

Fonction objectif pour un RPL adapté aux Smart Grids

Jad Nassar^{1,2} et Nicolas Gouvy¹ et Nathalie Mitton²

¹HEI, une école d'ingénieur d'Yncréa Hauts-de-France, 13 Rue de Toul, Lille, France. *Prénom.nom@yncrea.fr*

²Inria Lille - Nord Europe, 40 Avenue Halley, Villeneuve d'Ascq, France. *Prénom.nom@inria.fr*

L'acheminement des données dans l'Internet des Objets a depuis toujours été un défi. En effet, il s'agit de router des données dans un réseau caractérisé par une hétérogénéité omniprésente : logicielle, matérielle, mais aussi applicative. En réponse, l'IETF (Internet Engineering Task Force) a standardisé le protocole de routage généraliste RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy networks). Toutefois, RPL n'est pas adapté pour les Smart Grids car sa fonction objectif de base, *MRHOF* (Minimum Rank with Hysteresis Objective Function) avec *ETX* (Expected Transmission Count), ne gère pas la qualité de service. Or, dans un Smart Grid, les différents messages de contrôle ou de commande (relevé de compteur, activation d'une centrale) doivent être traités avec une qualité et priorité différente. En réponse, on présente un travail en cours : *OFQS*. *OFQS* est une fonction objectif qui comprend une métrique multi-objectifs *mOFQS*. Cette métrique intègre à la fois la qualité des liens, le délai d'acheminement des paquets et aussi l'énergie restante dans les batteries des nœuds. *OFQS/mOFQS* assure ainsi une différenciation dans la qualité de service adaptée aux différentes applications des Smart Grids en la comparant avec *MRHOF/ETX*. Par la suite, notre approche pourra être paramétrée, permettant ainsi à chaque application de choisir son niveau de QoS (Quality of Service) sur la base de ses besoins.

Mots-clefs : RPL, routage, fonction objectif, métrique, Smart Grids

1 Introduction

Le réseau électrique existant ne satisfait plus aux besoins énergétiques du XXI^{ème} siècle. En effet, la demande toujours croissante en énergie par habitant liée à l'augmentation de la population, la nécessité d'un contrôle manuel fort et l'introduction de multiples sources d'énergies renouvelables à travers tout le réseau, se heurte à des capacités de production par site limitées et des infrastructures existantes vieillissantes et non adaptées. Ce qui a rendu obligatoire le passage du réseau existant au Smart Grid pour rendre le réseau distribué, proactif et extensible. Pour cela, plusieurs technologies de communication ont été proposées dans la littérature pour acheminer les données et ordres de commande et contrôle nécessaires au bon fonctionnement du Smart Grid [GSK⁺11] : les réseaux de capteurs sans-fil, le réseau de communication cellulaire, les courants porteurs en ligne et d'autres.

L'architecture de communication des Smart Grids est répartie en HAN (Home Area Network), NAN (Neighborhood Area Network), WAN (Wide Area Network) [BMM12]. Dans notre travail, on s'intéresse sur la partie HAN et NAN c'est-à-dire du consommateur jusqu'au réseau de distribution. Un réseau de capteurs sans fil est alors un bon candidat pour ce genre de communications comme il est extensible, il s'adapte facilement aux changements dans le réseau et n'a pas besoin d'infrastructure.

Pour exploiter au mieux ces réseaux, on a besoin de protocoles de routages. Le protocole RPL [WTB⁺12] en est un. C'est un protocole à vecteur de distance utilisant IPv6[Dee98]. Il est spécialement conçu par l'IETF pour répondre aux besoins des réseaux LLN (Low power and Lossy Networks) dont les réseaux de capteurs qu'on souhaite utiliser dans les Smart Grids. Sa fonction objectif standardisée *MRHOF* utilise la métrique *ETX* pour prendre en compte la qualité des liens pour les chemins de routage. Par contre, RPL avec *MRHOF/ETX* n'étant pas spécialement adapté pour une application spécifique, son utilisation dans les Smart Grids nécessite des modifications et principalement dans sa fonction objectif. En effet, différentes applications du Smart Grid vont générer différents types de trafic (temps réel, critique, régulier) et remettre

