



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Análisis modal de vibraciones en placas de circuito impreso mediante métodos de Krylov

Descripción general (resumen y metodología):

Las placas de circuito impreso instaladas en vehículos, maquinaria, sistemas ferroviarios, convertidores de potencia o equipos de medida pueden estar sometidas a vibraciones continuas o transitorias. Cuando una frecuencia de excitación se aproxima a una frecuencia natural de la estructura, pueden aparecer resonancias que incrementen las deformaciones y favorezcan el deterioro de soldaduras, conectores y elementos de fijación. La identificación numérica de las primeras frecuencias naturales y de sus modos asociados permite detectar estos riesgos durante la fase de diseño y reducir la necesidad de construir prototipos físicos.

El trabajo se centrará en el problema de autovalores generado al discretizar mediante elementos finitos una placa que represente una placa de circuito impreso. Al aumentar el refinamiento de la malla se obtienen matrices dispersas de gran dimensión, mientras que normalmente sólo interesan unos pocos modos de baja frecuencia. Esta situación constituye una aplicación natural de los métodos de subespacios de Krylov. El objetivo principal será estudiar su funcionamiento, implementar sus variantes fundamentales y determinar en qué condiciones ofrecen ventajas frente a procedimientos más generales o convencionales.

La metodología se organizará en tres bloques:

- Construcción y validación del modelo. Se definirá una placa rectangular de material y espesor conocidos, con condiciones de fijación claramente especificadas y, de forma opcional, con masas concentradas que representen componentes electrónicos. La malla y las matrices estructurales se obtendrán mediante una herramienta de elementos finitos ya disponible. No se desarrollará un programa completo de elementos finitos, ya que el modelo mecánico actuará únicamente como banco de pruebas de los métodos numéricos. Los resultados iniciales se contrastarán con un caso sencillo de referencia y se comprobará su convergencia al refinar la malla.
- Estudio de los métodos de Krylov. Se implementará el método de Lanczos como algoritmo principal para el caso simétrico. Se analizarán la construcción progresiva del subespacio, la aproximación de los modos mediante proyección de Rayleigh--Ritz, los criterios de parada basados en residuos, la pérdida de ortogonalidad y las estrategias de reortogonalización selectiva o parcial. También se estudiará el método de Arnoldi como formulación general, con el fin de mostrar su relación con Lanczos y comparar sus necesidades de almacenamiento y ortogonalización. Para localizar con rapidez los modos de menor frecuencia se incorporarán técnicas de desplazamiento e inversión y, cuando resulte conveniente, estrategias de reinicio.
- Comparación y análisis de resultados. Los algoritmos desarrollados se compararán con la iteración de subespacios, con un solucionador denso en problemas pequeños y con una implementación profesional basada en ARPACK en modelos de mayor tamaño. Se utilizarán criterios comunes: precisión de las frecuencias, residuos, ortogonalidad de los modos, número de iteraciones, tiempo de cálculo y memoria. Se distinguirá entre el error asociado a la discretización estructural y el error producido por el solucionador algebraico, y se estudiará la influencia del tamaño del subespacio, el reinicio, la tolerancia y la elección del desplazamiento.

Tipología: Trabajos experimentales, de toma de datos de campo o de laboratorio.

Objetivos planteados:

- Construir y validar un modelo sencillo de elementos finitos de una placa de circuito impreso y obtener sus matrices dispersas de masa y rigidez.
- Estudiar los fundamentos de los subespacios de Krylov y de la proyección de Rayleigh--Ritz en problemas de autovalores de gran dimensión.
- Implementar el método de Lanczos y analizar su convergencia, la pérdida de ortogonalidad, la aparición de aproximaciones repetidas y las técnicas de reortogonalización.
- Implementar o aplicar Arnoldi, desplazamiento e inversión y reinicio, y estudiar la función que desempeña cada técnica en el cálculo selectivo de modos.
- Comparar Lanczos, Arnoldi, iteración de subespacios, métodos densos y ARPACK en precisión, coste computacional y memoria, y establecer recomendaciones de uso para problemas estructurales dispersos.

Bibliografía básica:

- K.-J. Bathe, Finite Element Procedures, 2.^a ed., K. J. Bathe, Watertown, Massachusetts, 2014.
- G. H. Golub y C. F. Van Loan, Matrix Computations, 4.^a ed., Johns Hopkins University Press, 2013.
- Y. Saad, Numerical Methods for Large Eigenvalue Problems, edición revisada, SIAM, 2011.
- R. B. Lehoucq, D. C. Sorensen y C. Yang, ARPACK Users' Guide: Solution of Large-Scale Eigenvalue Problems with Implicitly Restarted Arnoldi Methods, SIAM, 1998.
- D. J. Inman, Engineering Vibration, 4.^a ed., Pearson, 2013.
- L. N. Trefethen y D. Bau, Numerical Linear Algebra, SIAM, 1997.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: RAFAEL JOSÉ YÁÑEZ GARCÍA

Ámbito de conocimiento/Departamento: MATEMÁTICA APLICADA

Correo electrónico: ryanez@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos:

Correo electrónico: