



An efficient approach to multi-objective routing in a large-scale LoRa network based on hierarchical clustering

Yann Brice Chebu Mtopi, Garrick Brel Jagho Mdemaya and
Alain Bertrand Bomgni

EasyChair preprints are intended for rapid dissemination of research results and are integrated with the rest of EasyChair.

November 15, 2020

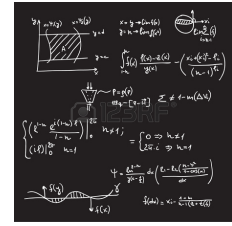


UNIVERSITÉ
DE DSCHANG

Forum Entreprises, Recherche et Développement
(FERED-2020)

Intelligence Artificielle, Économie Numérique et
Transformation de l'Afrique

Algèbre • Analyse • Informatique
<mailto://dept.math-info@univ-dschang.org>



UNE APPROCHE EFFICIENTE DE ROUTAGE MULTI-OBJECTIF DANS UN RÉSEAU LoRa À GRANDE ÉCHELLE BASÉE SUR LE CLUSTERING HIÉRARCHIQUE

Yann B. CHEBU MTOPI^{1,*}, Garrick B. JAGHO MDEMAYA¹ et Alain B. BOMGNI^{1,2}

¹URIFIA, Department of Mathematics and Computer Science, University of Dschang, Cameroon

² University of South Dakota, Biomedical Engineering

*Corresponding author : yannchebu@gmail.com

RESUMÉ: L'évolution continue de l'internet des objets a vu naître une nouvelle catégorie de réseau : LPWAN (Low Power Wide Area Network). Il existe plusieurs technologies LPWAN, mais LoRa est la plus connue. Son protocole de communication LoRaWAN ne permet que des communications à un saut entre les nœuds LoRa et les passerelles qui redirigent les informations vers le serveur. Cependant, afin d'atteindre toutes les passerelles de son rayon de transmission, les nœuds ont la possibilité de modifier leurs paramètres ; ce qui entraîne des pertes d'énergie, un faible débit de données ou encore une faible bande passante. Nous nous intéressons ici à la construction d'un système multi-objectif de communications en utilisant les objets disposant du module LoRa. Ceci afin de permettre un processus de routage multi-saut des informations jusqu'au serveur. Cette façon de procéder permet surtout d'augmenter la longévité du réseau grâce à l'optimisation des paramètres LoRa à utiliser lors des transmissions (SF, BW, CR). Ainsi, l'approche que nous proposons dans cet article s'appuie sur le protocole LoRaWAN et une technique de clustering multi-sauts afin d'atteindre plusieurs objectifs : la minimisation de la consommation énergétique globale du réseau, la collecte des données dans les réseaux à grande échelle, et une sélection intelligente de passerelle de communication pour le routage vers le serveur.

MOTS CLÉS: LPWAN, LoRa, LoRaWAN, clustering, multi-sauts

1. Introduction

Avec l'intérêt sans cesse grandissant des industries pour les LPWAN (Low Power Wide Area Network), plusieurs technologies sont désormais en compétition afin de gagner le marché mondial [1]. Ces technologies sont classifiées en deux catégories : la première catégorie est celle qui utilise les bandes de fréquence gratuites (Ex Lora et Sigfox) tandis que la deuxième catégorie utilise les bandes de fréquence payantes (Ex : EC-GSM, NB-IOT, LTE-M) [2]. Ces technologies ont plusieurs points en commun notamment les communications sur de longues distances, la faible consommation énergétique des capteurs etc. Cependant, LoRa se distingue des autres technologies par le fait qu'il est possible d'utiliser les équipements LoRa et de définir son propre protocole de communication (Au lieu d'utiliser LoRaWAN qui est le protocole par défaut implémenté sur la couche MAC des

