HAL
open science

Diagnostic électromagnétique et imagerie d'une microstructure diélectrique à l'aide de réseaux de neurones convolutionnels

Peipei Ran, Dominique Lesselier, Mohammed Serhir

To cite this version:

Peipei Ran, Dominique Lesselier, Mohammed Serhir. Diagnostic électromagnétique et imagerie d'une microstructure diélectrique à l'aide de réseaux de neurones convolutionnels. Huitième conférence plénière biennale du GDR ONDES - CentraleSupélec, Oct 2019, Gif-sur-Yvette, France. hal-02860247

HAL Id: hal-02860247

https://centralesupelec.hal.science/hal-02860247v1

Submitted on 16 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Diagnostic électromagnétique et imagerie d'une microstructure diélectrique à l'aide de réseaux de neurones convolutionnels

P. Ran[1], D. Lesselier[1], M. Serhir[2]
[1] : *Laboratoire des Signaux et Systèmes (CNRS-CentraleSupélec-Univ. Paris-Sud Univ Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette*
[2] : *Génie électrique et électronique de Paris (CNRS-CentraleSupélec-Univ. Paris Sud-Univ. Pierre et Marie Curie), Univ. Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette*
peipei.ran@l2s.centralesupelec.fr

Résumé
Cette contribution introduit à l'utilisation de réseaux de neurones convolutionnels (CNN) afin d'aboutir à un diagnostic et/ou une imagerie d'une microstructure diélectrique diffractante de dimensions caractéristiques sous-longueur-d'onde. Par diagnostic on entend déterminer des défauts de ladite microstructure, par imagerie on considère remonter à la distribution spatiale de permittivité, dans les deux cas à partir de champs collectés à distance (champ lointain) pour un ensemble d'illuminations effectuées à une ou plusieurs fréquences. La dépendance du résultat en fonction des paramètres du réseau, de ceux de l'apprentissage, et naturellement de ceux de la structure à caractériser, et des incertitudes des champs, notamment, est illustrée par simulations numériques, tandis qu'en sus des comparaisons sont aussi conduites avec des approches itératives classiques du type inversion de contraste de sources, dont une version binaire.

1. La microstructure type

Un ensemble fini de tiges diélectriques infiniment longues et régulièrement réparties est éclairé de l'extérieur par des sources de lignes électriques idéales harmoniques à une ou plusieurs fréquences et les champs lointains diffractés dans chaque expérience sont collectés en conséquence tout autour ou en partie autour de la structure investiguée. Mais certaines tiges manquent de manière inconnue, c.a.d. sont associées à une microstructure lacunaire (endommagée), ici dans l'hypothèse exigeante des rayons de tiges et des distances entre tiges qui sont faibles par rapport aux longueurs d'onde de fonctionnement. Par ailleurs, on peut s'intéresser à la distribution spatiale de permittivité de la zone comportant les tiges, e.g., si celles-ci ne sont pas de même permittivité les unes par rapport aux autres ou si certaines sont déplacées.

2. La solution neuronale développée

Afin de caractériser dans une situation aussi complexe en termes de comportement électromagnétique (diffraction multiple, possibilité de résonances) et de résolution réalisable [1], de puissants réseaux de neurones convolutionnels (CNN) apparaissent être en mesure de fournir un diagnostic efficace ainsi que l'évaluation des cartes de permittivité de la microstructure dans son ensemble.

La présente approche découle ici de l'apprentissage automatique dans le domaine des ondes et champs tel que considéré en [2]. Si une architecture de réseau bien conçue et, évidemment, de bons jeux de données de formation et une méthode de formation adéquate, entre autres caractéristiques nécessaires, des résultats adéquats s'ensuivent à condition que de nombreuses expérimentations numériques sur des microstructures connues soient réalisées afin de concevoir et valider un réseau suffisamment efficace, en termes de calcul et de sortie physique.

3. Les résultats acquis

La super-résolution, qui vise les caractéristiques de sous-longueur d'onde des cartes fournies de la distribution diélectrique, est réalisée avec succès par CNN, comme le confirment de vastes simulations numériques. Le manque de place exclut tout détail technique de la construction du CNN — il faut en particulier former le réseau (algorithme d'Adam) en utilisant une inadéquation régularisée (fonction de perte) entre vérité terrain et prédiction, et profiter de jeux de données d'entraînement complets.

Insistons aussi sur le fait que les données sont bruitées, comme dans tout problème pratique, un bruit gaussien étant inséré à cet effet ici, par simplicité. Soulignons également que seuls les champs lointains diffractés sont collectés en raison de la taille effective de la microstructure ou, de manière équivalente, qu'aucun champ proche n'est disponible, de sorte qu'aucune super-résolution intrinsèque ne peut résulter seulement des données elles-mêmes.

Enfin, des comparaisons avec une méthode classique d'inversion itérative de contraste de sources [3] et une variante binaire nouvelle dans le présent contexte sont menées, et avantages et inconvénients de celles-ci par rapport au CNN sont résumés.

4. Conclusion et perspectives

Le cas de diffraction inverse scalaire 2D a été abordé avec succès, comme il sera montré sur l'affiche, les derniers résultats au-delà de ceux présentés en [4] étant en particulier discutés, dont sur des variations de forme de la microstructure, sur la diversité en fréquence se substituant au moins en partie à la diversité en illumination, notamment dans le cas d'une source et d'un récepteur se déplaçant de concert tout autour, et sur les performances du CNN en fonction du nombre de couches et des données d'apprentissage (bruités de manière diverse).

Le mélange de données expérimentales et simulées afin d'obtenir un rendu plus réaliste en termes d'erreurs de toutes sortes est l'un des problèmes restants de ce cas 2D, une expérimentation contrôlée étant à ce propos en cours au laboratoire sur des distributions de tiges diverses vues à mi-hauteur par le biais d'antennes dipôles appropriées.

Par ailleurs, des travaux se développent sur un cas de diffraction vectorielle 3-D (tiges de longueur finie et observées à partir de sources et récepteurs sur un hémisphère), nécessitant en particulier des solveurs directs rapides et polyvalents (ici CST), une évaluation en profondeur de la physique derrière la scène, et celle du contenu informatif des données (plutôt rares et habituellement bruyantes) via développements parcimonieux en fonctions d'ondes vectorielles sphériques.

5. Remerciements

Le concours de Yingying Qin, SATIE & L2S, est vivement remercié.

6. Bibliographie

[1] H. Ammari, J. Garnier, W. Jing, H. Kang, M. Lim, K. Sølna, and H. Wang, *Mathematical and Statistical Methods for Multistatic Imaging*, Berlin: Springer, 2013.

[2] Z. Wei and X. Chen, Deep-learning schemes for full-wave nonlinear inverse scattering problems, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 57, pp. 1849-1860, 2019.

[3] X. Chen, *Computational Methods for Electromagnetic Inverse Scattering*, 1st. ed.: Wiley-IEEE Press, 2018.

[4] P. Ran, Y. Qin, D. Lesselier, Electromagnetic imaging of a dielectric micro-structure via convolutional neural networks, *27th European Signal Processing Conference* (EUSIPCO), A Coruna, Spain, September 2019. IEEE Proc. to appear