

Architectures matérielles et algorithmes pour le MIMO Massif

Proposition de thèse pour le Labex UCN@Sophia

Porteurs de projet :

- Directeur de thèse : Prof. Luc Deneire, Université Nice Sophia Antipolis, Laboratoire I3S Email: deneire@unice.fr Tel.: +33 (0)4 92 94 27 38
- Co-directeur de thèse : McF. Fabien Ferrero, Université Nice Sophia Antipolis, Laboratoire LEAT Fabien.Ferrero@unice.fr
- Co-encadrant : Dominique Nussbaum, Eurecom Dominique.Nussbaum@eurecom.fr

Axes scientifiques :

La proposition s'inscrit dans les axes suivants :

- Infrastructures filaires ou sans fil, hétérogènes et haute performance.
- Efficacité énergétique

Contexte :

Les systèmes MIMO (Multiple Input / Multiple Output) Multi-Utilisateurs, consistant en une station de base avec des antennes multiples et des terminaux à une seule antenne, sont capables d'offrir une grande capacité spectrale, au prix de mécanismes de précodage/feedback lourds. L'utilisation d'un grand nombre d'antennes (> 100) à la station de base, appelée « MIMO Massif », en rendant la matrice de canal entre la station de base et les différents utilisateurs orthogonale, simplifie les algorithmes associés et fournit un gain en énergie émise important [Rus13].

D'autre part, la multiplication des antennes requérant un coût d'antenne (et de l'électronique associée), et donc une qualité d'antenne, plus faible, les architectures matérielles sont profondément modifiées. Les études actuelles indiquent que, en présence d'architectures à faible coût, le MIMO massif garde en partie ses avantages de gain en énergie émise et consommée [Risi14, Bjo15].

Parallèlement, des approches modulaires [Den15] ou distribuées [Tru13] permettent de faciliter le déploiement du MIMO massif, en faisant appel à une algorithmique adaptée.

Enfin, actuellement chaque antenne est flanquée d'une électronique radio-fréquence qui permet de la contrôler en amplitude et en phase pour effectuer le précodage. L'utilisation de sous-ensembles avec un contrôle de la phase uniquement (appelé « Hybrid Beamforming », voir par exemple [Bog14]) permet de diminuer significativement le coût du système (une grande partie de l'électronique peut être mutualisée entre antennes).

Au niveau implémentation, la plateforme massive MIMO développée par Eurecom, où une version à coût relativement faible est envisagée dans le cadre de la plateforme OpenAirInterface, permet de tester le développement, en la complétant par des développements propres au niveau électronique et algorithmique.

Défis :

Passage à l'échelle des architectures et du traitement de signal associé

Pour permettre le passage à l'échelle en utilisant des architectures hybrides et/ou modulaires, des algorithmes de synchronisation et de traitement de signal distribué doivent être mis en œuvre. Le défi ici est de co-concevoir les architectures et les traitements associés pour permettre ce passage à l'échelle.

Caractérisation et modélisation des réseaux d'antennes

[Bjo15] donne des indications quant à la qualité nécessaire du hardware dans le cas asymptotique (quand le nombre d'antennes tend vers l'infini). Pour avoir des résultats valides dans le cas non asymptotique, il faut caractériser et modéliser les antennes et réseaux d'antennes (en termes de bruit de phase, I/Q, couplage, etc.), utiliser ces modèles au niveau système et, si possible, vérifier les résultats expérimentalement.

Développement d'architectures hybrides

Les architectures hybrides (beamforming analogique/numérique) sont principalement développées pour les bandes millimétriques. Le défi est de développer une architecture hybride qui fonctionne à des bandes plus basses en fréquence, de la caractériser et de l'utiliser dans un système réaliste.

Développement de système antennaire reconfigurable en directivité

Pour permettre le développement d'architecture hybride, la conception de systèmes antennaires reconfigurables en fréquence sera nécessaire. Il sera important d'optimiser le nombre de reconfigurations de diagramme possible, le taux de latence, la taille globale du système, et l'interaction avec les modules numériques.

Objectifs à atteindre :

L'objectif principal de ce projet est de démontrer la faisabilité de systèmes MIMO massifs à « faible coût » et de caractériser leur qualité en termes d'efficacité énergétique et d'efficacité spectrale.

En particulier, le candidat, sur base de la plateforme OpenAirInterface et de matériel USRP dans un premier temps (et de matériel Eurecom et/ou développé au LEAT/Eurecom ensuite) :


- Après une recherche bibliographique, adaptera et au besoin développera les modèles de front-ends + antenne et de réseaux d'antennes. Ces modèles seront validés par des campagnes de mesure
- Implémentera et analysera les performances d'un système MIMO massif modulaire ou distribué, en particulier sur les aspects de la synchronisation et du traitement de signal distribué. L'ordre de ce système sera de 16 ou 32 antennes.
- Analysera l'impact des non-idéalités des front-ends RF (sur base des modèles développés) sur un système réaliste.
- Développera une architecture hybride qui sera intégrable dans la plateforme OpenAirInterface

Mise en œuvre du projet :

Des financements additionnels seront demandés pour la mise en place de la plateforme Massive MIMO par l'intermédiaire de projets collaboratifs (ANR, ...) ou de la plateforme CIM-PACA conception.

Les développements proposés pourront aussi servir à la réalisation de travaux pratiques pour les étudiants (Eurecom, Université Nice-Sophia).

Bibliographie :

- [Rus13] Rusek, F.; Persson, D.; Buon Kiong Lau; Larsson, E.G.; Marzetta, T.L.; Edfors, O.; Tufvesson, F., "Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays", IEEE Signal Processing Magazine, vol.30, no.1, pp. 40-60, Jan. 2013 
- [Risi14] Chiara Risi, Daniel Persson, Erik G. Larsson, Massive MIMO with 1-bit ADC, submitted to IEEE Trans. Comm., 2014. <http://arxiv.org/abs/1404.7736>
- [Bjo15] Emil Björnson; Michail Matthaiou; Mérouane Debbah, Massive MIMO with Arbitrary Non-Ideal Arrays: Hardware Scaling Laws and Circuit-Aware IEEE Trans. Wireless Comm, 2015. <http://arxiv.org/abs/1409.0875>
- [Bog14] T. E. Bogale and L. B. Le, "Beamforming for multiuser massive MIMO systems: Digital versus hybrid analog-digital," in Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (To appear), Austin, Tx, USA, 10 – 12 Dec. 2014.
- [Den15] L. Deneire and A. de Almeida and E. de Carvalho and J. Mota, « Massive MIMO Using Antenna Array Modules », submitted to CAMSAP 2015
- [Tru13] Truong, K.T.; Heath, R.W., "The viability of distributed antennas for massive MIMO systems," in *Signals, Systems and Computers, 2013 Asilomar Conference on* , vol., no., pp.1318-1323, 3-6 Nov. 2013