périphériques LoRa). Le protocole LoRaWAN est un protocole de routage à un saut qui fonctionne de tel manière que lorsqu'un périphérique veut envoyer une information vers le serveur, il l'envoie à toutes les passerelles qui se situent dans son rayon de transmission, et ces dernières se chargent de les rediriger vers le serveur. Pour ce faire, Ces périphériques utilisent une technique appelée étalement de spectre (sprading factor) afin d'envoyer une information sur une très longue distance. Ceci entraîne plusieurs conséquences : le temps de transmission d'une information est élevé, la bande passante est limitée et la consommation énergétique des capteurs est élevée. Raison pour laquelle plusieurs travaux récents se sont intéressés à la redéfinition du principe de fonctionnement de LoRaWAN en permettant cette fois ci des communications multi-sauts et en permettant aux périphériques de choisir une seule passerelle pour la redirection des informations vers le serveur [3]. Dans cet article, nous proposons un protocole de communication multi-sauts sur une zone très large avec des périphériques LoRa, tout en garantissant un choix déterministe et intelligent de la passerelle qui doit rediriger l'information envoyée par un périphérique vers le serveur. Pour cela, nous utilisons la technique de partitionnement afin de regrouper les périphériques en clusters et nous nous appuyons sur le RSSI afin d'associer un périphérique à une passerelle. La suite de cet article est organisée de la manière suivante : nous faisons une revue de la littérature à la section 2, puis nous présentons notre contribution à la section 4.

2. Revue de la littérature

2.1. LoRa et LoRaWAN

Long Range (LoRa) est une technique de modulation à spectre étalé de Semtech, une norme de communication propriétaire qui permet des communications à longue portée à un seul saut. Avec la technologie LoRa il est possible de démoduler des transmissions allant jusqu'à 19.5 dB sur un plancher de bruit [7, 8, 9]. Cette technique permet une réception d'un nombre multiple de messages sur des canaux, une séparation orthogonale entre les signaux. Ce qui offre un avantage dans la gestion du débit.

Une caractéristique de LoRa est qu'elle offre une amélioration des critères tels que SF (Spreading Factor), TP (Transmission power), CR (Coding Rate) and BW (Bandwidth) avec une relation donnée par l'équation 1 [3, 9, 10].

$$R_b = SF * \frac{BW}{2^{SF}} * CR \quad (1)$$

On dispose dans LoRa de plusieurs types d'équipements parmi lesquels nous pouvons citer : Les terminaux, les passerelles, les serveurs, les serveurs d'applications, les Join Serveur... Une disposition d'une architecture LoRa est donnée par la figure 1

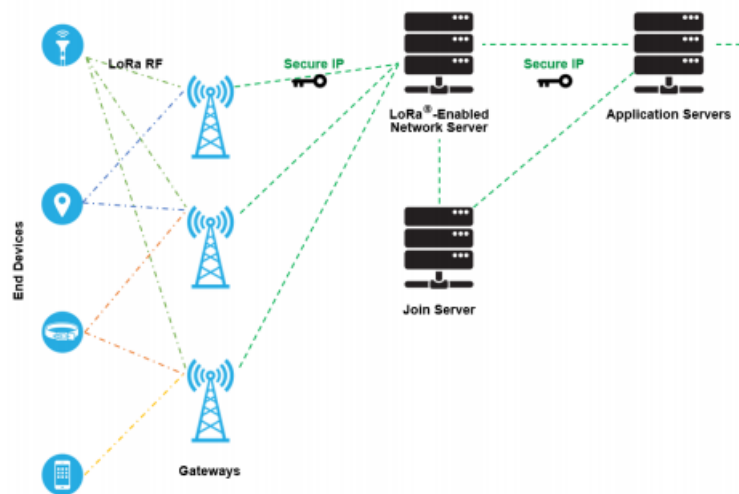


FIGURE 1 – Implémentation d'un réseau LoRaWan [11]

2.2. Communications Multi-sauts dans les réseaux LoRa

Dans [4] les auteurs proposent un algorithme de construction d'un arbre couvrant pour le réseau. ils se penchent sur trois critères principaux qui sont l'équilibre de charges dans le réseau, la réduction du nombre de sauts entre la racine et un terminal et le problème de connectivité. En utilisant un débit plus rapide(SF plus élevé) pour les connections pour l'insertion de chaque noeud éloigné de la racine avec l'algorithme Topdown BreadthFirst-Search (TBFS). Ce protocole utilise pour les formations des sous-arbres des communications longue portée ce qui demande un facteur d'étalement plus élevé par conséquent une consommation supplémentaire d'énergie.

