

PROPOSITION DE SUJET DE THESE

Intitulé : Apprentissage automatique et profond appliqué à la détection robuste de cibles radar

Référence : **Domaine-DEMR-2023 -Numéro d'ordre**
(à rappeler dans toute correspondance)

Début de la thèse : 01/10/2023

Date limite de candidature : 01/06/2023

Mots clés

Détection de cible, Réseau de neurones, Radar Cognitif

Profil et compétences recherchées

Titulaire d'un master 2 ou d'un diplôme d'une école d'ingénieur.

Connaissances requises :

- Traitement du signal, traitement statistique du signal
- Méthodes d'apprentissage, Réseau de neurones et apprentissage profond
- Matlab, Python

Présentation du projet doctoral, contexte et objectif

Intitulé de la thèse : Apprentissage automatique et profond appliqué à la détection robuste de cibles radar

Contexte :

La prise de décision quant à la présence ou l'absence de cibles dans les données mesurées est une étape cruciale du processus de recherche d'un radar de surveillance. Cette prise de décision est rendue difficile du fait de la présence de bruits de natures différentes. Par exemple, dans le cadre d'un radar à ondes de surface, les échos de fouillis engendrés par les réflexions sur les éléments de la scène environnante (ionosphère, vagues, ou bâtiments, arbres, etc...) s'avèrent particulièrement gênant pour la détection de cibles, en particulier lorsque l'écho de ce fouillis se caractérise par une vitesse qui est potentiellement celle de cibles d'intérêts. Un autre exemple est le bruit de chatoiement pour un radar à synthèse d'ouverture, dégradant les performances d'algorithmes de classification, lorsqu'il s'agit de regrouper par type des zones spatiales définies, ou encore la distribution statistique inconnue du bruit de fond sur une image hyperspectrale, nuisant à la détection de cibles.

Les méthodes de détection usuelles se fondent sur des traitements adaptatifs et des méthodes classiques de traitement telles que la compression d'impulsion (ou filtrage adapté) afin de faire ressortir les cibles du bruit ou du fouillis ambiant. Ces traitements adaptatifs cherchent en général dans un premier temps à ramener la statistique du bruit à une statistique connue ou exploitable, permettant de mettre en place, dans un second temps, un test de détection efficace. Ces méthodes dépendent du modèle de ce bruit, qui est souvent inconnu ou difficilement modélisable, ne permettant donc pas de lui associer un traitement adaptatif. Le traitement adaptatif du bruit nécessite également des données secondaires, dont la sélection est difficile car en général réparties sur une zone inconnue (après traitement en distance, ou doppler, ou angulaire) et dans un temps restreint. Toutes ces limitations amoindrissent les performances des algorithmes de détection de cibles radar.

Dans le cadre d'un projet de recherche interne à l'ONERA et suite à des travaux de stage, des algorithmes d'apprentissage automatique (dont des réseaux de neurones) ont pu être mis en œuvre pour essayer de collecter et d'exploiter des données secondaires pour plusieurs cadres applicatifs. Des algorithmes de détection et de classifications ont pu être expérimentés grâce à ces données secondaires, mais restent sensibles à la nature du bruit. De plus, la détection de cible en traitement du signal radar s'appuie généralement sur des algorithmes à Taux de Fausse Alarme Constants (TFAC). Or, ce critère d'évaluation n'a pas encore été étudié sur les algorithmes développés.

Objectif :

L'objectif de cette thèse est ainsi d'étudier l'apport potentiel des méthodes par apprentissage automatique et profond dans le cadre de la détection de cibles radar multiples en présence de fouillis et de bruit. Il s'agit d'étudier un réseau de neurone multitâches, capable à la fois de détecter et délimiter la zone de présence d'une cible (spatiale ou temporelle) mais aussi, dans un second temps, de l'identifier.

Les verrous à faire sauter dans cette thèse sont ainsi :

- Le manque de données étiquetées (données secondaires exploitables)
- La faiblesse du rapport signal à bruit
- La non-gaussianité et la non-stationnarité du bruit
- La nature des données (complexes et non réelles, grande dimension)

Il est ainsi nécessaire d'élaborer une base d'apprentissage de très grande taille par simulation de données radar, et par sélection de données réelles, puis de mettre en place un réseau d'apprentissage capable d'ingérer ces données simulées. De plus, certains radars enregistrent des mesures (spatialement ou temporellement) qui ne sont pas exploitées pour le traitement des mesures d'intérêt. Il semblerait plus optimal d'utiliser ces informations en tant que données secondaires.

Les récentes avancées pour la gestion des données appartenant au corps des complexes doivent être étudiées pour la mise en place d'algorithmes d'apprentissage profond.

Pour finir, la réduction de dimension des données d'entrée devra être envisagée, par des méthodes d'apprentissage profond (type auto-encodeurs), à la fois pour essayer de réduire la complexité du problème, mais aussi pour étudier la décomposition que fournira alors le réseau.

