

Sujet de thèse :

Systemes d'Antennes Reconfigurables pour réseaux sans fils dynamiques dédiés à l'IoT.

(English version below)

La notion de monde intelligent futur a été adoptée depuis de nombreuses années [1]. Les personnes vivant dans un tel monde seront automatiquement et collectivement servies par des appareils intelligents (par exemple téléphones mobiles, montres, bracelets), des transports intelligents (voitures, autobus, trains), des endroits intelligents (maisons, bureaux, campus universitaires), etc... [2]. Du point de vue technologique, le développement durable de ces environnements intelligents est rendu possible par le paradigme de l'Internet des Objets (Internet-of-Things) plus connu par le sigle IoT [3], [4]. Au-delà des ordinateurs classiques ou des téléphones mobiles, l'IoT représente l'idée d'un réseau d'objets connectés à Internet omniprésent et ubiquitaire. Ces objets comprennent des capteurs pour surveiller l'environnement mais aussi des actionneurs et des dispositifs de contrôle pour interagir avec le monde physique [5], [6]. Le développement et le déploiement d'une infrastructure sans fil IoT fiable est donc une étape clé pour permettre les communications au sein d'un environnement IoT à la base hétérogène.

Parmi les différentes infrastructures sans fil IoT, les nouvelles normes LPWAN (Low Power Wide Area Networks), telles que LoRa, couvrent un large éventail d'applications (détection d'environnement, localisation, etc.) caractérisées par une longue portée de communication (dépassant plusieurs kilomètres) et un faible débit de données (jusqu'à quelques kbps). En raison des caractéristiques uniques de l'IoT, telles que le volume massif de données et de périphériques, les contraintes de ressources strictes et les niveaux d'activité hétérogènes, les futures infrastructures IoT sans fil doivent intégrer des solutions intelligentes et auto-organisées pour fonctionner efficacement dans un environnement IoT dynamique.

L'objectif de cette proposition de thèse est donc le développement de systèmes innovants d'antennes reconfigurables capables de s'adapter à de tels réseaux IoT sans fil dynamiques et multi-usages. L'idée est de changer le paradigme commun dans lequel l'antenne est seulement un moyen utilisé pour transmettre l'information réalisant un interface passif entre les milieu guides et le canal RF. L'antenne doit être maintenant un composant actif et intelligent capable de reconfigurer son comportement pour permettre une utilisation différente du réseau IoT. Le même réseau IoT pourra alors s'adapter plus rapidement à une tâche spécifique (par exemple, optimiser la couverture, augmenter la précision de la localisation, mieux surveiller une zone spécifique, etc.).

Plus spécifiquement, le travail de recherche se concentrera sur deux aspects différents:

1. Conception de structures d'antennes reconfigurables.

De nouvelles structures d'antennes reconfigurables seront proposées au niveau de la gateway réseau et du nœud final. Du côté de la gateway, où il y a moins de contraintes en termes d'espace disponible et de consommation d'énergie, l'accent sera mis sur la conception d'antennes ayant une plus grande capacité de reconfiguration. Cela inclut, par exemple, la reconfiguration simultanée de multiples caractéristiques de l'antenne (fréquence de rayonnement et rayonnement, par exemple), la reconfiguration de modèle dans le plan d'azimut et d'élévation, le coût des solutions développées, etc. Du côté des nœuds terminaux, l'accent sera mis sur le développement d'antennes agiles miniatures et à faible consommation d'énergie. Cela inclura, par exemple, la conception d'antennes reconfigurables en fréquence pour un fonctionnement multistandard, présentant un rendement plus élevé par rapport à leurs homologues multibandes passives.

L'activité de recherche visera à proposer des méthodologies de conception, qui pourraient être utilisées successivement pour réaliser des antennes pour différents cas d'utilisation.

