



HAL
open science

Une canne connectée LoRaWAN, WiFi et BLE pour le suivi des personnes âgées

Réjane Dalcé, Imen Megdiche, Thierry Val, Khawla Ltifi

► To cite this version:

Réjane Dalcé, Imen Megdiche, Thierry Val, Khawla Ltifi. Une canne connectée LoRaWAN, WiFi et BLE pour le suivi des personnes âgées. JETSAN 2021 - Colloque en Télésanté et dispositifs biomédicaux - 8ème édition, Université Toulouse III - Paul Sabatier [UPS], May 2021, Toulouse, Blagnac, France. hal-03501210

HAL Id: hal-03501210

<https://hal.science/hal-03501210>

Submitted on 23 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une canne connectée LoRaWAN, WiFi et BLE pour le suivi des personnes âgées

Khawla LTIFI², Réjane DALCE², Imen MEGDICHE³, Thierry VAL¹

¹Laboratoire IRIT, équipe RMES, Université de Toulouse 2 Jean-Jaurès, France.

²Laboratoire IRIT, équipe RMES, ISIS Castres, INU Champollion, France.

³Laboratoire IRIT, équipe SIG, ISIS Castres, INU Champollion, France.

{ltifi,dalce,megdiche,val}@irit.fr

Abstract - Nous présentons dans cet article une architecture réseau hybride combinant les technologies WiFi, Bluetooth Low Energy (BLE) et LoRaWAN et permettant d'assurer la connectivité entre une canne connectée et une architecture fixe. Cette canne est équipée de différents capteurs permettant le suivi de personnes âgées dans un contexte de ville intelligente. Elle est construite autour d'un microprocesseur ESP32 et d'un transceiver LoRa. L'architecture protocolaire se base sur le bus logiciel MQTT qui met à disposition des techniques d'intelligence artificielle le flux de données issu de la canne, dans un objectif de médecine prédictive. L'utilisation de la technologie LoRaWAN impose un rapport cyclique d'émission de 1%, ce qui a nécessité une étude de compression des données émises.

Keywords: IoT, e-santé, Ville intelligente, LoRaWAN, BLE, MQTT.

I. INTRODUCTION

Alors que l'avènement de l'industrie 4.0 engendre un engouement significatif pour les objets communicants sans fil, le domaine de la santé se positionne comme un challenge à différents niveaux : en plus de l'amélioration de leur fiabilité, les objets connectés doivent aussi impliquer une maintenance quasi nulle tout en permettant de remonter des mesures fiables et sécurisées sur le vivant. Afin d'aider les personnes âgées à conserver leur autonomie, les objets connectés sont de plus en plus employés pour le monitoring à distance, la détection de chute et l'actimétrie. Les masses de données produites par ces objets contribuent à l'avènement du Big Data. Pour traiter ces données, en particulier dans le domaine de la santé, diverses techniques sont envisageables. Une attention particulière au vieillissement mène aujourd'hui à des travaux proposant des modèles pour la détection de chute [7] ou encore l'étude de l'équilibre [8]. C'est dans ce contexte général que se positionne ce travail où nous nous proposons de combiner les deux axes : objets connectés et analyse de données. Dans un cadre applicatif, ce travail répond au besoin exprimé par un EHPAD, partenaire médico-social du projet CIPAD (Cannes Intelligentes pour les Personnes Agées ante-Dépendantes), soutenu par Toulouse Tech Transfert (TTT). Le besoin final est de disposer d'une vision temps réel de l'évolution de l'état de santé des résidents. Nous avons ainsi convenu de nous focaliser sur la détection anticipée de la fragilité, ce qui nous permet

d'améliorer l'observation du passage fragilité-dépendance. Cette fragilité peut être suivie via des facteurs comme la perte de poids involontaire, la lenteur de la marche ou la réduction de la force de préhension. Après le croisement des différents éléments: chute, déséquilibre de marche ainsi que quelques éléments de matrice AGGIR et le besoin temps réel, nous avons relevé l'importance de l'observation de la marche en utilisant un ensemble de capteurs tels qu'un capteur d'accélération pour évaluer la vitesse de la marche, un capteur de pression pour mesurer la force de préhension, et un capteur de magnitude pour suivre l'orientation de la marche. De plus, suite à de nombreuses recherches [1], nous avons orienté nos travaux vers l'utilisation d'une canne de marche équipée de capteurs non intrusifs, à l'inverse des capteurs positionnés directement sur la personne. Le dispositif utilisé se base sur la canne développée dans le projet CaNET.

