

Sujet de thèse
École doctorale EEA de Lyon

Merci de compléter l'ensemble des rubriques et de lire les notes de bas de page.

Etablissement d'inscription : INSA Lyon ¹
École doctorale : ED 160 EEA de Lyon dirigée par Mr Delachartre Philippe
Intitulé du doctorat : Electronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser ²
Sujet de la thèse : Nouvelles stratégies de télé alimentation d'objets communicants et de drones en utilisant des techniques de formation de faisceau distribuée
Unité de recherche : CITI ³ , dirigée par Frédéric Le Mouël
Directeur/trice de thèse : Mr VILLEMAUD Guillaume
Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)⁴ : Mr HUTU Florin
Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) :

¹ A impérativement choisir dans la liste suivante : Ecole Centrale de Lyon, INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

² A impérativement choisir dans la liste suivante : Automatique // Electronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser // Génie Electrique // Ingénierie pour le vivant Traitement du signal et de l'Image)

³ A impérativement choisir dans la liste suivante : Laboratoire Ampère, CITI, CREATIS, INL, LAGEP, LGEF

⁴ Un/une co-encadrant-e n'est pas nécessairement co-directeur/trice de thèse puisque pour remplir ce rôle, il est nécessaire d'être habilité à diriger des recherches (pour plus de précision, voir le règlement intérieur de l'ED EEA, section 3.

Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels⁵ :

Collaborations potentielles avec des membres du laboratoire Ampère (automatique), avec l'équipe Chroma du CITI (drones) et avec des membres du projet européen IMMUNet (applications IoT).

Domaine et contexte scientifiques :

Avec l'avancement des technologies semiconducteur et la réduction de la taille et du cout de fabrication des objets communicants, des conditions favorables ont été créées pour produire des capteurs communicants performants qui permettent le monitoring de différents phénomènes physiques, qui ont une autonomie accrue et qui impliquent une intervention humaine limitée voire inexistante. L'autonomie reste néanmoins un problème majeur pour ce type de capteurs, la durée de vie du réseau qui le forme lui étant étroitement liée. Plusieurs techniques ont été proposées et validées en ce sens, en partant de l'optimisation de la consommation énergétique au niveau bloc fonctionnel jusqu'à une optimisation au niveau protocole de communication. Le déploiement de tels capteurs est un enjeu majeur pour les systèmes civils et militaires et des techniques permettant la réduction de l'énergie consommée par ces objets se combinent avec des techniques de récupération d'énergie ambiante pour envisager des capteurs communicants sans source d'alimentation locale. De même la téléalimentation de micro-drones est un sujet en pleine émergence qui peut bénéficier des mêmes approches.

Mots-clefs : radiocommunications, téléalimentation, IoT, drone, beamforming

Objectifs de la thèse :

Cette thèse adresse le problème de la synchronisation et de la mise en cohérence de phase des sources distribuées géographiquement. L'application envisagée est celle de la transmission de puissance sans fil en mettant en place des stratégies de type formation de faisceau distribuée. Ce projet souhaite aborder la problématique de la transmission de puissance sans fil vers un objet communicant à faible ressources énergétiques aussi bien de point de vue système de communication mais aussi du point de vue automatique ou le potentiel d'alimentation de micro-drones avec suivi de leur trajectoire. En automatique, le problème traité ici s'apparente à celui de la synchronisation d'un réseau de systèmes à retard ou bien à celui du suivi de trajectoire de référence. Les outils théoriques appliquées à ce scénario concret seront la commande de systèmes multi-agents, la commande de système à retard et l'observation de retard. Ces stratégies seront adaptées pour répondre aux contraintes matérielles des instruments de génération et d'analyse des signaux du laboratoire CITI. En effet, les « transcepteurs » vectoriels de signaux (VST) PXI-5646 de National Instruments sont ciblés dans un premier temps pour ensuite passer à une échelle supérieure en utilisant la plateforme CorteXlab.

Verrous scientifiques :

Cette thèse permettra d'aborder la problématique scientifique de la synchronisation et mise en cohérence de phase de sources qui sont distribuées géographiquement. Une attention particulière sera accordée aux contraintes matérielles pour la mise en oeuvre des

⁵ Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

techniques de synchronisation. En outre l'application de ces techniques à des équipements de type LoRa (IoT) ou pour l'alimentation de micro-drones est aussi un verrou important.

