

Sujet de thèse

École doctorale EEA de Lyon

PERFORMANCES DES COMMUNICATIONS RADIOS BOOSTEES A L'AIDE DE RESEAUX DE TAGS AUGMENTES

Etablissement d'inscription : Université Claude Bernard Lyon 1

École doctorale : ED 160 EEA de Lyon dirigée par Mr Delachartre Philippe

Intitulé du doctorat : Electronique, Nanotechnologie, Optique et Laser

Sujet de la thèse : Réseau de tags piloté pour améliorer la communication entre deux nœuds radio

Unité de recherche : Ampère, dirigée par Christian Vollaire
--

Directeur/trice de thèse : Mr DUROC Yvan (Laboratoire AMPERE)
--

Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant) : Mr VILLEMAUD Guillaume (Laboratoire CITI)

Résumé

La RFID (Radio Frequency Identification) est aujourd'hui une technologie sans fil omniprésente dans les applications quotidiennes (transports, librairies, etc.) et professionnelles (industrie, agriculture, médical, etc.), notamment pour des applications de traçabilité, de contrôle d'accès, de logistique ou de maintenance. Bien que cette technologie soit mature et largement déployée, ses champs d'application sont en constante évolution.

La capacité de la RFID passive à se renouveler, dans un contexte où émergent les paradigmes de l'intelligence ambiante distribuée ou de l'Internet des objets, s'explique par ses avantages intrinsèques : une technologie sans fil intégrant la fonction d'identification et s'appuyant sur des tags à faible coût et télé-alimentés. La nature passive des étiquettes est particulièrement attrayante : elles n'intègrent aucune source d'énergie (c'est-à-dire qu'elles ne portent pas de piles, et ne nécessitent donc aucune maintenance, ni ne posent de problèmes majeurs de recyclage) ; elles n'émettent pas non plus d'énergie électromagnétique supplémentaire dans l'environnement, car elles se comportent comme de simples réflecteurs, qu'elles soient activées ou désactivées ; la transmission de l'information de l'étiquette au lecteur s'opère par rétro-modulation.

La RFID étant une technologie mature, qui s'étend à de plus en plus de domaines d'application, les prévisions de croissance du marché pour les décennies à venir sont impressionnantes. Bien que l'impact environnemental de ces technologies soit loin d'être négligeable, de nombreuses avancées ont rendu les étiquettes RFID plus facilement recyclables et/ou biodégradables, et les bénéfices directs et indirects de la RFID sont considérables.

L'objectif de ce projet de thèse est de démontrer qu'un réseau de balises peut être « contrôlé » (configuré) pour améliorer la communication entre deux nœuds radio, en utilisant le même principe que pour les surfaces intelligentes reconfigurables. Deux types d'applications sont visés, correspondant à deux objectifs principaux. Le premier est d'améliorer les systèmes de traçabilité basés sur la technologie RFID, en les rendant adaptables aux conditions de propagation des ondes radio dans l'environnement en question. Le second est d'utiliser des ensembles d'étiquettes RFID déjà présentes dans une zone pour améliorer la portée d'autres systèmes radio utilisant la même bande de fréquence radio. Ces deux défis se positionnent clairement dans le secteur industriel (Industrie 4.0 et surtout 5.0), et plus particulièrement dans les applications de logistique, de traçabilité et d'inventaire, ainsi que dans la coexistence des travailleurs humains avec les robots.

Principales tâches et compétences à acquérir :

- Établissement de l'état de l'art (RIS, multi-tag UHF RFID, approches conjointes), choix des scénarios et du dimensionnement, étude de la littérature.
- Études théoriques (couplages électromagnétiques, calculs d'impédance et de fonction de rayonnement) et calculs d'impédance de charge optimale. Études de simulation (4NEC wireline, CST 3D, système ADS, modèles de canaux dans Matlab).
- Antennes prototypes Mesures en laboratoire Mesures sur la plateforme Cortexlab Tests basés sur des étiquettes RFID Analyse des résultats
- Promotion / valorisation par des publications et participation à des conférences

Domaine et contexte scientifiques :

Domaine des télécommunications (6G, Wi-Fi, RFID, etc.) et domaine industriel (industry 4.0 et surtout 5.0)

Applications de logistique, de traçabilité et d'inventaire, et aussi de coexistence de travailleurs humains avec des robots.

Optimisation des communications radio par une approche originale dans un contexte de développement de l'économie circulaire.

Mots-clefs : RFID (Radiofrequency Identification) ; RIS (Reconfigurable Intelligent Surface) ; Réseaux de télécommunications

Objectifs de la thèse :

Partie théorique : en considérant en première approximation que les tags RFID sont équivalents à des dipôles fermés sur des charges pilotables, étudier par calcul électromagnétique quel serait l'impact d'un réseau de tags hétérogènes (disposés aléatoirement dans l'environnement par exemple) sur les caractéristiques du canal radio entre la source et le récepteur.

Etudes en simulation : valider les études théoriques (logiciel type 4NEC) ; puis, pour plus de réalisme, utiliser un simulateur 3D comme CST Microwave Studio pour modéliser de vraies antennes imprimées ; enfin prendre en compte un canal de transmission complexe (plusieurs approches possibles en termes de simulateurs). Des outils algorithmiques pour déterminer les configurations optimales seront également nécessaires (e.g. Matlab).

