

Deep Learning pour l'estimation du canal dans les systèmes MIMO massifs en présence d'amplificateurs de puissance

Encadrants :

Équipe LAETITIA : Daniel Roviras et Rafik Zayani (daniel.roviras, rafik.zayani)@cnam.fr

Équipe VERTIGO : Marin Ferecatu et Nicolas Audebert (marin.ferecatu,nicolas.audebert)@cnam.fr

1. Contexte

Les systèmes Multiple Input Multiple Output (MIMO) sont largement répandus dans de nombreux standards (à savoir WiFi802.11n, LTE/LTE-A, ...). Ils permettent d'améliorer considérablement la qualité de transmission grâce à l'exploitation de la dimension spatiale. Des observations sur les avantages qu'apporte une forte augmentation du nombre d'antennes ont encouragé la naissance du terme MIMO massif (Massive MIMO en anglais), apparu en 2010 [MAR10]. Les systèmes MIMO massifs, utilisant une centaine d'antennes au niveau de la station de base pour servir en parallèle une dizaine d'utilisateurs, permettent (1) d'améliorer l'efficacité spectrale et l'efficacité énergétique, (2) de diminuer l'effet du fast-fading et le bruit non corrélé, (3) de supporter les trajets multiples de propagation par exploitation spatiale en émission et en réception, (4) de rejeter efficacement les interférences intra- et inter-cellules, ...

Malgré les avancées technologiques des systèmes MIMO massifs, ces derniers restent très sensibles aux imperfections dues à l'amplificateur de puissance (PA), un élément de nature non-linéaire et indispensable dans la chaîne de transmission. Ce dernier affecte l'acquisition de l'information de l'état du canal (CSI) limitant ainsi la fonction du pré-codage associée à celle-ci dans le mode de multiplexage temporel (TDD) [WAN19] [WEN18] [HUA18] [ZHA19]. L'efficacité énergétique des systèmes MIMO massifs est conditionné par celle des PA, qui représentent plus de 60% de l'énergie consommée par le transmetteur. L'amélioration de leur rendement a donc un impact environnemental et économique important. Ainsi, il est important de réduire les effets des imperfections causées par l'amplificateur de puissance afin de rendre ces techniques beaucoup attractives pour la future génération des réseaux cellulaires. L'apprentissage automatique de représentations appliqué au traitement du signal est ainsi une des voies encore peu explorées les plus prometteuses à ce jour. C'est dans ce contexte se situe la proposition du stage inter-équipe CEDRIC.

Plusieurs enseignants-chercheurs et doctorants de l'équipes d'accueil travaillent sur les applications des réseaux de neurones profonds pour la compréhension et la structuration des données (équipe VERTIGO) et sur le traitement du signal dans le cadre du MIMO massif (équipe LAETITIA).

2. Sujet du stage

Ce stage vise à proposer de nouvelles solutions de traitement du signal dopées au *Machine Learning* (ML) et à l'intelligence artificielle. Les méthodes d'apprentissage par réseaux de neurones profonds ont permis des avancées considérables dans des nombreux domaines comme la vision par ordinateur [SEN19], mais aussi le traitement du signal [HEI19], par exemple pour la correction de la distorsion [YAS19]. Ce type de solutions peuvent impacter en profondeur l'avancement des systèmes MIMO massifs, tout en mettant l'accent sur la compensation des imperfections RF et la réduction de la consommation énergétique des équipements radios. Sur la

base des connaissances acquises dans le laboratoire **CEDRIC**, ce stage pourra s'organiser en trois phases :

1. Étude et quantification de l'impact de l'amplificateur de puissance sur l'acquisition de l'information de l'état du canal (CSI) et sur la voie de retour (pré-codage associé et transmission *downlink*).
2. Développement d'un modèle *deep learning* (DL) utilisant un réseau de neurones « auto-pré-coder » pour l'acquisition du CSI et le pré-codage pour deux scénarios : (1) l'émetteur connaît parfaitement le canal et (2) l'émetteur n'en connaît rien.
3. Évaluation de la complexité et des performances du *framework* proposé par rapport aux méthodes actuelles.

1. Profil recherché

Le stage est ouvert aux étudiants BAC+5 (master, école d'ingénieurs). Le ou la candidate devra démontrer d'excellentes compétences en traitement du signal, mathématiques, machine learning et réseaux de communications. Une bonne connaissance de MATLAB et Python est indispensable. La connaissance d'une bibliothèque d'apprentissage (PyTorch ou Tensorflow) est un plus.

La poursuite de ce stage en thèse de doctorat est envisagée.

2. Références

- [MAR10] T. L. Marzetta, "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 9, no. 11, pp. 3590-3600, November 2010.
- [WAN19] T. Wang, C. Wen, S. Jin and G. Y. Li, "Deep Learning-Based CSI Feedback Approach for Time-Varying Massive MIMO Channels," in *IEEE Wireless Communications Letters*, April 2019.
- [WEN18] C. Wen, W. Shih and S. Jin, "Deep Learning for Massive MIMO CSI Feedback," in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 5, pp. 748-751, Oct. 2018.
- [HEI19] H. Heikki, *Deep Neural Networks: A Signal Processing Perspective*, chapter in *Handbook of Signal Processing Systems*, Springer International Publishing, 2019
- [HUA18] H. Huang, J. Yang, H. Huang et al., "Deep Learning for Super-Resolution Channel Estimation and DOA Estimation Based Massive MIMO System," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Sept. 2018.
- [SEN19] Sengupta S., Basak S., Saikia P., Sayak P., et al. "A review of deep learning with special emphasis on architectures, applications and recent trends". CoRR, abs/1905.13294, 2019.
- [YAS19] K. Yashashwi, A. Sethi and P. Chaporkar, "A Learnable Distortion Correction Module for Modulation Recognition," in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 77-80, Feb. 2019.
- [ZHA19] Yu Zhang and Muhammad Alrabeiah and Ahmed Alkhateeb, "Deep Learning for Massive MIMO with 1-Bit ADCs: When More Antennas Need Fewer Pilots", arXiv 1910.06960, Oct 2019.
- [ZAY19] R. Zayani, H. Shaïek and D. Roviras, "PAPR-Aware Massive MIMO-OFDM Downlink," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 25474-25484, 2019.
- [ZAY19b] R. Zayani, H. Shaïek and D. Roviras, "Efficient Precoding for Massive MIMO Downlink Under PA Nonlinearities," in *IEEE Communications Letters*, vol. 23, no. 9, pp. 1611-1615, Sept. 2019.