Lorsque cela est possible, des modèles mathématiques approchés des structures d'antennes seront proposés afin de d'améliorer ou figer le processus de conception. De plus, l'utilisation d'algorithmes évolutifs, tels que le Particle Swarm Optimizer (PSO) [7] ou le Differential Evolution (DE), sera utilisé pour automatiser le processus, en particulier lorsque le nombre de descripteurs géométriques est important.

Le point de départ sera l'activité de recherche développée ces dernières années au LEAT sur les antennes reconfigurables pour diverses applications [8], [9]. De plus, de par la collaboration soutenue avec le Prof. Joseph Costantine [10], l'antenne développée pourrait être intégrée aux systèmes de récupération d'énergie RF pour IoT développés à l'Université Américaine de Beyrouth (AUB), au Liban.

2. Développement de stratégies de reconfiguration.

Des stratégies efficaces pour contrôler les états des antennes reconfigurables conçues seront également proposées. Deux cas seront considérés. Dans le premier, le contrôle est géré par le réseau, qui va reconfigurer les antennes des nœuds d'extrémité et de la gateway dans le but d'optimiser les réseaux pour un objectif lié à l'application. Par exemple, le réseau pourrait initialement paramétrer les antennes pour optimiser la couverture, et les reconfigurer successivement pour améliorer la précision de localisation de l'un des nœuds du réseau. L'intelligence du réseau sera assurée par des algorithmes d'apprentissage automatique (machine learning), qui seront élaborés au LEAT (en collaboration avec l'équipe de recherche du MCSOC) ou grâce à la collaboration actuelle avec la fondation FBK à Trento, en Italie, qui travaille sur le deep learning à partir de données complexes.

Dans le second cas, la reconfiguration est contrôlée par l'antenne elle-même. L'idée ici est de réaliser une antenne auto-adaptative capable de réagir de manière autonome à la variation de l'environnement. L'antenne reconfigurable doit donc également intégrer un mécanisme de détection ainsi qu'un algorithme de décision responsable du déclenchement de la reconfiguration. Une possibilité intéressante serait de permettre à la fois la détection (par exemple de la température) et la reconfiguration. Cette possibilité est offerte par l'utilisation de métal liquide pour réaliser la géométrie de l'antenne (ou une partie de celle-ci) [11]. Dans ce cas également, l'utilisation d'algorithmes de type machine learning pour le processus de décision sera étudiée, en tenant compte des ressources de calcul réduites disponibles sur le nœud final.

Pour activer en pratique les stratégies de reconfiguration développées, les antennes seront intégrées avec des composants électroniques de pointe (micro-contrôleur, émetteurs-récepteurs, etc.), permettant de réaliser ainsi des systèmes complets (comme cela a été fait, par exemple, dans [12] - [14]).

Informations pratiques :

Le/la candidat(e) justifiera d'un master II ou d'un diplôme d'ingénieur avec une spécialisation micro-ondes, hyperfréquences ou antennes avec un goût prononcé pour les démarches de modélisations, simulations tout en tenant compte de l'aspect prototypage associé. Une bonne maîtrise de l'anglais est indispensable. La connaissance pratique de logiciels de simulations électromagnétiques (HFSS, CST, ADS, autres) sera très appréciée.

- Mode de financement : contrat doctoral, Université Nice Sophia Antipolis-CNRS.
- Personnes à contacter pour candidater : Leonardo Lizzi (leonardo.lizzi@unice.fr), Robert Staraj (robert.staraj@unice.fr)
- Lieu de la Thèse : LEAT à Sophia Antipolis
- Modalité de candidature : adresser CV + relevés de notes récents, lettre de motivation.
- Date de début : septembre 2018.

PhD Research Proposal

Reconfigurable Antennas Systems for Dynamic Wireless IoT Networks

The smart vision of the world has been espoused for many years [1]. People living in such a smart world will be automatically and collaboratively served by smart devices (e.g., mobile phones, watches, bracelets), smart transportation (e.g., cars, buses, trains), smart places (e.g., homes, offices, university campuses), etc. [2] From the technological point of view, the sustainable development of such smart environments is enabled by the Internet-of-Things (IoT) paradigm [3], [4]. Going beyond classical computers or mobile phones, IoT represents the idea of a ubiquitous and pervasive network of objects connected to the internet. These objects include sensors to monitor the environment but also actuators and control devices to interact with the physical world [5], [6]. The development and deployment of a reliable IoT wireless infrastructure is therefore a key step to enable communications within the heterogeneous IoT environment.

Among the different IoT wireless infrastructures, the emerging Low Power Wide Area Networks (LPWANs) standards, such as LoRa, cover a wide scope of applications (environment sensing, localization, etc.) characterized by long communication range (exceeding few kilometers) and low data rate (up to few kbps). Because of the unique characteristics of IoT, such as massive volume of data and devices, stringent resource constraints and heterogeneous activity levels, future wireless IoT infrastructures must integrate smart self-organizing solutions to efficiently operate in the dynamic IoT environment.

The objective of this PhD research proposal is therefore the development of innovative reconfigurable antennas systems capable of adapting to such dynamic and multi-purposes wireless IoT networks. The idea is to change the common paradigm in which the antenna is only the medium used to transmit the information. The antenna is now an active and intelligent component capable of reconfiguring its behavior to enable different use of the IoT network. The same IoT network can therefore rapidly adapt to better fit a specific target (e.g, optimizing the coverage, increasing the localization accuracy, better monitoring a specific area, etc).

More specifically, the research work will focus on two different aspects:

1. **Design of reconfigurable antenna structures.**

New reconfigurable antenna structures will be proposed at both the network gateway and end-node level. On the gateway side, where there are less constraints in terms of available space and power consumption, the focus will be on the design of antennas having larger reconfiguration capability. This include, for example, the simultaneous reconfiguration of multiple antenna characteristics (e.g., radiation frequency and radiation mode), pattern reconfiguration in both the azimuth and elevation plane, etc. Nevertheless, dealing with IoT application, attention will be given to the complexity and the cost of the developed solutions. On the other hand, on the end-node side, the focus will be on the development of miniature and low-power consuming agile antennas. This will include, for example, the design of frequency reconfigurable antennas for multi-standard operation, exhibiting higher efficiency with respect to their passive multiband counterparts.

The research activity will be aimed at proposing antenna design methodologies, which could be successively used to realized antennas for different use cases. When possible, mathematical approximated models of the antenna structures will be proposed in order to fasten the design process. Moreover, the use of evolutionary algorithms, such as the Particle Swarm Optimizer (PSO) [7] or the Differential Evolution (DE), will be used to automate the process, especially when the number of geometrical descriptors is large.

The starting point will be the research activity developed in the last years at LEAT on reconfigurable antennas for various applications [8], [9]. Moreover, thanks to the ongoing collaboration with Prof. Joseph Costantine [10], the developed antenna could be integrated the RF energy harvesting systems for IoT developed at the American University of Beirut (AUB), Lebanon.

2. Development of reconfiguration strategies.

Efficient strategies to control the states of the designed reconfigurable antennas will be proposed as well. Two different cases will be considered. In the first case, the control is managed by the network, which will reconfigure the antennas of the end-nodes and the gateway with the aim of optimizing the networks for an application-related objective. For example, the network could initially set the antennas to optimize the coverage, and successively, reconfigure them to improve the accuracy in localizing one of the network nodes. The network intelligence will be provided by machine learning algorithms, which will be customized at LEAT (in collaboration with the MCSOC research team) or thanks to the ongoing collaboration with the FBK foundation in Trento, Italy, working on deep learning from complex data.

In the second case, the reconfiguration is controlled by the antenna itself. The idea here is to realize a self-adaptive antenna capable of autonomously react to the variation of the environment. The reconfigurable antenna must therefore also integrate a sensing mechanism as well as a decision algorithm responsible for the triggering of the reconfiguration. A promising possibility to enable both sensing (e.g., of the temperature) and reconfiguration is represented by the use of liquid metal to realize the antenna geometry (or part of it) [11]. Also in this case, the use of machine learning algorithms for the decision process will be evaluated, taking into account the reduced computation resources available on the end-node.