En parallèle de cette étude en simulation, réfléchir sur les aspects protocolaires afin d'être en mesure de déduire si le gain en réduction des impacts sur l'entièreté de la vie du système est non négligeable par rapport à un système classique (qui nécessiterait par exemple plus de lecteurs RFID pour couvrir une même zone).

Réaliser un démonstrateur pour preuve de concept expérimentale et validation des fonctions clés du concept en laboratoire. Selon l'avancement, un ou plusieurs scénarios seront envisagés.

Verrous scientifiques :

Démontrer qu'un réseau de tags peut être « piloté » (configuré) pour améliorer la communication entre deux nœuds radio, en exploitant un principe similaire que celui des surfaces intelligentes reconfigurables (RIS).

Fournir une solution plus réaliste et plus flexible que les solutions actuelles théoriques proposées à base de RIS.

Contributions originales attendues :

Deux cas d'applications bien distincts seront considérés :

-Le premier restera centré sur les technologies RFID UHF et évaluera l'impact de notre approche sur les performances d'un lecteur RFID dans un environnement complexe (e.g. entrepôt logistique).

- Le second cas sera celui de l'amélioration de la couverture d'un système de communication radio tiers (type LoRa, ZigBee ou autre) en configurant les tags RFID présents dans l'environnement.

Dans les deux cas, la bande de fréquence visée sera la bande UHF à 868 MHz, même si les résultats seront potentiellement transposables à d'autres bandes de fréquences (par exemple 2.4 GHz).

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

1/ État de l'art et scénarios

Établissement de l'état de l'art (RIS, RFID UHF multi-tags, approches conjointes), choix des scénarios et dimensionnement, veille bibliographique.

2/ Étude théorique et simulations

Etude théorique (couplages électromagnétiques, calculs d'impédances et de fonction de rayonnement) et calculs d'impédances de charge optimales. Etudes en simulation (filaire 4NEC, 3D CST, système ADS, modèles de canaux sous Matlab).

3/ Expérimentations et POC

Réalisation de prototype d'antennes. Mesures en laboratoire. Mesures dans la plateforme CorteXlab. Tests basés sur des tags RFID. Analyse des résultats.

4/ Étude d'impacts

Bilan GES (bilan d'émissions de gaz à effet de serre) du projet et ACV (analyse de cycle de vie) comparative des solutions proposées sur au moins un cas d'étude (étude protocolaire incluse).

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

Profil du candidat recherché : Ingénieur ou master en télécommunications / électronique avec expérience sur logiciels tels que Matlab/Octave, CST/HFSS/ADS avec un bon niveau en anglais

Perspectives professionnelles après le doctorat : Ingénieur R&D ou chercheur en radiofréquence / traitement du signal appliqué ; enseignant-chercheur

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

Travaux sur les RIS :

- "Reconfigurable intelligent surfaces (RIS); Use cases, deployment scenarios and requirements," ETSI GR RIS 001, ETSI, Apr. 2023.
- Y. Liu, X. Liu, X. Mu, T. Hou, J. Xu, M. Di Renzo, and N. Al-Dhahir, "Reconfigurable intelligent surfaces: Principles and opportunities," IEEE communications surveys & tutorials, vol. 23, no. 3, pp. 1546–1577, 2021.
- M. Nerini, S. Shen, H. Li, M. Di Renzo and B. Clerckx, "A universal framework for multiport network analysis of reconfigurable intelligent surfaces", <https://arxiv.org/abs/2311.10561>, 2023.
- Q. Wu, S. Zhang, B. Zheng, C. You, R. Zhang, "Intelligent reflecting surface-aided wireless communications: a tutorial," IEEE Transactions on Communications, vol. 69, no. 5, May 2021.
- M. Di Renzo et al., "Smart radio environments empowered by reconfigurable intelligent surfaces: how it works, state of research, and the road ahead," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no. 11, pp. 2450-2525, Nov. 2020.

Travaux sur des fonctionnalités avancées de RFID :

- T. Lassouaoui, F. Hutu, Y. Duroc, G. Villemaud. "Performance evaluation of passive tag to tag communications", IEEE Access, IEEE, 2022, pp.1-12.
- D. Ba, I. Dioum and Y. Duroc, "Theoretical considerations on the impact of nearby tags on the wireless power transfer from the reader to the target tag in passive UHF RFID," in IEEE Journal of Radio Frequency Identification, vol. 7, pp. 463-471, 2023.
- F. Nanni, S. Nappi and G. Marrocco, "Potentiometric sensing by means of self-tuning RFID ICs," 2022 IEEE International Conference on RFID (RFID), Las Vegas, NV, USA, 2022, pp. 17-22

Travaux avec lien entre RFID et RIS :

- M. El-Absi et al., "Path loss modeling of RFID backscatter channels with reconfigurable intelligent surface: experimental validation," IEEE Access, vol. 11, pp. 108532-108543, 2023.
- F. Lestini, G. Marrocco, C. Occhiuzzi, "RFID-based reconfigurable intelligent surfaces: towards wireless and ultra-low-power reconfigurability", in 18th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), IEEE, 2024, Glasgow, UK.
- F. Lestini, G. Marrocco and C. Occhiuzzi, "Feasibility of RFID-based control of reconfigurable intelligent surfaces (RISs) for wireless communication systems," 2023 IEEE 13th International Conference on RFID Technology and Applications (RFID-TA), Aveiro, Portugal, 2023, pp. 241-244.