en question différentes exigences de qualité de service [RGHLN14]. Or, pour un réseau de capteurs sans fil, plusieurs critères doivent être pris en considération tels que la fiabilité, la latence, l’auto-configuration et l’auto-adaptation et la maximisation de la durée de vie du réseau, ce qui n’est pas assuré totalement par *MRHOF*. Dans ce papier on considère un réseau de capteurs sans fil où on propose *OFQS/mOFQS*, une fonction objectif avec une métrique bien adaptée aux contraintes des Smart Grids, en considérant la qualité des liens, le délai d’acheminement des paquets et l’énergie restante dans les batteries, assurant alors une meilleure efficacité et durée de vie du réseau.

Le reste du papier est organisé comme suit. Dans la section 2, on décrit le protocole RPL et ses variantes, avant de présenter la fonction objectif *mOFQS* en section 3. On en évaluera ensuite les performances en analysant les résultats des simulations à la section 4. La section 5 conclura le papier, en introduisant les futures perspectives de travail.

2 Le protocole RPL : description et limitations

RPL consiste en un ou plusieurs DODAGs (Destination Oriented Directed Acyclic Graphs) c’est-à-dire des graphes acycliques orientés dirigés vers une destination qui est la racine du réseau. Ces graphes sont dirigés de façon à éviter les boucles parce que chaque nœud dans le DODAG a un rang (distance de la racine), et ce rang doit diminuer en remontant dans le graphe vers la racine. RPL assure la QoS dans la couche réseau à partir d’une fonction objectif qui permet d’optimiser la topologie en fonction d’une contrainte/métrique comme la préservation de l’énergie, le chemin le plus court ou la qualité des liens. Pour construire un DODAG une racine envoie un message DIO (DODAG Information Object). Une fois ce dernier reçu, chaque nœud RPL connaît l’ensemble de ses voisins et son rang suivant la fonction objectif. Le rang d’un nœud correspond à son emplacement dans le graphe par rapport à la racine. La valeur du rang augmente toujours en descendant dans le graphe. C’est donc la racine qui a le rang le plus petit dans le graphe. Les DIOs sont envoyés à intervalles réguliers afin de maintenir les chemins de routage. Si un nœud reçoit des DIOs de voisins différents, c’est l’émetteur avec le meilleur rang (le plus petit donc) qui est choisi comme parent préféré. C’est à dire le nœud vers lequel seront envoyés tous les messages à destination de la racine, et ainsi de suite dans le DODAG.

2.1 Limitations et variantes

De nombreuses variantes et modifications ont été proposées afin d’adapter RPL aux différentes applications de l’Internet des Objets et des Smart Grids [GKBA14], [KNNF13] [WTZ⁺10]. *ETX* dans *MRHOF* [GL12] et Hop Count (nombre de sauts) dans OF0 (Objective Function Zero) [Thu12] sont les deux principales métriques utilisées dans les fonctions objectifs pour RPL. Toutefois, Hop Count calcule les chemins suivant le nombre de sauts. Ce n’est pas fiable dans un réseau avec pertes tel que le réseau électrique qui est fortement affecté par les interférences électromagnétiques et donc où le chemin le plus court (en saut) n’est pas toujours le plus rapide (en temps). *ETX* calcule lui le chemin suivant le nombre de retransmissions de paquets. Mais il ne prend en considération ni la latence, ni le niveau de batterie des nœuds. Or ces deux aspects sont critiques dans certaines applications des Smart Grids (alarme de panne d’un système d’alimentation électrique qui nécessite une latence quasi temps réel, etc).