Dans [3], l'auteur propose un protocole de communication multi-sauts en couches basé sur le clustering dans les réseaux LoRaWan. Cette approche est divisée en deux étapes. La première qui permet de former les couches et la deuxième qui permet de choisir la passerelle pour les communications vers la racine. Pour la formation en couche, le protocole modifie la structure initiale en y ajoutant des éléments d'identifications des couches par les passerelles. Le processus est géré par la racine qui émet une diffusion avec un nombre de saut à 0 pour l'identification de la première couche. Les réponses des éléments de cette couche lui permet de faire une autre diffusion pour l'identification de la couche suivante en passant par la couche 0. la couche 1 envoie une réponse et le processus se déroule ainsi jusqu'à obtention de toutes les couches. La sélection de fait à partir de la RSSI de chaque passerelle sauf cette à une couche inférieur à un noeud. Cette méthode permet donc une bonne communication entre les terminaux sur une longue distance. toute fois le mécanisme de formation des couches est très pénible lorsque le nombre de couches est très élevé et consommerait beaucoup de temps et d'énergie.

Dans [6], il est proposé un protocole de qui permet de maintenir une connectivité et

une couverture avec le réseau en utilisant les communications multi-sauts. Des évaluations sont faites sur des paramètres tels que le spreading factor, le taux de réception des paquets. Ce protocole montre comment dans une ville intelligente l'utilisation de la technologie LoRa avec des communications multisauts peuvent économiser de l'énergie, assurer une couverture réseau et une bonne connectivité. Cependant l'utilisation du facteur d'étalement de spectre est encore très élevé. Ce qui augmente la consommation énergétique des nœuds.

3. Formulation du problème

On considère $GW = \{gw_1, gw_2, \dots, gw_g\}$ l'ensemble des passerelles du réseau, $DV = \{dv_1, dv_2, \dots, dv_d\}$ l'ensemble des terminaux du réseau qui doivent être dispersés en couches $C = \{c_1, c_2, \dots, c_c\}$ l'ensemble des couches formées du réseau. Nous cherchons à améliorer le fonctionnement des LPWAN à grande échelle en considérant le problème d'objectif multiple (formation éco-énergétique, sélection intelligente de la meilleure passerelle). La sélection de la meilleure Gateway est donnée par

$$dv_i = \{g_j \in E_i | j = \arg \min_k (f(g_k, dv_i))\} \quad (2)$$

où

— l'ensemble des Gateways accessible par

$$dv_i | E_i | = \sum_{i=1}^{i=g} L_i \quad (3)$$

et

$$L = \begin{cases} 1 & \text{si } d(dv_i, g_k) \leq R \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, g\} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

— f la fonction objective de chaque terminal par rapport à un gateway.

Ce problème est formulé sous réserve des contraintes ci-dessous :

Soit $\alpha_{i,j} \in \{0, 1\}$ une valeur binaire qui indique l'admission du device dv_i à la gateway g_j .

— $\sum_{k \in dv} \alpha_{k,j} = 1$.

— $\forall i, j \in GW, g_i \cap g_j = \emptyset$

4. Notre contribution

Dans cette partie nous présentons une approche efficiente de routage multi-objectif dans un réseau LoRa basé sur le Clustering Hiérarchique. Cette approche est divisée en deux étapes. La première qui consiste à former des couches et la deuxième à sélectionner une meilleure passerelle pour le routage des données vers la racine.

4.1. Formation des couches

Nous définissons deux types de messages pour la formation des couches. Un DIL (information de formation des couches) et DIA (information d'acceptation de la couche). Nous utilisons la structure d'un paquet LoRa[12] auquel nous ajoutons un champs LID pour identifier la couche à laquelle appartient chaque passerelle.

La passerelle racine initie la diffusion d'un message DIL avec le champs LID à 0 pour indiquer le début de la procédure de formation des couches. Dès réception d'un message DIL, chaque passerelle initie un message de type DIA pour indiquer que le message est reçu et initie une nouvelle fois un message de type DIL avec cette fois un nombre de LID incrémenté de 1. Chaque passerelle doit choisir uniquement la première diffusion et est capable de savoir à quelle couche elle appartient. Le processus se répète ainsi jusqu'à la couche n-1 qui reçoit les diffusions de la couche n, émet des accusés de réception et des diffusions avec pour nombre de saut n-1 vers la couche n. Ceci permettra à la passerelle racine de savoir quel est le nombre de couches formé dans le réseau.