Un second aspect de cette canne est de servir de support à l'interaction avec la ville intelligente. La ville intelligente est généralement perçue comme un environnement équipé de capteurs et d'actionneurs lui permettant de réagir en fonction d'un ensemble de règles. L'objectif de CIPAD est d'élargir l'aspect participatif de la ville intelligente aux seniors, de la même manière que pour les personnes malvoyantes : la canne doit alors pouvoir s'interfacer avec les différentes technologies disponibles dans la ville intelligente.

L'objectif de cet article est de présenter les aspects réseaux et protocoles mis en œuvre dans ce projet. Dans un premier temps, l'objet connecté à l'étude sera replacé dans son contexte. Les choix d'architecture et de technologies liées à la version actuelle seront alors présentés ainsi que les perspectives offertes par ce projet de recherche, en terminant par l'étude de la compression des données transmises par liaisons radio LoRa.

II. EVOLUTION DE CANET

La première version v0 de CaNET se base sur une transmission courte portée de quelques dizaines de mètres, dans la bande ISM 433 MHz [9]. La v0 est principalement destinée à une première preuve de concept, pour une utilisation en intérieur, typiquement dans un appartement ou une maison intelligente. Cette canne a permis de mettre en évidence l'adéquation des capteurs accéléromètres et gyromètres 3D avec

la récupération d'informations concernant la marche, et de développer et tester des algorithmes de détection de chute, de mesure de distances parcourues, de changement de direction ou encore d'évaluation du nombre de pas. Cette version de la canne intègre un nœud WiNo [10] : ce équipement, conçu au sein du laboratoire IRIT, comprend un émetteur/récepteur radio associé à un processeur Teensy 3.2 et une batterie rechargeable. Un ordinateur, lui aussi équipé d'un WiNo, reçoit les informations et affiche en temps réel les mouvements de la canne en 3D [1]. Dans une seconde version v1, nous avons remplacé la technologie de communication 433 MHz par une liaison LoRa à 868 MHz. Ceci nous a permis de disposer d'une portée bien plus importante, de l'ordre de plusieurs centaines de mètres : le suivi de la personne lors de ses promenades à l'extérieur de son habitation [2] devient alors envisageable. Nous avons également intégré le bus logiciel MQTT à notre architecture afin de centraliser les échanges de données et de commandes entre l'équipement côté patient et les outils du personnel de surveillance médicale. Comme nous l'avons évoqué en introduction, le projet actuel CIPAD est plus ambitieux. Il vise à concevoir une canne connectée associant différentes technologies de communication complémentaires en termes de débit, de portée, de disponibilité, de coût, de qualité de service et d'interaction. Face aux objectifs du projet, nous avons conçu une troisième version de CaNET v2, équipée de trois technologies de communications sans fil, mais aussi d'un nouveau capteur mesurant la pression de la main sur la poignée de la canne, en plus des capteurs habituels (accéléromètres 3D et gyromètres 3D). La carte électronique conçue à cet effet est basée sur un microcontrôleur ESP32, un transceiver radio RFM95, un double capteur accéléromètre/magnétomètre 3D LSM303 et un capteur de pression FSR402. Dans les deux précédentes versions de CaNET, v0 et v1, nous avons utilisé la librairie RadioHead [3] permettant de piloter facilement les transceivers radio RFM22 (CaNET v0 en 433 MHz) et RFM95 (CaNET v1 en 868MHz LoRa). Pour conserver cette dualité et assurer la rétrocompatibilité, nous avons basé le câblage entre transceiver et ESP32 sur le modèle de la v1. Néanmoins, la volonté d'intégrer la pile LoRaWAN imposant le support de la librairie L-MIC [5], nous avons ajouté les connexions nécessaires entre ESP32 et RFM95 (GPIO0, 1, 2, RESET, INT, NSS) au câblage existant. En effet, le projet CIPAD devant permettre un interfaçage entre la canne et les outils de suivi des soignants, le support de LoRaWAN apportera la capacité pour un objet connecté à rejoindre le monde IP, même dans les cas de communications très contraintes. Finalement, le choix d'un microcontrôleur ESP32 pour la CaNet v2, nous donne accès à l'écosystème Arduino qui a été retenu pour le développement.

Les figures 1 et 2 présentent l'actuel prototype de la canne utilisée dans le projet CIPAD ainsi qu'une vue rapprochée de la carte électronique.