Contributions originales attendues :

- la proposition (au niveau théorique) des solutions robustes pour la synchronisation et la mise en cohérence de phase des sources. Il est attendu de trouver des algorithmes avec une vitesse de convergence accrue qui permettront d'assurer la synchronisation des sources malgré des dérives importantes de leurs oscillateurs locaux et/ou la mobilité du système.
- l'approche du problème de maximisation de l'énergie transmise vers un objet communicant comme un problème de commande par retour d'état sans connaissance à priori de la position de l'objet communicant par rapport aux différentes sources mais tout en tenant compte de la dissymétrie entre les capacités de calcul et énergétiques des sources et de l'objet communicant ou drone en question. L'application des techniques de transfert de puissance à travers des sources distribuées est originale, la coordination des sources étant utilisée principalement dans les systèmes de communications (notamment dans la 5G) afin de maximiser le rapport signal à bruit et implicitement accroître la quantité de données véhiculées.
- définir plusieurs scénarios d'utilisation réalistes pour déterminer quand est-ce que la technique de transmission de puissance sans fil en utilisant plusieurs sources distribuées est pertinente. En effet, plusieurs stratégies sont envisagées pour rendre autonome de point de vue énergétique un capteur communicant (« wake-up radio », récupération d'énergie, télé alimentation, etc.). Un bilan énergétique qui tient compte du rendement des différentes briques fonctionnelles coté objet communicant ou drone justifiera l'utilisation de la technique de formation de faisceau distribuée pour la télé alimentation de tels objets.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

La thèse proposée ici se consacrera à la validation de l'alimentation des objets communicants par des techniques de formation de faisceaux distribués. Premièrement, un bilan énergétique global sera dressé afin de montrer les avantages et les inconvénients de cette technique comparée aux approches classiques de récupération d'énergie provenant du champ électromagnétique. A l'issue de cette étude, une stratégie de réduction de la puissance émise par les points d'accès de façon à réduire au maximum la consommation énergétique globale sera entreprise.

La cohérence des signaux générés pour focaliser l'énergie en un point de l'espace, peut influencer les performances d'une telle approche et une étude de l'impact de la synchronisation sur la localisation des objets communicants sera réalisée. Plusieurs techniques de synchronisation distribuée ont été étudiées dans la littérature et, au niveau théorique, des techniques d'automatique non-linéaire ont donné les conditions de synchronisation [6] pour des réseaux de systèmes dynamiques. De plus, de travaux récents ont donné les conditions pour estimer le retard et l'état des systèmes non linéaires interconnectés [7]. Ce sont ces deux techniques pourront servir de base au développement des outils théoriques envisagés dans cette thèse.

Du point de vue de la source, le problème principal est l'adaptation de l'architecture de l'émetteur aux besoins des algorithmes de formation de faisceau distribué développés pendant la thèse. Le point de départ dans cette démarche sera l'approche développée dans [9] qui tient compte de la simplicité d'implémentation, vitesse de convergence et surcharge d'information véhiculée par le système de communication. Une pré-étude a déjà été menée [10], mais beaucoup de questions se posent encore sur l'implémentation la plus appropriée en fonction des conditions, de l'application et particulièrement de la mobilité de l'objet (avec un défi majeur pour les micro-drones).

Encadrement scientifique :

- **Description du comité d'encadrement :** [à compléter avec le rôle dans l'encadrement scientifique (en termes de compétences scientifiques, etc.) et le pourcentage d'implication du directeur de thèse ⁶ et des autres membres du comité⁷]

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
Mr VILLEMAUD Guillaume	CITI	Communications radio, antennes, WPT	50
Mr HUTU Florin	CITI	communications radio, electronique RF, traitement du signal, automatique	50

- Le comité d'évaluation de l'HCERES ayant demandé à l'école doctorale de limiter la taille du comité d'encadrement à deux membres (directeur de thèse compris), il est impératif de ne proposer des comités d'encadrement de taille plus importante que si cela est absolument nécessaire⁸ et **de le justifier soigneusement.**

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s) (Département/Equipe(s) impliquée(s)) (pourcentage du temps travail au sein de ce ou ces laboratoire(s)) :**

100%

⁶ Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin de l'année en cours ou bénéficier d'une dérogation du Conseil Scientifique lors du dépôt du sujet de thèse.