Algorithm 1 Formation des couches du réseau

- 1: **Données** : message DIL.
 - 2: Si $DIL.LID < L_ID$
 - 3: $L_ID = DIL.LID$
 - 4: ajouter_liste_relai = $DIL.SRC_ID$
 - 5: message_(DIA)
 - 6: cree(DIL message)
 - 7: diffusion de message DIL.
 - 8: fsi
-

4.2. Sélection de la passerelle

Cette étape consiste après la formation des couches à choisir de façon intelligente une passerelle dans sa couche pour pouvoir router les informations vers la passerelle racine. Une fois la formation des couches terminée, chaque passerelle va émettre un message de diffusion pour indiquer à chaque noeuds quels sont les passerelles dans sa couche, la supérieur et peut-être inférieur auxquelles elle peut accéder. chaque noeud va calculer sa fonction objective pour déterminer quelle passerelle doit être choisi et quel SF devra être affecté pour minimiser les coûts de consommation énergétique. Cette fonction est donnée par l'équation

$$f = \frac{LQI + RSSI}{2} \quad (4)$$

ou LQI est l'indicateur de qualité de lien et RSSI est l'indicateur de la puissance de signal reçu.

Pour chaque message de passerelle reçu, le noeud évalue la fonction objective f en fonction de l'indicateur de signal reçu et l'indicateur de qualité de lien. Elle choisira donc parmi les passerelles de sa couche, la passerelle ayant la plus grande valeur de f .

5. Conclusion

Une nouvelle approche de routage multi-sauts basée sur le clustering Hiérarchique dans les réseaux LPWAN est présentée. Elle personnalise certains paramètres de LoRa pour plusieurs objectifs : Réduction de la consommation énergétique et couverture d'une zone à grande échelle avec un débit de communication élevé.

Références

- [1] Juha Petäjajarvi, Konstantin Mikhaylov, Antti Roivainen, Tuomo Hänninen, Marko Pettissalo, *On the Coverage of LPWANs : Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology* 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), 2015
- [2] Min Chen, Yiming Miao, Xin Jian, Xiaofei Wang, Iztok Humar, *Cognitive-LPWAN : towards intelligent wireless services in hybrid low power wide area network* IEEE transactions on green communication and networking, 2018
- [3] Muhammad Omer Farooq, *Clustering-based Layering approach for uplink multi-hop communication in LoRa networks* IEEE Networking Letters, 2020
- [4] Guibing Zhu, Chun-Hao Liao, Theerat Sakdejayont, I-Wei Lai, Yoshiaki Narusue, and Hiroyuki Morikawa, *Improving the capacity of a mesh lora network by spreading-factor-based network clustering.* IEEE Access, 7, pp. 21584-21596, 2019.
- [5] Benjamin Sartori, Steffen Thielemans, Maite Bezunartea, An Braeken, and Kris Steenhaut, *Enabling rpl multihop communications based on lora.* In 2017 IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), pp. 1-8, 2017.
- [6] Muhammad Shehryar Aslam, Alishba Khan, Abeera Atif, Syed Ali Hassan, Aamir Mahmood, Hassaan Khaliq Qureshi, and Mikael Gidlund, *Exploring multi-hop lora for green smart cities.* IEEE Network, 34(2), pp. 225-231, 2019.
- [7] Bor Martin C, Roedig Utz, Voigt Thiemo, Alonso Juan M *Do LoRa low-power wide-area networks scale?*, Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, pp. 89–97, 2016.
- [8] GUIBING ZHU, CHUN-HAO LIAO, THEERAT SAKDEJAYONT, I-WEI LAI, YOSHIAKI NARUSUE, HIROYUKI MORIKAWA *Improving the Capacity of a Mesh LoRa Network by Spreading-Factor-Based Network Clustering,* IEEE Access, 2019, vol. 7, p. 21584-21596.

- [9] SINHA Rashmi Sharan, WEI Yiqiao, HWANG Seung-Hoon *A survey on LPWA technology : LoRa and NB-IoT*, Ict Express, 2017, vol. 3, no 1, p. 14-21.
- [10] USMONOV Maksudjon et GREGORETTI, Francesco *Design and implementation of a LoRa based wireless control for drip irrigation systems*, In : 2017 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE). IEEE, 2017. p. 248-253.
- [11] <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>, Visité le 30-10-2020
- [12] Aloÿs Augustin, Jiazi Yi, Thomas Clausen, William Mark Townsley *A study of LoRa : Long range low power networks for the internet of things*, Sensors, 2016, vol. 16, no 9, p. 1466.