

Département d'Informatique  
Faculté des Sciences  
Université de Mons

# Propositions de sujets de Mémoires

## Année 2020-2021

### Contents

<b>1</b>	<b>Ordonnancement de communications UWB-TSCH à l'aide d'un solveur SMT</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Convergence des protocoles de routage dynamiques</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Conception et évaluation d'une architecture hybride de réseaux de capteurs reposant sur les technologies radio LoRa et IEEE802.15.4</b>	<b>4</b>

# 1 Ordonnancement de communications UWB-TSCH à l'aide d'un solveur SMT

**Service:** Réseaux et Télécommunications

**Directeur:** B. Quoitin

**Rapporteurs:** M. Charlier et à définir

## Description

L'objectif de ce projet est d'expérimenter l'ordonnancement de communications à l'aide d'un solveur SMT (*Satisfiability Modulo Theories*). Un solveur SMT présente l'avantage de permettre de vérifier des contraintes exprimées par exemple en logique du premier ordre, au contraire d'un solveur SAT qui sera limité à la logique booléenne. Un solveur SMT permet également de manipuler des données plus complexes que des booléens, comme p.ex. des entiers, à l'aide de "théories". Dans ce projet, il est conseillé d'utiliser le solveur open-source Z3 [1].

Les communications à ordonnancer, sont celles d'un réseau UWB-TSCH [2]. Il s'agit d'un réseau utilisant des communications sans fil à très large bande (*Ultra WideBand*) combinant multiplexage temporel (*Time Slotted*) et saut de fréquences (*Channel Hopping*). Dans un tel réseau, les communications sont organisées à l'intérieur d'une matrice à deux dimensions appelée *slotframe* dont chaque cellule est indexée par le temps (numéro de timeslot) et par le canal fréquentiel. Etablir le contenu de cette *slotframe* peut être vu comme un problème d'optimisation où il s'agit d'établir toutes les communications, sans que celles-ci n'entrent en conflit. Il faudra par exemple empêcher que deux communications différentes soient prévues dans une même cellule ou qu'un noeud doivent être actif dans deux canaux simultanément. L'objectif d'optimisation sera de limiter la taille de la *slotframe*. Dans le contexte UWB-TSCH, deux types de communications doivent être ordonnancées : des échanges de message permettant l'estimation de la distance entre les protagonistes et le rapatriement de ces estimations vers un point de collecte, le long d'un arbre recouvrant.

## Exigences ou prérequis

Intérêt pour les systèmes embarqués et les réseaux informatiques.

## References

- [1] Leonardo de Moura and Nikolaj Bjørner. "Z3: An Efficient SMT Solver". In: *Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems*. Ed. by C. R. Ramakrishnan and Jakob Rehof. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 337–340. ISBN: 978-3-540-78800-3.
- [2] Maximilien Charlier, Bruno Quoitin, and David Hauweele. "Challenges in Using Time Slotted Channel Hopping with Ultra Wideband Communications". In: *Proceedings of the International Conference on Internet of Things Design and Implementation*. IoTDI '19. Montreal, Quebec, Canada: ACM, 2019, pp. 82–93. ISBN: 978-1-4503-6283-2. DOI: 10.1145/3302505.3310071. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/3302505.3310071>.

## 2 Convergence des protocoles de routage dynamiques

**Service:** Réseaux et Télécommunications

**Directeur:** Bruno Quoitin

**Rapporteurs:** *to be defined*

### Description

Bien qu'étudiée depuis plusieurs dizaines d'années, la convergence des protocoles de routage dynamiques reste un sujet de recherche d'actualité. Bertsekas et Gallager [1] montraient déjà en 1992 que les protocoles dits "à vecteurs de distances" (p.ex. RIP) qui reposent sur une version distribuée de l'algorithme de Bellman-Ford peuvent mener à des résultats optimaux. Ces protocoles sont cependant sujets à des problèmes de convergence tels que le "comptage à l'infini". Avec l'avènement du routage interdomaine et des protocoles dits "vecteurs de chemins" combinés à des politiques de routage (p.ex. BGP), de nouvelles difficultés sont survenues : certains systèmes sont exempts de solution ou possèdent plus d'une solution, ce qui peut entraîner des oscillations permanentes. Ces systèmes ont suscité la curiosité des chercheurs depuis le début de ce siècle, menant à des résultats théoriques ad-hocs tels que ceux de Griffin et al [2] ou Sami et al [3].

En 2005, Sobrinho [4] propose une approche algébrique du routage dynamique. Il montre que plusieurs protocoles de routage avec des objectifs divers tels que *shortest-paths*, *widest-paths* ou encore des protocoles à *vecteurs de chemins* peuvent être exprimés dans son cadre théorique, laissant espérer qu'une théorie intégrée du routage est possible. Sobrinho donne également des conditions pour qu'un algèbre de routage converge toujours et/ou donne des solutions optimales. Plus récemment, Daggit, Gurney et Griffin [5] ont revisité le cadre théorique de Sobrinho dans le cas d'un fonctionnement asynchrone et imparfait des protocoles (pertes, ré-ordonnancement et duplication des messages).

L'objectif de ce mémoire est de se plonger dans l'abondante littérature portant sur la convergence des protocoles de routage dynamiques, de découvrir les cadres théoriques proposés par les différents auteurs et de les présenter sous forme cohérente.

