

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 : ¹ INSA de Lyon
École doctorale : ED 160 EEA de Lyon dirigée par Gérard SCORLETTI
Intitulé du doctorat : ² électronique, micro et nano-électronique
Sujet de la thèse : Nouvelles stratégies de télé alimentation d'objets communicants en utilisant des techniques de formation de faisceau distribuée
Unité de recherche : ³ Laboratoire CITI dirigé par Florent de DINECHIN
Directeur/trice de thèse : Guillaume VILLEMAUD
Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)⁴ : aucun
Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) : aucun

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 : Collaboration avec des membres du laboratoire Ampère sur la partie automatique.

Domaine et contexte scientifiques :

Avec l'avancement des technologies semi-conducteur et la réduction de la taille et du coût 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.

En effet, on assiste à une croissance exponentielle du nombre d'objets connectés. Toutes les prédictions indiquent le fait que dans les années à venir, le nombre d'objets connectés sera compté en dizaines de milliards (par exemple en [1], il est montré que l'année prochaine (2020) on pourra compter 50 milliards d'objets). Même si récemment, ce chiffre a été revu à la baisse, cela donne l'importance de ce domaine et surtout est entrevu une multitude d'applications pour ces objets connectés dans la vie de tous les jours, le monitoring de la santé, l'agriculture, la surveillance des processus industriels, etc.

Dans la plupart des cas, le problème majeur de ces objets est leur autonomie énergétique limitée vue que ces objets sont généralement alimentés sur batteries qui ont une capacité limitée. La solution de remplacer leur batterie n'est pas viable surtout pour des scénarios où les objets sont dans des endroits peu ou pas accessibles. Dans ce dernier cas, des techniques de récupération de l'énergie RF voir de transmettre la puissance nécessaire à travers des ondes électromagnétiques devient une approche pertinente [2].

Concernant les techniques de récupération d'énergie et du transfert de puissance RF, la limitation principale vient de la faible efficacité des circuits rectifieurs à faible niveau de puissance reçue. En effet, avec la technologie actuelle, pour avoir une efficacité supérieure à 10%, le niveau de puissance du signal reçu doit être supérieur à -20 dBm [3]. Cette faible efficacité à faible niveau de puissance se traduit par une portée limitée du système de transmission de puissance. C'est pour cela que d'autres travaux se sont consacrés à l'augmentation de cette efficacité en employant des techniques de formation de faisceau afin de minimiser l'effet du canal de propagation (évanouissements, multi trajets, etc.) pour ne pas citer que [4].

La technique appelée formation de faisceau distribuée (« distributed beamforming »), est bien connue dans le domaine des communications radio comme moyen d'augmenter les performances des systèmes de communication. En effet, la formation de faisceau distribuée, une des technologies envisagées pour la 5G, permettra d'assurer des débits plus importants que si des sources localisées sont déployées [5]. Cette approche peut être envisagée également pour transmettre de la puissance à travers les ondes radio. En effet, elle permet d'avoir la même quantité

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

d'énergie reçue par un objet communicant avec des niveaux de puissance émises plus faibles que dans le cas où une unique source est utilisée.

Mots-clefs : communications radio, formation de faisceau, transmission de puissance sans fil, synchronisation, automatique

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. 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 appliqués 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 « transepteurs » 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 distribués géographiquement. Une attention particulière sera accordée aux contraintes matérielles pour la mise en œuvre des techniques de synchronisation.

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.

- 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 des calcul et énergétiques des sources et de l'objet communicant en question. **L'application des techniques de transfert de puissance à travers des sources distribuées est originale, la coordination des sources état utilisée principalement dans les systèmes de communications (notamment dans la 5G) afin de maximiser du ratio 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 » [8], récupération d'énergie, télé alimentation, etc.). Un bilan énergétique qui tient compte du rendement des différentes briques fonctionnelles coté objet communicant 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 faisceau distribué. 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 retards et l'état des systèmes non linéaires interconnectés [7]. Ce sont ces deux techniques qui seront à la base du développement des outils théoriques envisagées dans cette thèse.

De point de vue 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.

Enfin, une évaluation de performances de tels systèmes pourra être faite au travers d'expérimentations réalisées à partir de terminaux radio logicielle, ceci pouvant être mené à large échelle grâce à la plate-forme CorteXlab déployée à l'INSA de Lyon, (Equipex FIT).

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 %
Guillaume Villemaud	CITI/Socrate	Communication s radio, antennes	50 %
Florin Hutu	CITI/Socrate	Electronique, traitement du signal	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.** [à compléter si plus de deux membres]
- **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)**) :

Intégration à 100 % au sein de l'équipe Socrate du Laboratoire CITI.

Financement de la thèse : Contrat doctoral de l'établissement d'inscription (INSA de Lyon)

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.

⁶ Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin 2019 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%.

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 de la radio fréquence et de l'automatique. On veillera à présenter les résultats préliminaires lors de session de groupe de travail ou bien de conférences afin d'évaluer le travail par la communauté scientifique.

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 existantes au laboratoire CITI. Notamment, l'utilisation des suites logicielles proposées par Keysight et National Instruments est ciblée.

Perspectives professionnelles après le doctorat :

Les nombreuses compétences acquises dans les domaines de la radiofréquence 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.