

## Étude expérimentale sur le paramétrage dynamique du protocole de routage RPL pour l'IoT grâce au SDN

Gladys Diaz, Khaled Boussetta

Equipe Réseaux – L2TI – Intitut Galilée - USPN

Emails: {gladys.diaz, khaled.boussetta}@univ-paris13.fr

### Contexte

L'Internet des objets (IoT) est un catalyseur pour de nombreux domaines d'application tels que le bâtiment intelligent, l'automatisation industrielle ou encore les systèmes de surveillance des facteurs infectieux et de qualité de l'air.

Lorsque l'architecture IoT intègre au niveau le plus bas, un réseau de capteurs sans fil, l'acheminement des données entre capteurs en mode multi-sauts vers la passerelle Internet peut s'appuyer sur des routes construites grâce au protocole *Routing Protocol for Lossy Low-power Networks* (RPL) [1]. Ce dernier est standardisé par l'IETF pour tenir compte des capacités limitées des nœuds IoT en réduisant la fréquence d'envoi des messages de signalisation dès lors que la topologie est stabilisée. Toutefois ce protocole, n'a pas été conçu pour optimiser la signalisation en tenant compte des spécificités du trafic supporté. Notamment lorsque celui-ci est hautement variable dans le temps et dans l'espace.

Cette adaptation pourrait être apportée grâce au Software-Defined Networking (SDN) [2]. Avec ce paradigme la fonctionnalité de contrôle est virtualisée. Cela permet une reconfiguration rapide du réseau en réponse aux exigences dynamiques des applications. Cependant, l'application du modèle SDN dans l'IoT soulève d'importants verrous en raison des ressources (traitement et communication) limitées des nœuds IoT. L'adéquation du SDN avec l'IoT pose encore de nombreuses questions.

L'objectif de ce stage est d'apporter des éléments de réponses en prenant comme cas d'étude le paramétrage dynamique du protocole de routage RPL grâce au SDN. L'un des points clefs de cette étude est l'approche orientée expérimentation qui sera conduite sur la plateforme IoT développée au L2TI.

### Problématique scientifique

Nous considérons une architecture IoT multi-niveaux. Le niveau le plus bas est composé d'un réseau de capteurs sans fil. Ce dernier utilise le protocole de routage multi-sauts RPL pour acheminer le trafic de données vers une passerelle. Celle-ci assure la connexion Internet du réseau de capteurs vers un serveur de traitement local, appelé Edge. Ce dernier est en charge d'un certain nombre d'opérations permettant de réduire, d'anonymiser et de sécuriser le trafic qui est relayé vers le cloud. Le dernier niveau étant celui des terminaux des utilisateurs du trafic IoT généré.

Nous considérons divers types de capteurs. Certains peuvent collecter des données de façon périodique. C'est par exemple le cas de capteurs météorologiques (température, humidité). D'autres capteurs peuvent générer des données de façon asynchrone. Ces données sont produites suite au déclenchement de certains événements (e.g. alerte, détection d'un mouvement) ou lorsqu'un capteur est requêté.

RPL étant un protocole de routage proactif, le maintien des tables de routage nécessite l'échange de messages de signalisation entre les capteurs selon un algorithme de temporisation appelé *Trickle* [3]. Cet algorithme permet de réduire la fréquence d'envoi des messages de signalisation, lorsque la topologie du réseau est stable. En cas de changement de topologie, la fréquence d'envoi des messages est augmentée afin d'accélérer la convergence des tables de routage.

Plusieurs temporisateurs régissent l'algorithme *Trickle* et leur paramétrage est essentiel pour le bon fonctionnement de RPL. Toutefois, la temporalité des messages de signalisation est sensible au changement de topologie (e.g. mobilité des nœuds ou variation de la qualité des liens radio) mais n'est pas dépendante au trafic de données. Dès lors, lorsque le trafic de données est sporadique et asynchrone, les messages de signalisation RPL induisent une surcharge énergétique qui devrait être minimisée.

A cette fin, nous souhaitons étudier via une recherche guidée par l'expérimentation l'apport du paradigme SDN pour adapter la signalisation du protocole RPL à la dynamique du trafic généré par les capteurs. La finalité étant de réduire la consommation énergétique des capteurs et de prolonger la durée de vie du réseau.

## Méthodologie

L'étude sera réalisée sur une plateforme d'expérimentation IoT en cours de développement au L2TI. L'infrastructure est composée de plusieurs capteurs, nœuds IoT de type *Zolertia Z1* et de Raspberry PI 3 agissant comme étant les nœuds Edge. Les technologies radio supportées sont de type IEEE 802.15.4 (ZigBee) et LoRa. La couche logicielle inclut l'OS *Contiki-NG*, qui supporte le protocole RPL, ainsi que *Thingsboard* qui est une plateforme IoT open source permettant de collecter, traiter, stocker et visualiser les données générées par les capteurs.