### Exigences ou prérequis

Intérêt pour les réseaux informatiques et leur modélisation mathématique.

### References

- [1] Dimitri Bertsekas and Robert Gallager. *Data Networks (2nd Ed.)* USA: Prentice-Hall, Inc., 1992. ISBN: 0132009161.
- [2] Timothy G. Griffin, F. Bruce Shepherd, and Gordon Wilfong. "The Stable Paths Problem and Interdomain Routing". In: *IEEE/ACM Transactions on Networking* 10.2 (Apr. 2002), 232–243. ISSN: 1063-6692. DOI: 10.1109/90.993304. URL: <https://doi.org/10.1109/90.993304>.
- [3] R. Sami, M. Schapira, and A. Zohar. "Searching for Stability in Interdomain Routing". In: *IEEE INFOCOM 2009*. 2009, pp. 549–557.
- [4] João Luís Sobrinho. "An Algebraic Theory of Dynamic Network Routing". In: *IEEE/ACM Transactions on Networking* 13.5 (Oct. 2005), 1160–1173. ISSN: 1063-6692. DOI: 10.1109/TNET.2005.857111. URL: <https://doi.org/10.1109/TNET.2005.857111>.
- [5] M. L. Daggit, A. Gurney, and T. G. Griffin. "Asynchronous Convergence of Policy-Rich Distributed Bellman-Ford Routing Protocols". In: *Proceedings of the ACM SIGCOMM Conference*. 2018.

### 3 Conception et évaluation d'une architecture hybride de réseaux de capteurs reposant sur les technologies radio LoRa et IEEE802.15.4

**Service:** Réseaux et Télécommunications

**Directeur:** B. Quoitin

**Rapporteurs:** à définir

#### Description

L'objectif de ce mémoire est la conception d'une architecture de réseaux de capteurs utilisant deux technologies de transmission radio différentes : LoRa et IEEE 802.15.4. Cette architecture serait organisée sous forme d'une arborescence à 3 niveaux, comme illustré à la Fig. 3. La racine de l'arbre est le point de collecte ou la passerelle vers Internet. Elle est équipée d'une interface LoRa. Au 2<sup>ème</sup> niveau se trouvent des noeuds munis de deux interfaces radio, l'une LoRa et l'autre IEEE 802.15.4. Ces noeuds agissent comme pont entre les deux technologies. Ils pourraient aussi éventuellement se charger d'effectuer de l'aggrégation de données dans le sens montant ou comme point de diffusion pour du broadcast/multicast dans le sens descendant. Les noeuds feuilles (3<sup>ème</sup> niveau) sont uniquement équipés d'une radio IEEE 802.15.4 et munis de capteurs et/ou actuators. Leur rôle est de transmettre les mesures effectuées vers le point de collecte et de changer l'état de leurs actuators en fonction des commandes reçues. Le déploiement d'une telle architecture est envisagé pour la surveillance de cultures dont la topographie est difficile (p.ex. pas toujours de lien en ligne directe).

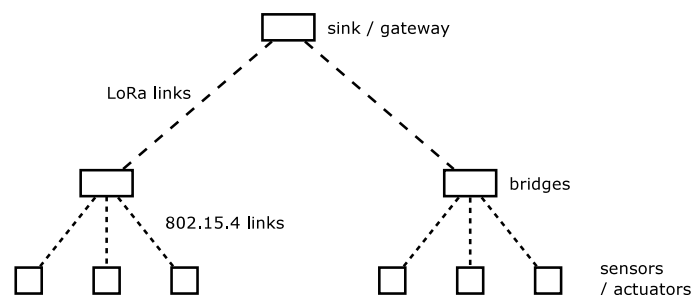


Figure 1: Illustration d'un réseau hybride LoRa / IEEE 802.15.4 organisé en 3 niveaux.

La conception de cette architecture devrait prendre en compte les contraintes suivantes :

- Les noeuds du réseau sont fortement contraints énergétiquement. Ils seront typiquement alimentés par une batterie éventuellement associée à des panneaux solaires et un régulateur de charge. Il est par conséquent nécessaire de faire attention à leur consommation énergétique, notamment en mettant en oeuvre un protocole radio à cycle éveil/veille (p.ex. ContikiMAC ou TSCH).
- Les caractéristiques des liens radio LoRa et IEEE 802.15.4 sont très différentes et susceptibles de changer au cours du temps. Par exemple, dans le scénario de déploiement envisagé, la croissance des feuilles des cultures surveillées peut devenir un obstacle aux communications ou en atténuer fortement les signaux. Il pourrait donc être imaginé que le réseau IEEE 802.15.4 prenne la forme d'un maillage plutôt qu'une étoile, ce qui offrirait des chemins alternatifs entre les feuilles et le pont auquel elles sont assignées.

Le mémoire doit mener dans un premier temps une réflexion théorique sur la conception de ce réseau et dans un second temps en fournir une implémentation sous forme d'un prototype fonctionnel. Ce dernier servira à mener une validation et une campagne d'évaluation. Avant l'étape de conception, il serait approprié de parcourir la littérature scientifique à la recherche d'architectures similaires.

**Exigences ou prérequis**

Intérêt pour les systèmes embarqués et les réseaux informatiques.