



HAL
open science

Une plateforme de développement et de validation de protocoles pour la localisation dans les réseaux sans fil

Réjane Dalcé, Thierry Val, Adrien van den Bossche

► To cite this version:

Réjane Dalcé, Thierry Val, Adrien van den Bossche. Une plateforme de développement et de validation de protocoles pour la localisation dans les réseaux sans fil. 4èmes Journées Nationales des Communications Terrestres (JNCT 2014), May 2014, Blagnac, France. pp.1-12. hal-04103440

HAL Id: hal-04103440

<https://hal.science/hal-04103440v1>

Submitted on 23 May 2023

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.



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 13034

To cite this version : Dalce, Rejane and Val, Thierry and Van den Bossche, Adrien *[Une plateforme de développement et de validation de protocoles pour la localisation dans les réseaux sans fil.](#)* (2014) In: Journées Nationales des Communications Terrestres - JNCT 2014, 22 May 2014 - 23 May 2014 (Blagnac, France).

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Une plateforme de développement et de validation de protocoles pour la localisation dans les réseaux sans fil

Rejane Dalce¹, Adrien van den Bossche, Thierry Val

Institut de Recherche en Informatique de Toulouse

UMR 5505 - CNRS, Université de Toulouse

Toulouse, France

¹dalce@irit.fr

Résumé : Dans la perspective de l'Internet des Objets, une multitude d'applications basées sur le tout connecté peut être envisagée. Néanmoins, leur fonctionnement optimal est conditionné par la possibilité de se localiser. Cet article présente l'implication et les contributions des chercheurs de l'IRIT et des étudiants de l'IUT de Blagnac dans cette thématique. Les travaux présentés visent la mise en place d'une plateforme de *benchmarking* basée sur la solution DV-Hop qui devra permettre la comparaison entre nos solutions et l'existant. Ce *testbed* devra donc supporter des solutions tant *range-based* que *range-free*. Nous proposons un émulateur pour faciliter le développement et le déploiement de la solution sur cible réelle. D'un autre côté, nos instruments de visualisation sont également présentés.

1. INTRODUCTION

14h15, l'examen du module d'enseignement M1103 va débuter. Sur la tablette de l'enseignant, la liste des étudiants s'affiche en vert, rouge et jaune. Les étudiants présents dans la salle sont indiqués en vert, ceux qui se hâtent vers la salle depuis n'importe quel point du campus sont en jaune et ceux dont on ne connaît pas la localisation en rouge. Trente minutes après le début de l'épreuve, la liste ne se mettra plus à jour. Scénario de science-fiction ? Certes non, car au sein de l'IUT de Blagnac, des personnes, enseignants et étudiants, collaborent pour mettre en place un système de localisation sans fil !

La localisation d'un équipement mobile est l'opération permettant de décrire de manière précise sa position dans l'espace en fonction d'un certain repère. Le GPS est un exemple d'un tel système : grâce à des communications sans fil, le récepteur GPS est capable de déterminer sa position dans le repère d'un quartier, d'une ville ou même de la planète.

Notre objectif est de proposer une solution analogue, basée sur un réseau sans fil, mais pouvant fonctionner également en intérieur.

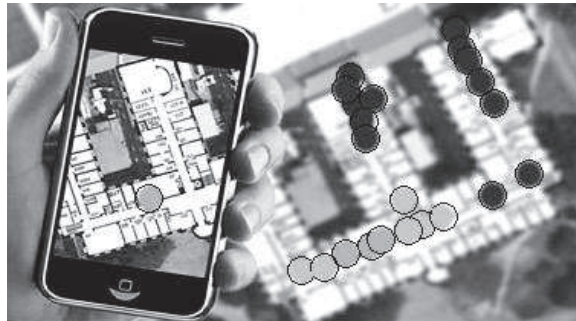


Figure 1 : illustration du système de localisation © CSL Illinois

Dans ce document, nous commencerons donc par décrire l'existant en termes de technologies et de solutions. Puis nous présenterons notre approche scientifique et l'implication de nos étudiants. Finalement, nous analyserons les différentes contributions et leurs possibles retombées.

2. PROBLEMATIQUE ET ETAT DE L'ART

Notre perception du système est la suivante : dans l'environnement, sont disposés des nœuds, c'est-à-dire des équipements réseaux, considérés comme références pour la localisation, dits ancres. Ces ancres sont fixes et connaissent leur position dans un repère global (latitude, longitude) ou local, c'est-à-dire propre au campus par exemple. Les éléments à localiser ou mobiles pourront communiquer par radio avec les ancres et les autres mobiles afin de déterminer leur position.