⁷ Dans le cas d'un comité d'encadrement réparti sur plusieurs établissements, la plus grande partie de l'encadrement est effectuée par des membres de l'établissement. Si l'encadrement de la thèse implique des membres hors de l'ED EEA, la part de l'encadrement des membres ED doit être très supérieur à 50%.

⁸ Un certain nombre de commissions type CNU ne reconnaissent un co-encadrement qu'au-delà d'un certain pourcentage. Souvent l'encadrement est considéré comme effectif si > 30%.

Financement de la thèse : Contrat doctoral de l'établissement d'inscription

Profil du candidat recherché (prérequis) :

Le candidat retenu devra avoir des connaissances en radiocommunications et traitement du signal, au niveau des circuits radiofréquences (RF) et mixtes, mais également au niveau des différents techniques d'automatique. Des connaissances dans les normes et standards de communications actuels seront particulièrement appréciées.

Objectifs de valorisation des travaux de recherche :

Les travaux de thèse feront l'objet de publications dans des revues internationales à comité de lecture dans les domaines des radiofréquences et de l'automatique. On veillera à présenter les résultats préliminaires lors de sessions de groupes de travail ou bien de conférences afin de faire évaluer le travail par la communauté scientifique.

Ces travaux pourront aussi permettre des collaborations, académiques au travers de projet nationaux ou européens, ou au travers de collaborations industrielles. Les applications dans le domaine des micro-drones ont un très fort potentiel de brevets et de transfert technologique.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat :

Pendant cette thèse, le candidat va développer son savoir-faire dans le domaine des architectures de récepteurs radiofréquence et des systèmes de radiocommunications modernes. Il développera également l'ensemble des compétences propres au travail de préparation d'une thèse de doctorat, comme par exemple la conduite d'un projet scientifique d'une durée limitée, l'analyse bibliographique, la capacité de synthèse et de restitution de son travail au travers de présentations et de publications scientifiques.

Le candidat va acquérir des compétences sur les outils logicielles et matérielles existants au laboratoire CITI. Notamment, l'utilisation des suites logicielles proposées par Keysight et National Instruments est ciblée, ainsi que le matériel associé.

L'étudiant aura aussi des compétences liées aux domaines applicatifs de l'IoT et des drones.

Perspectives professionnelles après le doctorat :

Les nombreuses compétences acquises dans les domaines des radiofréquences et de l'automatique durant la thèse laissent envisager des perspectives de débouchés variés qui dépendront des choix de l'étudiant. Les orientations aussi bien dans l'enseignement et la recherche publique ainsi que dans les entités de recherche et développement d'entreprises sont envisageables.

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

[1] D. Evans, The internet of things. How the next evolution of the internet is changing everything, CISCO, 2011.

[2] N. Shinohara, Power without wires. IEEE Microwave Magazine, 12(7) : 64–73, 2011.

- [3] S. Hemour et al., Towards Low-Power High-Efficiency RF and Microwave Energy Harvesting; IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 62, no. 4, pp. 965-976, 2014.
- [4] X. Chen et al. , Enhancing wireless information and power transfer by exploiting multi-antenna techniques, IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 4, pp. 133-141, 2015.
- [5] S. Suyama et al. , 5G multi-antenna technology and experimental trials, IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS), Shenzhen, 2016.
- [6] F. Hutu et al., Robust synchronization of different coupled oscillators: Application to antenna arrays, Elsevier, Journal of the Franklin Institute, 346 (5), pp.413-430, 2009.
- [7] V. Léchappé et al., Interconnected delay and state observer for nonlinear system with input delay, In Proc. of the American Control Conference, pp. 72–77, Boston, 2016.
- [8] F. Hutu et al., A new wake-up radio architecture for wireless sensor networks, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, pp. 1-10, 2014.
- [9] M. M. Rahman et al. Fully wireless implementation of distributed beamforming on a software-defined radio platform. In International Conference on Information Processing in Sensor Networks, pp. 305–315, 2012.
- [10] F. Hutu et al. Distributed beamforming for wireless power transfer URSI GASS 2020 - 33rd URSI General Assembly and Scientific Symposium, Aug 2020, Rome, Italy. pp.1-4