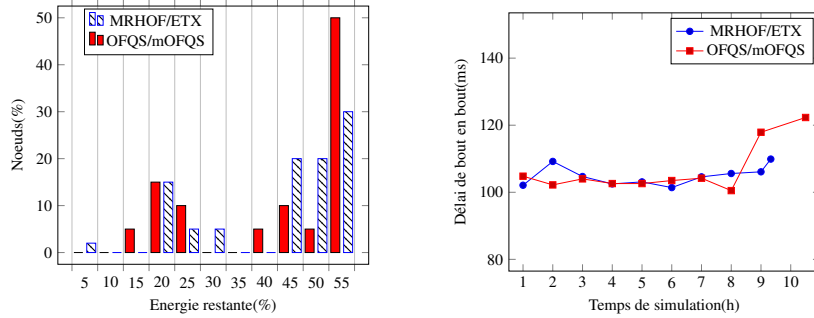
3 La fonction objectif *OFQS*

Afin d’introduire une gestion de qualité de service pour les Smart Grids dans RPL, on propose d’intégrer dans la fonction objectif *OFQS* la métrique combiné *mOFQS*. Cette métrique est additive dont la valeur tout au long du chemin vers la racine est la somme des valeurs à chaque saut. *mOFQS* intègre :

- le niveau de batterie des nœuds à travers la définition d’un Power State *PS*,
- la fiabilité des liens via *ETX*,
- le délai *d* d’acheminement d’un paquet entre deux nœuds (normalisé entre 1 et 3).

mOFQS est définie comme suit :

$$mOFQS = \frac{ETX * d}{PS}$$



(a) Distribution de l'énergie restante sur les nœuds (b) Variation du délai en fonction du temps

FIGURE 1: Etude de performances

En multipliant ETX par le délai d , on obtient une meilleure estimation de la qualité des liens en identifiant les liens perturbés, tout en assurant un délai plus petit pour acheminer les paquets vers la racine. D'autre part, le PS divise la capacité des batteries des nœuds en 3 niveaux de charge :

- A : complètement chargée (entre 80% et 100%) ou nœud alimenté, dont la valeur de PS est 3.
- B : Niveau normal (entre 30% et 80%), dont la valeur de PS est 2.
- C : Niveau critique (moins que 30%), dont la valeur de PS est 1.

On favorise les chemins avec un niveau de batterie plus élevé, assurant une meilleure distribution du trafic.

4 Simulations et résultats

4.1 Environnement et paramètres de configuration

Les performances de RPL avec $OFQS$ ont été comparées à celles de $MRHOF/ETX$ via le simulateur Cooja de Contiki [DGV04] avec le modèle radio UDGM, canal 26. On simule des Zolertia Z1[†] avec ContikiMAC (CSMA) et ContikiRPL. On utilise le module Energest de Contiki pour les calculs de consommation énergétique. La topologie retenue est celle d'une surface de 170mx170m pour 20 nœuds et une racine déployés aléatoirement avec un rayon de transmission/interférence de 50 mètres et un taux de transmission/réception de 100%. Le trafic considéré est d'un paquet de 30kb/minute émis depuis chacun des nœuds à destination de la racine. Afin de mettre en évidence la consommation énergétique, deux capacités initiales différentes ont été assignées aux batteries. Les simulations s'arrêtent dès qu'un nœud du réseau épuise totalement sa batterie.

4.2 Analyse et résultats

La figure 1a montre la répartition des nœuds suivant leur énergie restante après une durée de 9 heures. On observe qu'avec $OFQS/mOFQS$, 50% des nœuds ont 55% d'énergie restante contre 30% pour $MRHOF/ETX$. De plus, le plus bas niveau de batterie avec $mOFQS$ est de 15% restant contre moins de 5% avec $MRHOF/ETX$. Le premier nœud épuise sa batterie après 9 heures et 20 minutes avec $MRHOF/ETX$, en comparaison avec 10 heures et 30 minutes avec $OFQS/mOFQS$. Soit un gain de 9% sur la durée de vie telle que définie précédemment. Ceci est dû aux passages à des parents avec un PS (niveau de batterie) plus élevé dans $OFQS/mOFQS$ ce qui répartit le trafic entre les nœuds.