Figure 1 Prototype de canne du projet CIPAD



Figure 2 Système embarqué du projet CIPAD

III. ARCHITECTURE PROTOCOLAIRE ET RÉSEAU

WiFi et Bluetooth font déjà partie intégrante du paysage de la Smart City [11][12]. Si LoRa n'apparaît pas encore systématiquement dans les technologies retenues pour les travaux existants, le besoin d'un lien bas débit longue portée ne fait aucun doute puisque l'objectif est la conservation de l'autonomie des personnes âgées. Notre expérience de LoRa nous a permis d'envisager d'étendre ces simples liaisons sans fil entre canne et passerelle (gateway) LoRa: en rendant compatible la canne avec LoRaWAN, nous rajouterons l'accès Internet aux liens sans fil. Cette gateway LoRaWAN sera mise en œuvre dans l'EPHAD mais pourrait également être déployée chez un particulier. LoRaWAN impose dans la bande 868 MHz des contraintes en termes de rapport cyclique d'émission (généralement 1% du temps), qui restent néanmoins compatibles avec la faible quantité de données à transmettre.

Nous proposons ainsi, pour notre architecture protocolaire et réseau, l'usage des trois liens de communication radio : WiFi, BLE et Lora peuvent être utilisés simultanément, ou indépendamment, en fonction des besoins, des flux de données, du type de message, de leur périodicité, de leur sens, etc. Chaque technologie présente des avantages mais aussi des inconvénients liés à ses caractéristiques intrinsèques :

- Le lien WiFi offre l'accès au réseau IP sans contrainte de rapport cyclique, avec un débit de l'ordre du Mb/s sur une portée de quelques dizaines de mètres mais est la plus coûteuse des 3 technologies en termes d'énergie. Cette technologie sera préférée lors des échanges, éventuellement bi-directionnels, de grosses quantités de données, en IP, afin d'accéder éventuellement à Internet ou au LAN de l'habitat.
- Le lien BLE offre un débit plus faible sur une portée de quelques mètres. IP n'est pas natif mais il est possible moyennant l'empilement de couches d'adaptation, en

ajoutant par exemple, au-dessus d'un port série émulé sur BLE, les couches PPP et IP. BLE sera préféré pour les échanges ponctuels avec le Smartphone ou des nœuds environnementaux dans une ville intelligente. Sa faible consommation lui permet d'être allumée en permanence sans nuire à la durée de vie de la batterie embarquée dans la canne qui doit au moins durer une journée (recharge nocturne).

- Le lien radio LoRa, permet d'atteindre une gateway LoRa et moyennant un Packet Forwarder dans cette gateway compatible LoRaWAN, d'atteindre un serveur LoRa sur Internet, où sont hébergés des services de traitement de données par exemple avec un bus MQTT (en souscrivant à des topics classifiant les types d'informations issues de la canne). Cette architecture protocolaire et réseau est rendue possible par l'utilisation de gateways LoRaWAN comme par exemple la passerelle Lite Gateway de IMST iC880A [4]. En associant à la gateway le firmware [6], il est possible de disposer d'une passerelle multi-canal compatible avec LoRaWAN pour concevoir son propre réseau privé LoRaWAN. Comme indiqué précédemment, les divers nœuds mobiles tels que CaNET intégreront la librairie L-MIC car compatible LoRaWAN. Il est par contre important de noter que ces liens LoRa doivent être utilisés en respectant un rapport cyclique de 1% pour respecter le standard, ce qui impose de compresser les données brutes issues des capteurs avant toute transmission radio LoRa. Les portées varient avec les paramètres choisis pour les liens radio (SF : Spreading Factor en particulier), mais peuvent atteindre plusieurs kilomètres si le débit est très faible et le temps d'émission de chaque trame assez long (de l'ordre de la seconde). Finalement, dans le mode le plus économe en énergie associé à cette technologie, un message de la canne représente une opportunité de transmission de la gateway vers l'objet mobile : cette opportunité permettra, dans le cadre du projet, de transmettre des notifications, des commandes, du paramétrage, etc.

L'architecture résultante est représentée à la figure 3.

