

Sujet de thèse : Augmentation du débit LoRaWAN à partir des caractéristiques physiques des trames LoRa

Laboratoire d'affectation : LIMOS - CNRS (Clermont-Ferrand), avec une possibilité de mobilité à Tokyo (Japon) de 6 mois ou plus.

Contexte

Les réseaux sans fil à longue portée et à basse consommation énergétique (LPWAN) permettent à des équipements fonctionnant sur piles de communiquer sur de très grandes distances, typiquement autour de la dizaine de kilomètres en extérieur. Ces réseaux ont de nombreuses applications, notamment en surveillance environnementale (surveillance de forêts, de cours d'eaux, de faune de basse montagne, etc.). Les réseaux LPWAN sont désormais largement utilisés dans les applications innovantes du domaine de l'Internet des Objets.

LoRaWAN [1] est un standard ouvert de réseau LPWAN, qui s'appuie sur les deux modulations LoRa et LR-FHSS [2]. Ces deux modulations sont très complémentaires :

- *La modulation LoRa*, très répandue actuellement, est focalisée sur la portée : un petit équipement (de la taille d'une carte bancaire) peut communiquer à une passerelle située à plusieurs kilomètres de lui.
- *La modulation LR-FHSS*, beaucoup plus récente, est focalisée sur le passage à l'échelle : le même petit équipement peut communiquer avec un satellite en basse orbite, ce qui est particulièrement utile dans des zones isolées (ex : vallées, montagnes, forêts, océans, déserts, etc.).

LoRaWAN est probablement le standard le plus utilisé dans les réseaux LPWAN [3]. Toutefois, LoRaWAN a un débit très faible. Il est donc crucial de développer des techniques visant à améliorer le débit offert par ce standard.

Objectifs de la thèse

L'objectif de cette thèse est d'exploiter les caractéristiques physiques des trames LoRa et LR-FHSS pour augmenter le débit LoRaWAN. Une des approches à explorer consiste à identifier les nœuds grâce aux caractéristiques spécifiques des émetteurs, ce qui permet de supprimer l'identifiant du nœud de l'entête des trames, et ainsi d'économiser quelques octets, ou de retrouver l'identifiant d'une trame dont l'entête a été perdu (ce qui est fréquent quand le trafic est dense avec la modulation LR-FHSS [4]). Cette approche a aussi l'avantage d'augmenter la sécurité des communications. Une autre approche à étudier est d'améliorer les techniques actuelles de décodage de trames en collision [5], en utilisant des informations provenant de plusieurs passerelles, plutôt qu'en le faisant sur chaque passerelle indépendamment. D'autres techniques à envisager concernent l'intégration de méthodes d'IA tels que l'apprentissage par renforcement, et de méthodes d'optimisation mathématiques, afin de maximiser le taux de trames identifiées et décodées avec succès.

Les concepts proposés seront étudiés et mis en œuvre sur des radios logicielles hautement configurables, en utilisant la puissance de serveurs de calcul.

Compétences :

- Compétences requises : bon niveau d'anglais, bonnes compétences en programmation (C, C++, python), bonne connaissance des réseaux, bonne connaissance des réseaux sans fil
- Compétences souhaitées : connaissance des technologies LPWAN (LoRaWAN, LoRa), utilisation de radios logicielles

Environnement de travail :

- Travail en français ou en anglais, en France et au Japon
- Affectation principale au laboratoire LIMOS – CNRS à Clermont-Ferrand
- Un ou deux séjours (chacun d'environ six mois) au Japon

Encadrants :

- Alexandre Guitton (France) – alexandre.guitton@uca.fr
- Nancy El Rachkidy (France) – nancy.el_rachkidy@uca.fr
- Megumi Kaneko (Japon) – megkaneko@nii.ac.jp

Informations supplémentaires :

- Le financement en France est acquis (via Clermont Auvergne Métropole).

Références bibliographiques :

- [1] LoRa Alliance, « TS001-1.0.4 LoRaWAN® L2 1.0.4 Specification », 2020.
- [2] H. U. Rahman, M. Ahmad, H. Ahmad and M. A. Habib, "LoRaWAN: State of the Art, Challenges, Protocols and Research Issues," 2020 IEEE 23rd International Multitopic Conference (INMIC), Bahawalpur, Pakistan, 2020, pp. 1-6.
- [3] G. Boquet, P. Tuset-Peiro, F. Adelantado, T. Watteyne, X. Vilajosana. « LR-FHSS: Overview and Performance Analysis », IEEE Communications Magazine, 2021.
- [4] Diego Maldonado, Leonardo S. Cardoso, Juan A. Fraire, Alexandre Guitton, Oana Iova, Megumi Kaneko, Hervé Rivano. « Enhanced LR-FHSS receiver for headerless frame recovery in space-terrestrial integrated IoT networks », Computer Networks, 2025.
- [5] Weixuan Xiao, Megumi Kaneko, Nancy El Rachkidy, Alexandre Guitton. « Integrating LoRa Collision Decoding and MAC Protocols for Enabling IoT Massive Connectivity », IEEE Internet of Things Magazine, 2022.