Cette thèse doit apporter des éléments de réponse aux problématiques suivantes :

- Position de l'algorithme d'apprentissage automatique dans la chaîne de traitement du signal radar
- Performances des algorithmes d'apprentissage automatique développés en termes de probabilité de détection et de fausse alarme
- Constance du taux de fausse alarme (TFAC) de l'algorithme

Le réseau d'apprentissage peut être mis en place après traitement radar « classique » (c'est-à-dire compression d'impulsion) ou à la place de ce traitement, voire encore intégré à la chaîne de traitement radar, en pré-traitement des données. Cette thèse doit de ce fait conclure sur la meilleure place du réseau d'apprentissage dans la chaîne de détection radar, en fonction des critères d'évaluation des performances du détecteur.

Un intérêt sera donné aux types de décompositions fournies par les premières couches du réseau, pour éventuellement essayer de proposer, par la suite, d'autres pistes de traitement ayant une approche plus classique mais inspirée de ces réseaux.

Une attention particulière sera portée sur les limites admises pour les algorithmes de détections « classiques » tels que le caractère TFAC de la détection, que devra respecter les méthodes proposées.

Pour terminer, la problématique de cette thèse est généralisable à de nombreux domaines, tels que la détection pour du traitement d'images, ou la détection sur des signaux complexes d'une dimension.

Le doctorant sera accueilli au sein du laboratoire SONDRRA (CentraleSupélec, ONERA, DSO, National University of Singapore (NUS)) à Gif-sur-Yvette et de l'unité MATS (Méthodes Avancées en Traitement du Signal) du département Electromagnétisme et Radar sur le site de l'ONERA de Palaiseau. Il sera amené, tout au long de sa thèse, à se former à la problématique du traitement du signal (détection, estimation), au traitement par apprentissage profond, ainsi que se former à d'autres sujets en suivant des formations proposées notamment par l'école doctorale.

Bibliographie succincte sur le sujet :

T. Bucciarelli, G. Fedele and R. Parisi, "Neural Networks-based signal detection," *Proceedings of the IEEE 1993 National Aerospace and Electronics Conference-NAECON 1993*, Dayton, OH, USA, pp. 814-818 vol.2, doi: 10.1109/NAECON.1993.290838, 1993

F. Amoozegar and M. K. Sundareshan, "A robust neural network scheme for constant false alarm rate processing for target detection in clutter environment", *Proceedings of 1994 American Control Conference - ACC '94*, Baltimore, MD, USA, pp. 1727-1728 vol.2, doi: 10.1109/ACC.1994.752367, 1994

S. Kay, "Fundamentals of Statistical Signal Processing: Detection Theory", *Fundamentals of Statistical SI*, Prentice-Hall PTR, 1998

N. Gálvez, J.-L. Pasciaroni, O.-E. Agamennoni and J.E. Cousseau. "Radar Signal Detector Implemented with Artificial Neural Networks", *Proc. XIX Congreso Argentino de Control Automatico*, 2004

D.M. Tax and R.P. Duin, "Support vector data description", *Machine learning*, vol. 54, no 1, p. 45-66, 2004

K. Mezzoug, and B. Djebbar. "Étude Comparative d'un Détecteur CFAR Neuronal de Plusieurs Cibles Radar dans un Fouillis de type K-Distribution", *CIIA*, 2009

N. Gálvez, J.E. Cousseau, J.-L. Pasciaroni and O.-E. Agamennoni. "Improved Neural Network Based CFAR Detection for non-Homogeneous Background and Multiple Target Situations", *Latin American applied research*, 42(4), 343-350, 2012

C. H. Lin, Y. -C. Lin, Y. Bai, W. H. Chung, T. S. Lee and H. Huttunen, "DL-CFAR: A Novel CFAR Target Detection Method Based on Deep Learning," 2019 *IEEE 90th Vehicular Technology Conference (VTC2019-Fall)*, pp. 1-6, 2019

J.A. Barrachina, Ren, C., Morisseau, C., Vieillard, G., and Ovarlez, J.-P., "Complex-valued vs. real-valued neural networks for classification perspectives: An example on non-circular data", *ICASSP IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing* (pp. 2990-2994), 2021

T. Diskin, Y. Beer, U. Okun and A. Wiesel. "CFARnet: deep learning for target detection with constant false alarm rate", *arXiv preprint arXiv:2208.02474*, 2022

C. Wang, J. Tian, J. Cao and X. Wang, "Deep Learning-Based UAV Detection in Pulse-Doppler Radar," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 60, pp. 1-12, 2022.

X. Wang, Y. Li, N. Zhang and Y. Cong, "An Automatic Target Detection Method Based on Multidirection Dictionary Learning for HFSWR," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 19, pp. 1-5, 2022

Collaborations envisagées

SONDRA (CentraleSupélec , NUS)

Laboratoire d'accueil à l'ONERA

Département : Département Electromagnétisme et Radar

Lieu (centre ONERA) : Palaiseau

Contact : Terreaux Eugénie

Tél. : +33 1 80 38 62 13

Email : eugenie.terreaux@onera.fr

Directeur de thèse

Nom : Ren Chengfang et Jean-Philippe Ovarlez

Laboratoire : SONDRA/ONERA

Tél. : +33 1 69 85 18 03

Email : chengfang.ren@centralesupelec.fr

jean-philippe.ovarlez@onera.fr

Pour plus d'informations : <https://www.onera.fr/rejoindre-onera/la-formation-par-la-recherche>