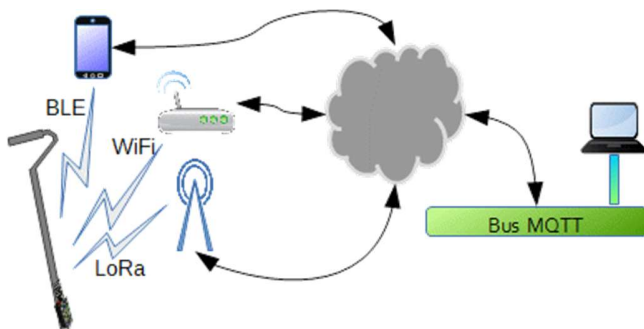


Figure 3 Architecture de réseau du projet CIPAD

IV. ADAPTATION DU FLUX DE DONNÉES

La normalisation sub-gigahertz impose un rapport cyclique d'émission sur les liens radio LoRaWAN de 1%. Ceci veut dire qu'aucune transmission n'est permise au transceiver LoRa durant par exemple 99s après l'émission d'une trame durant 1s. Si la technologie LoRa en termes de consommation énergétique et de portée est adaptée à notre projet de suivi des seniors en dehors de leur résidence, cette contrainte de rapport cyclique constitue un challenge significatif. Les données à transmettre sont les suivantes :

- L'accélération linéaire dans les 3 dimensions,
- L'orientation 3D issue du magnétomètre,
- La pression de la main sur la poignée,

D'autres signaux comme l'état de la batterie embarquée peuvent être pertinents et donc transportés par ce lien. Les études précédentes sur l'exploitation des données [KESS20] ont montré qu'à partir d'un échantillonnage à 10Hz de l'accélération et l'orientation, il était possible de détecter les instabilités et prévoir les chutes. Cette fréquence d'échantillonnage est incompatible avec LoRaWAN : en continuant à échantillonner pendant la première période de silence après la transmission de 31 octets à SF=7, la quantité de données accumulées dépasse la taille maximale d'un message pour cette technologie. En faisant abstraction des contraintes de tailles mémoire et de taille de message, le 4e message devrait être suivi d'un silence d'un peu plus d'une semaine.

Pour adapter le flux de données à notre problématique, deux solutions sont envisagées :

- Déployer le modèle de prédiction sur la canne pour le traitement temps réel des données,
- Réduire la taille du flux de données et ainsi respecter le rapport cyclique en émettant par salves.

La première approche constitue un challenge à la fois pour les outils de prédiction utilisés mais aussi pour la mise à jour du modèle. En effet, un modèle de prédiction basique élaboré à partir d'une population représentative peut être utilisé au démarrage de la canne mais ce modèle a vocation à évoluer afin d'être ajusté à l'utilisateur. Cela se fait dans le cadre d'un apprentissage continu, déjà envisagé dans nos travaux antérieurs [13]. Les liens BLE et WiFi sont des candidats envisagés pour ce mode de fonctionnement.

Dans le cadre de la seconde approche, nous envisageons d'agir à la fois sur le rythme de capture des données et sur leur taille. En ce sens, des tests ont été réalisés pour comparer des algorithmes de compression avec et sans perte d'information, en utilisant plusieurs bibliothèques Arduino : Protocol-Buffer, Brotli et Miniz. Le 1er, Protocol Buffer, donne les meilleurs résultats.

Pour ce qui est de la cadence de capture, nous avons procédé à une campagne de mesures de longue durée avec la canne. Cette dernière était utilisée par un jeune adulte qui, pendant

30minutes, a marché à son rythme en intégrant des chutes à l'expérience.

L'analyse spectrale par transformée de Fourier des données issues des différents capteurs, représentée en figure 4 pour l'accéléromètre et en figure 5 pour le magnétomètre, suggère une possible réduction de la fréquence sans pertes. En effet, le pic d'énergie se retrouve sur des composantes fréquentielles en-dessous de 2Hz pour les deux sources de données.

Ces tests ayant été réalisés avec un participant jeune, nous pouvons attendre une vitesse inférieure chez un participant âgé et donc une marge de réduction de la fréquence d'échantillonnage encore plus large.

