



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Redes neuronales y electromagnetismo computacional

Descripción general (resumen y metodología):

Descripción y resumen de contenidos

Este TFG explorará el estado del arte de la combinación de algoritmos basados en redes neuronales con métodos numéricos de simulación en el dominio del tiempo para las ecuaciones de Maxwell, especialmente el basado en diferencias finitas (FDTD).

El trabajo se articula en:

- Revisión del marco teórico y estado del arte.
- Recordatorio de la formulación de Maxwell y su discretización FDTD: estabilidad (CFL), dispersión numérica y condiciones absorbentes (PML).
- Revisión de arquitecturas de deep learning relevantes: redes feed-forward, recurrentes (RNN/LSTM), graph neural networks (GNN), physics-informed neural networks (PINN) y neural operators.
- Síntesis crítica de la literatura reciente que estudie simulaciones puras FDTD frente a metodologías basadas en redes neuronales artificiales (ANN), como PINN.

Metodología

- Implementación de FDTD 1-D/2-D en Python/Matlab como referencia de base.
- Desarrollo de un PINN (TensorFlow/PyTorch) que resuelva las ecuaciones de Maxwell en 1D con fronteras absorbentes; comparación sistemática de errores y tiempos de cómputo frente a FDTD.
- Posibilidad de integración de ANN dentro del time-stepping (ANN-FDTD) para saltos de tiempo mayores y análisis de la estabilidad resultante.

Desarrollo y validación de casos de estudio

- Estudio de la dispersión de un pulso gaussiano en una lámina dieléctrica plana.
- Comparación entre simulaciones FDTD puras y aproximaciones que usen ANN.

Actividades a desarrollar

1. Comprender el funcionamiento de redes neuronales como aceleradores de problemas directos e inversos en EM computacional
2. Elaboración del estado del arte en la combinación de algoritmos basados en redes neuronales y métodos (FDTD)
3. Codificar métodos FDTD-ANN en problemas simples

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

General

Demostrar la viabilidad de redes neuronales como aceleradores y solucionadores en electromagnetismo computacional basados en FDTD.

Específicos

1. Repasar la teoría FDTD y sus limitaciones.
2. Comprender y programar redes neuronales ANN (MLP, RNN, GNN, PINN,...).
3. Integrar ANN dentro del esquema FDTD para obtener un algoritmo incondicionalmente estable y medir su rendimiento.
4. Viabilidad y desarrollo de un PINN capaz de resolver las ecuaciones de Maxwell 1D/2D con errores reducidos respecto a FDTD.

Bibliografía básica:

1. H. M. Yao and L. J. Jiang, "Machine Learning Based Neural Network Solving Methods for the FDTD Method," 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2018, pp. 2321-2322
2. Yuhang Zhao, et. al, "The Equivalence and Realization of Neural Network and Finite Differences Time Domain," "2021 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)
3. O. J. Famoriji and T. Shongwe, "Artificial Neural Network-Enhanced Unconditionally Stable Finite-Difference Time-Domain Technique for Multiscale Problems," Scientific African, vol. 28(e02645), 2025.
4. L. Kuhn, T. Repän and C. Rockstuhl, "Exploiting Graph Neural Networks to Perform Finite-Difference Time-Domain Based Optical Simulations," APL Photonics, vol. 8, no. 3(036109), 2023.
5. G. G. Shaviner et al., "PINNs for Solving Unsteady Maxwell's Equations: Convergence Issues and Comparative Assessment with Compact Schemes," arXiv:2504.12144, Apr. 2025.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Conocimientos previos de Electromagnetismo, métodos numéricos y programación.

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: SALVADOR GONZÁLEZ GARCÍA

Ámbito de conocimiento/Departamento: ELECTROMAGNETISMO

Correo electrónico: salva@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: