

Titre en français : Développement des dispositifs rectennas multi-bandes hautement sensibles destinés à l'alimentation des capteurs communicants autonomes pour l'IoT.

Titre en anglais : Development of highly sensitive multi-band rectennas for powering Autonomous IoT Wireless Sensors.

Nom du directeur de thèse : Matthieu Egels, MCF-HDR

Co directeur : Chaouki Hannachi, MCF

Tel : 04 13 55 40 09

E-Mail : matthieu.egels@im2np.fr / chaouki.hannachi@im2np.fr

Laboratoire : IM2NP (UMR 7334 CNRS)

Technopôle de Château Gombert, Campus de Polytech Marseille, 60 rue Frédéric Joliot Curie, Bâtiment Néel - 2eme étage, 13453 Marseille cedex 13

Financement : demandé

Type de financement : Bourse ministérielle.

Résumé en français :

Aujourd'hui, les réseaux de capteurs sans fils (RCSF) sont de plus en plus employés dans une large gamme d'applications : industrie, domotique, médical, recherche scientifique, surveillance, etc. Cette expansion rapide est possible grâce aux recherches et innovations dans le domaine des micro-technologies et de la microélectronique. Les progrès réalisés ont permis d'intégrer davantage de fonctionnalités dans un volume de plus en plus petit (loi de Moore), tout en réduisant la consommation énergétique (du Watt au Microwatt). Parallèlement, il est devenu de plus en plus courant d'utiliser des capteurs et des réseaux de capteurs fonctionnant dans une plage d'énergie comprise entre 10 μ Ah et 50 mAh.

Malheureusement, le développement dans les technologies de récupération et stockage d'énergie ne suit toujours pas ce même rythme d'évolution technologique très rapide. En conséquence, l'amélioration de l'autonomie énergétique des systèmes communicants devient aujourd'hui un enjeu majeur pour leur déploiement massif dans notre environnement.

Une des solutions potentielles visant à améliorer l'autonomie et la gestion d'énergie des capteurs communicants, consiste à exploiter des micro-sources d'énergies ambiantes. Il devient pertinent de s'intéresser aux rayonnements électromagnétiques qui sont naturellement dissipés dans l'environnement comme source d'énergie pour de tels systèmes. En effet, la récupération et la conversion de ces ondes électromagnétiques en tension continue est possible grâce à l'utilisation des dispositifs rectennas (Rectifying Antennas). Ils se composent généralement d'une antenne réceptrice et un circuit de rectification à base de diodes. Ces dispositifs ont fait l'objet de beaucoup de recherches ces dernières années avec pour thématique principale, l'amélioration des performances notamment, la sensibilité, l'efficacité et le rendement.

Les différentes étapes de la thèse porteront sur la modélisation, la réalisation, et la caractérisation des circuits rectennas conçues à base d'antennes opérant simultanément dans plusieurs bandes de fréquences. Elles seront associées à des redresseurs hautement sensibles afin d'augmenter le niveau de puissance récupérée par l'antenne et optimiser la puissance continue convertie. Les bandes de fréquences concernées pourront être : GSM 1.8 GHz (1.6–2.1 GHz), WLAN 2.5 GHz (2.2–2.8 GHz), WiMax 3.5 GHz (3.1–4.0 GHz), WLAN 5.5 GHz (5.3–6.4 GHz) et 7.35 GHz (7.0–7.8 GHz). Le doctorant bénéficiera des outils de simulation et modélisation électromagnétique disponibles à l'IM2NP (ANSYS

HFSS, Advanced Design System (ADS)) ainsi que les moyens techniques de l'équipe, entre autres, la plateforme de caractérisation (analyseurs de réseau vectoriel, chambre anéchoïque, bancs de mesure...). L'objectif principal de cette thèse sera de fixer un nouvel état de l'art en termes d'efficacité totale du rectenna, de la sensibilité du redresseur, et la réduction de la taille.

Résumé en anglais:

Nowadays, wireless sensor networks (WSNs) are increasingly used in a wide range of applications: industry, home automation, medical, scientific research, monitoring, etc. This rapid growth is related to research and innovations in the field of micro-technologies and microelectronics. The progress achieved has allowed the integration of more functionalities in an increasingly smaller volume (Moore's law), while reducing energy consumption (from Watt to Microwatt). At the same time, it has become more common recently to use sensors and sensor arrays operating in the power range of 10 μ Ah to 50 mAh.

Unfortunately, development in energy harvesting and storage technologies is still not following the same pace of technological evolution. Accordingly, improving the energy autonomy of IoT devices has now become a major challenge for their massive deployment in our environment.

One of the potential solutions for improving the autonomy of wireless sensors is exploiting micro-sources of ambient energy, particularly electromagnetic radiation which is naturally dissipated in the system environment to be powered. This would be possible through the use of rectenna devices (Rectifying Antennas) for converting electromagnetic energy into direct current (DC). Those devices have recently been the subject of considerable research efforts, which mainly focused on improving, sensitivity and efficiency performances.

The different stages of the Ph.D. thesis will include the modeling, the realization, and the characterization of rectenna circuits. Those rectennas will be designed using multi-band antennas along with highly sensitive rectifiers to achieve an enhanced energy-harvested power level and an optimized RF/DC power conversion efficiency. The considered frequency bands are GSM 1.8 GHz (1.6–2.1 GHz), WLAN 2.5 GHz (2.2–2.8 GHz), WiMAX 3.5 GHz (3.1–4.0 GHz), WLAN 5.5 GHz (5.3–6.4 GHz) and 7.35 GHz (7.0–7.8GHz). During his tenure at the IM2NP as a Ph.D. student, the selected candidate will benefit from multi-tiered training to maximize his benefits. First, he will be guided in developing detailed and clear research objectives, milestones, and methodology for the planned research over the three years of his Ph.D. He will also benefit from the electromagnetic simulation and modeling tools available at IM2NP (ANSYS HFSS, Advanced Design System (ADS), CST Microwaves Studio, etc.) as well as radio frequency test and measurement equipment that is essential to his research activities including, analyzers vector network, anechoic chamber, measurement benches, etc...). The main aim of the thesis project will be to set a new state of the art in terms of power conversion efficiency, rectifier sensitivity, and size miniaturization.

Profil du candidat recherché :

Nous recherchons un élève-ingénieur ou un Master 2^{ème} année avec une spécialisation en électromagnétisme. Des connaissances en hyperfréquences seront fortement appréciés.

Publications sur le sujet :

1. C. Hannachi, S.O. Tatu, and Ke Wu, "Simplified implementation of millimeter-wave zero-bias

power detector for an accurate detection in six-port-based receivers", in Electronics Letters, vol. 56, no. 1, pp. 13-15, 9 1 2020.

2. Leclerc, C., Egels, M. and Bergeret, E. (2016) Design and Measurement of Multi-Frequency Antennas for RF Energy Harvesting Tags. Progress in Electromagnetics Research, 156, 47-53. <https://doi.org/10.2528/PIER15121803>
3. C. Hannachi, S. Boumaiza, and S. O. Tatu, "A Highly Sensitive Broadband Rectenna for Low Power Millimeter-wave Energy Harvesting Applications", IEEE WPTC 2018, Montreal, QC, Canada, June 3-7, 2018.
4. C. Hannachi and Ke Wu, "Dual-Mode RF Mixer for Low-Power Direct Conversion Receiver," Microwave and Wireless Components Letters, pp. 1-3.
5. C. Hannachi, B. Zougari, T. Djerafi, and S.O. Tatu, "A V-band High Dynamic Range Planar Integrated Power Detector: Design and Characterization Process", Microwave and Optical Technology Letters, Volume 28, Issue 11 pp. 2705-2949, 2017.