoría de optimización es un cuerpo de resultados matemáticos y métodos numéricos para encontrar e identificar al mejor candidato de una colección de alternativas sin tener que enumerar explícitamente y evaluar todas las alternativas posibles. Para aplicar los resultados matemáticos y las técnicas numéricas de la teoría de la optimización a problemas de ingeniería concretos, es necesario delinear claramente los límites del sistema a optimizar, definir el criterio para determinar el mejor cuantitativo, y definir el modelo que exprese la manera en que se relacionan las variables. Esta actividad compuesta constituye el proceso de formulación del problema de optimización.

La primera parte del curso está dedicada al estudio de los conceptos básicos de la teoría de optimización: cómo se define un problema de optimización, los tipos que existen y sus características. La segunda parte, aborda problemas de optimización usando técnicas clásicas, lo que implica el uso del cálculo diferencial de una o más variables, donde las funciones deben ser continuas y diferenciables. En esta parte se muestran los resultados y métodos clásicos de solución, que, si bien algunos no son muy usados a la hora de resolver problemas prácticos, constituyen una base para el desarrollo de la gran mayoría de los métodos usados en la solución de problemas prácticos. En el resto del curso, se tratan conceptos básicos de la del cálculo de variaciones y el control óptimo y el manejo de la incertidumbre en los problemas de optimización.

Objetivos del curso

- Proveer al estudiante conceptos básicos y algunas de las técnicas de optimización matemática más importantes utilizadas para resolver problemas de optimización estática y dinámica.
- Desarrollar en el estudiante habilidades para la formulación problemas de optimización.
- Proveer al estudiante algoritmos computacionales para la solución de problemas de optimización.

Contenidos

1. Conceptos básicos de la teoría de optimización: Optimización local y global, estática y dinámica, sin y con restricciones. Conjuntos convexos, funciones convexas y cóncavas.
2. Optimización no restringida: Máximos y mínimos en una y varias variables.
3. Optimización con restricciones: Formulación general de problemas de optimización. Restricciones de igualdad. Restricciones de desigualdad. Método de multiplicadores de Lagrange generalizado. Condiciones de Kuhn-Tucker. Ejemplos de aplicaciones.
4. Programación Lineal: algoritmo simplex, análisis de sensibilidad, algoritmo de Karmarka.
5. Control óptimo: Elementos básicos de la Teoría de Control óptimo. Principio del Máximo de Pontryagin. Método Backward-Forward. Métodos de disparo.
6. Optimización bajo incertidumbre: elementos básicos de la optimización estocástica, incertidumbre, incertidumbre basada en conjuntos, incertidumbre probabilística.

Metodología

La buena formulación de problemas es la clave del éxito de un estudio de optimización y es, en gran medida, un arte. Se aprende a través de la práctica y el estudio de aplicaciones exitosas y se basa en el conocimiento de las fortalezas, debilidades y peculiaridades de las técnicas proporcionadas por la teoría de la optimización. Por lo tanto, la metodología del curso se basa en el estudio de casos clásicos, en su mayoría aplicados a la ingeniería, para preparar el estudiante en cuestiones prácticas tales como la formulación del problema y la selección adecuada e implementación del algoritmo para determinar su solución. Cabe anotar que, aunque las técnicas de optimización más usadas están destinadas principalmente a la implementación de algoritmos en la computadora, no profundizamos en los detalles del diseño y la codificación del programa. El énfasis está en la buena formulación del problema de optimización y la lógica subyacente a los métodos, en los factores involucrados en la selección de las técnicas apropiadas y en las consideraciones importantes para su aplicación exitosa.

Innovación y el emprendimiento de base tecnológica

Para el trabajo numérico, se hará uso de las librerías de software conocido (algunos de licencia libre) que implementan un conjunto grande de algoritmos de optimización que pueden ser usados en una amplia variedad de problemas, como Scilab, MatLab, GPOPS, EXCEL por mencionar algunos.

En la sesión de control óptimo, se pretende familiarizar al estudiante en la adecuada formulación del problema e interpretación de soluciones, usando el software de GPOPS. GPOPS es un software, bajo la plataforma de MATLAB, destinado a resolver problemas generales de control óptimo no lineal. Dicho software, implementa una nueva clase de métodos de cuadratura gaussiana de orden variable donde el problema de control óptimo de tiempo continuo se aproxima como un problema de programación no lineal (PNL) disperso.

Libro texto y lecturas recomendadas

1. Algorithms for Optimization. Mykel J. Kochenderfer and Tim A. Wheeler. The MIT Press Cambridge, Massachusetts. 2019.
2. Engineering Optimization. Methods and applications. Ravindran A., Ragsdell K.M and Reklaitis G.V. Second edition. Wiley. 2006.
3. Optimization in practice with MatLab. Achilec Messac. Cambridge University Press. 2015.
4. Optimización estática y dinámica en economía. Arsenio Pecha C. Universidad Nacional de Colombia. Primera Edición. 2007.
5. Computational Optimization Methods and Algorithms. Koziel S and Yang X-S. Springer-Verlag. 2011.
6. Engineering optimization: An introduction with metaheuristic applications. Yang X-S. Wiley. 2010.
7. Optimal Control with Engineering Applications. Geering H.P. Springer-Verlag. 2007.

Requerimientos previos

El desarrollo de la metodología de optimización requerirá, cierta familiaridad con manipulaciones básicas de matriz de vectores, un poco de álgebra lineal y cálculo en una y varias variables, ecuaciones diferenciales.

Criterio de evaluación

La evaluación del curso se realizará de acuerdo a los siguientes criterios:

Evaluación	Porcentaje
Examen 1	25%
Tarea 1	5%
Evaluación para registrar en el primer corte de calificaciones	30 %
Tarea 2	5%
Tarea 3	5%
Tarea 4	5%
Tarea 5	5%
Examen 2	25%
Examen 3	25%
Evaluación para registrar en el segundo corte de calificaciones	70 %

Aclaraciones adicionales del curso

- Cabe aclarar que, la metodología no pretende preparar al estudiante en desarrollo de software para las implementaciones en la computadora de los algoritmos de optimización.
- Para la sesión de optimización estocástica, contaremos con la presencia del profesor Michel de Lara (<http://cermics.enpc.fr/~delara/>), adscrito a la unidad de investigación CERMICS, Universidad Paris-Est, Francia. El profesor De Lara, presentará un par de ejemplos de casos abordados a través de la optimización estocástica, durante su estancia de dos semanas en nuestra institución. Con ello se pretende que el estudiante pueda extrapolar las herramientas usadas a problemas donde la incertidumbre este presente.

Es posible que se haga necesario la programación de un par de sesiones extras por fuera del horario del curso, durante la visita del profesor De Lara.