To practically activate the developed reconfiguration strategies, the antennas will be integrated with state-of-the-art electronic components (micro-controller, transceivers, etc.), thus realizing a complete system (as done, for example, in [12]-[14]).

Informations :

- **Candidate profile** : *Education*: MS or equivalent. *Background*: microwave, antennas, electromagnetics. Knowledge in EM simulation tools (ADS, CST, HFSS) is welcome.
- **Funding** : PhD grant from French "Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI)".
- **Start date** : september 2018
- **Duration** : 36 months
- **Contacts** : To apply please provide CV, motivation letter, and reference letters to: Leonardo Lizzi (leonardo.lizzi@unice.fr), Robert Staraj (robert.staraj@unice.fr)

References

- [1] Q. Han, S. Liang, and H. Zhang, "Mobile cloud sensing, big data, and 5G networks make an intelligent and smart world," *IEEE Netw.*, vol. 29, no. 2, pp. 40-45, Mar./Apr. 2015.
- [2] C. Zhu, V. C. M. Leung, L. Shu and E. C. H. Ngai, "Green Internet of Things for Smart World," in *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2151-2162, 2015.
- [3] P. Vlachas, R. Giaffreda, V. Stavroulaki, D. Kelaidonis, V. Fonteinis, G. Poullos, P. Demestichas, A. Somov, A. B. Biswas, and K. Moessner, "Enabling smart cities through a cognitive management framework for the internet of things," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 51, no. 6, pp. 102-111, 2013.
- [4] J. Jin, J. Gubbi, S. Marusic, and M. Palaniswami, "An information framework for creating a smart city through internet of things," *IEEE Internet of Things Journ.*, vol. 1, no. 2, pp. 112-121, 2014.
- [5] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Comput. Netw.*, vol. 54, no. 15, pp. 2787-2805, 2010.
- [6] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of things: a survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Comm. Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, 2015.
- [7] L. Lizzi, F. Viani, R. Azaro, and A. Massa, "A PSO-driven spline-based shaping approach for ultra-wideband (UWB) antenna synthesis," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 8, pp. 2613-2621, August 2008.
- [8] L. H. Trinh, F. Ferrero, L. Lizzi, R. Staraj, and J.-M. Ribero, "Reconfigurable antenna for future spectrum reallocations in 5G communications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1297-1300, 2016.

- [9] F. Ferrero, A. Chevalier, J. M. Ribero, R. Staraj, J. L. Mattei and Y. Queffelec, "A New Magneto-Dielectric Material Loaded, Tunable UHF Antenna for Handheld Devices," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 951-954, 2011.
- [10] F. Asadallah, J. Costantine, Y. Tawk, L. Lizzi, F. Ferrero, C. Christodoulou, "A Digitally Tuned Reconfigurable Patch Antenna for IoT Devices," 2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), San Diego, USA, July 9-14, 2017, pp. 917-918.
- [11] M. Cosker, L. Lizzi, F. Ferrero, R. Staraj, and J.-M. Ribero, "Realization of 3D Flexible Antennas using Liquid Metal and Additive Printing Technologies," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 971-974, 2017.
- [12] T. Houret, L. Lizzi, F. Ferrero, C. Danchesì and S. Boudaud, "Compact integrated IoT antenna robust to the effects of the environment," *2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, Paris, 2017.
- [13] P. Monin, F. Ferrero, L. Lizzi, C. Danchesì, N. Sornin, and S. Boudaud, "Enabling Miniature Position Tracker Using LoRa and GPS Technology," 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, April 10-15, 2016.
- [14] C. Pham, F. Ferrero, M. Diop, L. Lizzi, O. Dieng and O. Thiaré, "Low-cost antenna technology for LPWAN IoT in rural applications," *2017 7th IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI)*, Vieste, Italy, 2017, pp. 121-126.