La figure 1b montre la variation du délai de bout en bout en fonction du temps. On remarque qu'entre 1 et 3 heures le délai est plus court pour $mOFQS$, ceci est dû à la multiplication de ETX par d , et comme au départ le niveau des batteries était encore stable, $mOFQS$ choisit alors les routes avec des délais plus faibles en évitant également par là-même les délais dans les file d'attente des nœuds saturés. Entre 3 et 7 heures, comme les nœuds ont commencé à consommer leur énergie, le choix des routes avec des délais faibles se heurte à la variation de PS , alors le délai est quasiment le même pour $MRHOF/ETX$ et $OFQS/mOFQS$. Au delà de 8 heures le délai augmente car le facteur PS de notre métrique provoque un allongement des

[†]. http://zolertia.sourceforge.net/wiki/images/e/e8/Z1_RevC_Datasheet.pdf

routes pour éviter les nœuds à batterie faible. Enfin, le pourcentage des paquets reçus est meilleur pour *OFQS/mOFQS* avec 99.24% de paquets recus contre 99.18% pour *MRHOF/ETX*.

5 Conclusion et perspectives de travail

On a présenté nos travaux en cours autour de *OFQS*, une fonction objectif qui consiste en une métrique multi-objectifs prenant en considération la qualité des liens, le délai d'acheminement des paquets et l'énergie restante des nœuds pour s'adapter aux exigences de qualités de service diverses des Smart Grids. Notre proposition a été comparée à RPL utilisant *MRHOF/ETX*. Les résultats montrent que *OFQS/mOFQS* prolonge la durée de vie du réseau d'environ 9% en assurant une meilleure répartition du trafic. Par la suite, nous allons évaluer *OFQS/mOFQS* à plus grande échelle avec des niveaux de batteries initiaux plus importants afin de mieux faire ressortir son comportement. Puis dans un travail futur, nous étudierons l'adaptation de *OFQS/mOFQS* aux instances multiples de RPL afin d'assurer une différenciation de QoS et une priorisation du trafic en fonction des besoins des applications des Smart Grids.

6 Remerciements

Ce travail a été financé par la Métropole Européenne de Lille, HEI/Yncréa HdF et le CPER Data.

Références

- [BMM12] Faycal Bouhafs, Michael Mackay, and Madjid Merabti. Links to the future : communication requirements and challenges in the smart grid. *IEEE Power and Energy Magazine*, 10(1) :24–32, 2012.
- [Dee98] Stephen E Deering. Internet protocol, version 6 (ipv6) specification. 1998.
- [DGV04] Adam Dunkels, Bjorn Gronvall, and Thiemo Voigt. Contiki-a lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors. In *29th Annual International Conference on Local Computer Networks*, pages 455–462. IEEE, 2004.
- [GKBA14] Olfa Gaddour, Anis Koubâa, Nouha Baccour, and Mohamed Abid. OF-FL : QoS-aware fuzzy logic objective function for the RPL routing protocol. In *12th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt)*, pages 365–372. IEEE, 2014.
- [GL12] Omprakash Gnawali and Philip Levis. The minimum rank with hysteresis objective function. RFC 6719, RFC Editor, 2012.
- [GSK⁺11] Vehbi C Güngör, Dilan Sahin, Taskin Kocak, Salih Ergüt, Concettina Buccella, Carlo Cecati, and Gerhard P Hancke. Smart grid technologies : communication technologies and standards. *IEEE transactions on Industrial informatics*, 7(4) :529–539, 2011.
- [KNNF13] Patrick Olivier Kamgueu, Emmanuel Nataf, Thomas Djotio Ndié, and Olivier Festor. Energy-based routing metric for rpl. Research report, Inria, 2013.
- [RGHLN14] Gowdemy Rajalingham, Yue Gao, Quang-Dung Ho, and Tho Le-Ngoc. Quality of service differentiation for smart grid neighbor area networks through multiple rpl instances. In *Proceedings of the 10th symposium on QoS and security for wireless and mobile networks*, pages 17–24. ACM, 2014.
- [Thu12] Pascal Thubert. Objective function zero for the routing protocol for low-power and lossy networks (rpl). RFC 6552, RFC Editor, 2012.
- [WTB⁺12] Tim Winter, Pascal Thuber, Anders Brandt, et al. RPL :IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks. RFC 6550, RFC Editor, 2012.
- [WTZ⁺10] Di Wang, Zhifeng Tao, Jinyun Zhang, Alhussein Abouzeid, et al. RPL based routing for advanced metering infrastructure in smart grid. In *International Conference on Communications Workshops (ICC)*, pages 1–6. IEEE, 2010.