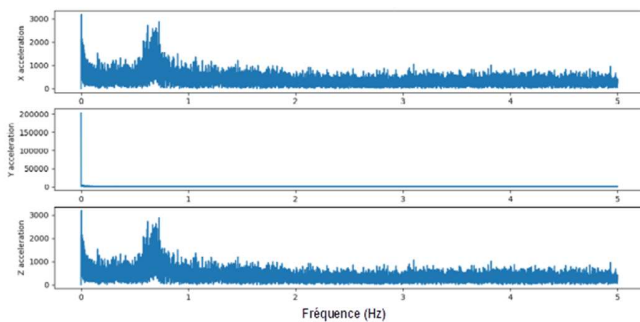


Figure 4 Représentation spectrale des données d'accélération collectées à 10Hz

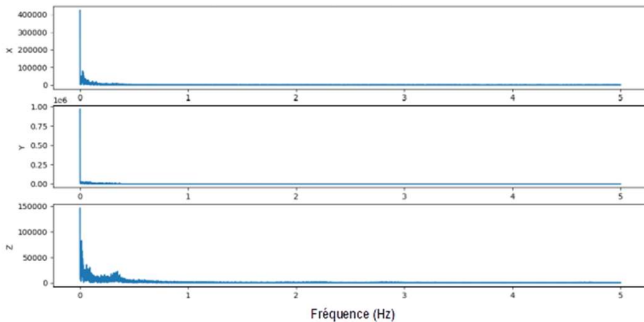


Figure 5 Représentation spectrale des données du magnétomètre collectées à 10Hz

Néanmoins, le réglage final devra se faire en présence de la chaîne complète de traitement afin d'éviter de perdre de potentiels signaux faibles exploités par le modèle de prédiction de la fragilité [13]. Ces premières études sont encourageantes et nous orientent vers une solution hybride couplant compression non destructrice, échantillonnage toutes les 500ms, et pré-traitement nécessaire par le processeur embarqué.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Nous avons présenté dans cet article le choix de l'architecture protocolaire et réseau d'une nouvelle canne connectée (CaNET v2) associant trois technologies de communications complémentaires : BLE, WiFi et LoRAWAN. Cette canne permet le suivi temps réel à distance des personnes âgées qui en sont équipées. Cette version 2 de CaNET a nécessité la conception d'une nouvelle version matérielle, et l'utilisation de briques logicielles adaptées aux trois moyens de communication sans fil. La canne est également équipée d'un nouveau capteur de pression évaluant la force de préhension de la main. L'utilisation du bus MQTT rend aisé l'interfaçage avec des applications de traitement de données de type Intelligence Artificielle. CIPAD comprend également le développement des applications embarquées dans la canne et sur les serveurs du réseau et ordinateurs distants, le test réel de cette canne dans l'EPHAD AGIR de Castres, la récolte des données, et leur analyse par des techniques d'IA adaptées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient en particulier TTT pour le soutien du projet CIPAD ProtoPitch et notre partenaire l'EPHAD AGIR de Castres.

REFERENCES

- [1] A. Lachtar, T. Val, A. Kachouri, "3DCane: a monitoring system for the elderly using a connected walking stick", International Journal of Computer Science and Information Security, Vol. 14 N. 8, ISSN 1947 5500, IJCSIS, USA, 08/2016.
- [2] A. Lachtar, T. Val, A. Kachouri, "Elderly monitoring system in a smart city environment using LoRa and MQTT", IET Wireless Sensor Systems, IET Digital Library, novembre 2019.
- [3] RadioHead <https://www.airspayce.com/mikem/arduino/RadioHead/>
- [4] Lite Gateway <https://shop.imst.de/wireless-modules/lora-products/36/lite-gateway-demonstration-platform-for-lora-technology>
- [5] LMIC <https://github.com/matthijskooijman/arduino-lmic>
- [6] LoRa <https://github.com/Lora-net/LoRaMac-node/branches>
- [7] M. Musci, D. De Martini, N. Blago, T. Facchinetti, and M. Piastra. Online fall detection using recurrent neural networks. CoRR, abs/1804.04976, 2018.
- [8] R. E. Hubbard, E. M. P. Eeles, M. R. H. Rockwood, N. Fallah, E. Ross, A. Mitnitski, and K. Rockwood. Assessing balance and mobility to track illness and recovery in older inpatients. Journal of General Internal Medicine, 26(12):1471-1478, Dec 2011.
- [9] T. Val, E. Bougeois, A. van den Bossche, N. Cazenave, L. Redon, A. Soveja, T. Villemur, « Projet CaNet : un système de suivi de personnes à mobilité réduite grâce à leur canne de marche », revue EsprIUT, Numéro spécial Recherche, Vol. Hors-série, p. 10-11, février 2013.
- [10] A. van den Bossche, R. Dalce, T. Val, "Enabling Fast-prototyping of Connected Things using the WiNo* Family", chap. 4, Wiley, Vol. 7, Challenges of the Internet of Things, Technology, Use, Ethics, Digital Tools and Uses SET, septembre 2018
- [11] Wondeuk Y. et al., HERMES : GS1-based SmartCity Service Intercommunity, IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), 2018.
- [12] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, M. Zorzi, « Internet of Things for Smart Cities », IEEE Internet of Things Journal, vol. 1, no1, février 2014.



- [13] O. Fakhfakh, I. Megdiche, R. Dalce and T. Val, "Imbalance Prediction Among Elderly People Using Deep Learning," 2020 IEEE/ACS 17th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), Antalya, Turkey, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/AICCSA50499.2020.9316519.