Le développement de cette plateforme est incrémental et certaines fonctionnalités peuvent encore être ajoutées afin d'enrichir les services offerts. Par ailleurs, le développement a été réalisé sur des prototypes composés d'un nombre relativement réduit de nœuds IoT. Typiquement 3 unités. Le déploiement à plus grande échelle n'est pas encore réalisé.

## Objectifs du stage

La première partie du stage sera dédiée à la montée en compétence sur les technologies utilisées dans la plateforme IoT au L2TI et la réalisation d'un état de l'art sur les travaux en lien avec le protocole de routage RPL et le paradigme SDN dans l'IoT.

L'objectif suivant est de déployer un plus grand nombre de capteurs/nœuds IoT au sein du L2TI. Nous visons une quinzaine de nœuds de type *Zolertia Z1* opérant avec la technologie Zigbee et configurés pour utiliser le protocole de routage RPL. La finalité de ce déploiement à plus grande échelle est de mener une première campagne d'expérimentation afin d'observer et d'analyser les performances du protocole RPL en tenant compte du rapport entre coût énergétique induit et le trafic de données générés par les divers capteurs (température, luminosité).

Le second objectif est d'étudier l'apport du SDN. Pour cela, nous allons nous intéresser à deux implémentations SDN open-source pour les réseaux maillés IoT de faible puissance. A savoir,  $\mu$ SDN[4] et SDN-WISE [5][6]. Ces implémentations adoptent chacune une approche différente du contrôleur SDN.  $\mu$ SDN intégrant le contrôleur directement dans le réseau maillé, tandis que SDN-WISE adopte une approche plus traditionnelle en plaçant le contrôleur à l'extérieur du réseau dorsal. Ici, le premier travail à réaliser est d'intégrer à notre plateforme d'expérimentations ces deux contrôleurs et de les comparer à RPL natif.

Ensuite, la réflexion sera portée sur l'utilisation du contrôleur externalisé (SDN-WISE) non pas en tant que solution de routage alternative à RPL, mais plutôt en complément. Plus précisément, pour agir de façon dynamique sur le paramétrage optimisé des temporisateurs du protocole Trickle. L'adaptation pourra s'appuyer sur une analyse du trafic IoT réel observé pendant les phases d'expérimentation. La caractérisation du trafic généré peut conduire à déterminer quand et comment mieux paramétrer les temporisateurs du protocole Trickle. Le paramétrage peut être évalué, éventuellement amélioré, en amont sur le simulateur Cooja, qui est intégré à Contiki-NG, avant d'être évalué *in situ* sur la plateforme expérimentation IoT au L2TI.

**Durée du stage : 5 mois**

## Références

- [1] Kharrufa, H. A. A. Al-Kashoash and A. H. Kemp, *RPL-Based Routing Protocols in IoT Applications: A Review*, in IEEE Sensors Journal, vol. 19, no. 15, pp. 5952-5967, 1 Aug.1, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2910881.
- [2] Singh, S., Jha, R.K. *A Survey on Software Defined Networking: Architecture for Next Generation Network*. J Netw Syst Manage 25, 321–374 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10922-016-9393-9>
- [3] S. Goyal and T. Chand, *Improved Trickle Algorithm for Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks*, in IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 5, pp. 2178-2183, 1 March1, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2017.2787584.
- [4] L. F. da Silva Santos, F. F. de Mendonça Júnior and K. L. Dias,  *$\mu$ SDN: An SDN-Based Routing Architecture for Wireless Sensor Networks*, 2017 VII Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering (SBESC), Curitiba, PR, Brazil, 2017, pp. 63-70, doi: 10.1109/SBESC.2017.15.
- [5] L. Galluccio, S. Milardo, G. Morabito and S. Palazzo, *SDN-WISE: Design, prototyping and experimentation of a stateful SDN solution for Wireless Sensor networks*, 2015 IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), Hong Kong, China, 2015, pp. 513-521, doi: 10.1109/INFOCOM.2015.7218418.
- [6] M. Kulkarni, M. Baddeley and I. Haque, *Embedded vs. External Controllers in Software-Defined IoT Networks*, 2021 IEEE 7th International Conference on Network Softwarization (NetSoft), Tokyo, Japan, 2021, pp. 298-302, doi: 10.1109/NetSoft51509.2021.9492688.