2.1. TECHNOLOGIES DE RESEAUX SANS FIL POUR LA LOCALISATION

Il existe aujourd'hui un très grand nombre de technologies de communication sans fil. Certaines sont standardisées (WiFi, Bluetooth, Zigbee) ; d'autres sont propriétaires. Cette multitude de technologies peut être considérée comme une richesse, car chacune présente ses avantages, pour telle ou telle application. A l'heure de l'Internet des Objets, cette hétérogénéité n'est plus un problème, dans la mesure où IP, le Protocole Internet, vient ré-homogénéiser cette diversité dès lors qu'une communication doit quitter le réseau local.

En termes de localisation par le réseau sans fil, des solutions commerciales comme UbiSense [1] basé sur l'*Ultra-Wide Band* (UWB), ou Ekahau [2], exploitant le WiFi, incluent un nœud spécial, responsable des calculs liés à la localisation. Ce serveur de localisation centralise les informations et les manipule à travers des algorithmes sophistiqués. Si cette solution propriétaire et commerciale a l'avantage d'être prête au déploiement, plusieurs technologies de communication sans fil standard

peuvent être considérées pour ce service. A titre d'exemple, le WiFi [3], de par son accessibilité et sa pénétration du marché, pourrait se placer comme candidat idéal. En effet, tous les *smartphones* ou presque sont dotés de cette technologie. Malheureusement, la consommation énergétique associée n'est pas négligeable. Bien que les téléphones portables récents promettent une autonomie révolutionnaire, la solution doit tenir compte de la grande majorité des téléphones portables dont l'autonomie n'est que de quelques heures une fois le WiFi activé. La même problématique se pose concernant le Bluetooth [4]. Certes, une nouvelle version a été définie, et permet une réduction significative de la consommation énergétique, mais ce *Bluetooth Low Energy* (BLE) [5] n'est pas, à l'heure actuelle, disponible sur un grand nombre de modèles, et nécessite à ce jour une maturation aussi bien en terme de topologies proposées (point à point ou simple étoile) que de stabilité et d'interopérabilité des versions implémentées dans les OS des *smartphones*. Nous pouvons néanmoins noter la possibilité d'estimer la distance à partir de la puissance de signal reçue par un nœud Bluetooth. L'application iBeacon représente ce type de solution [6].

Il est possible alors de se tourner vers une solution familière, les équipements *Radio Frequency Identification* (RFID). La forme typique revêtue par les RFID est celle d'un couple étiquette/ancrage. L'ancrage est généralement alimentée en permanence et émet des messages à destination de l'étiquette. Dans le premier cas, si cette dernière est passive, elle récupère l'énergie du message afin de pouvoir répondre. Dans l'autre cas, elle est dite active et dispose de sa propre source d'énergie. La plupart des solutions se basent sur des étiquettes passives devant se situer à quelques dizaines de centimètres au plus de l'ancrage pour être détectées et impliquent des chemins définis pour les utilisateurs ou une très forte densité d'ancres. Ces solutions ne sont pas faisables dans les environnements visés. Des solutions proches des RFID se basent sur le NFC, mais là aussi, les distances très courtes imposées entre lecteur et tag sont rédhibitoires pour les applications de localisation que nous visons.

Il est enfin possible de recourir à la technologie IEEE 802.15.4/*Zigbee* [7] pour résoudre le problème. Les nœuds de ce type offrent des communications à bas débit pour un faible coût énergétique, ce qui le rend beaucoup plus efficace que le WiFi, par exemple. Des topologies complexes sont possibles, comme les arbres ou même le MESH. Contrairement à une solution à base de RFID, les nœuds les moins puissants dans le réseau sont dotés d'une bonne capacité de calcul, ce qui leur permet d'exécuter des protocoles de communication et des tâches de surveillance de l'environnement. Le principal avantage de Zigbee, en matière de localisation, est qu'il est aujourd'hui le seul protocole ouvert

standardisant des fonctionnalités de *ranging*, c'est-à-dire de mesure de distance entre deux nœuds compatibles. Grâce à un *ranging* pratiqué sur plusieurs ancres, il est possible de déterminer une position en 2D ou 3D. L'inconvénient principal de Zigbee est sa faible pénétration dans le marché. Cependant, son faible coût de déploiement et de maintenance en fait un candidat tout à fait intéressant, nous le verrons plus loin dans cet article.

2.2. DU RESEAU A LA LOCALISATION

Une fois la technologie de communication sélectionnée, l'information servant de base pour permettre la localisation de l'élément mobile doit être choisie. Si le signal radio est utilisé pour mesurer des distances entre le mobile et les ancres, la solution sera dite *range-based*. Dans le cas où des hypothèses concernant le réseau et/ou lorsque des matrices de connectivités sont exploitées, la solution sera dite *range-free*. Si les méthodes *range-based* permettent généralement d'obtenir des résultats relativement précis, les solutions *range-free* sont plus simples car indépendantes de la technologie radio et peuvent être implémentées sur toutes plateformes. Pour ces raisons, la solution DV-Hop [8] est devenue une référence en matière de localisation. En se basant sur le nombre de sauts séparant les nœuds et la connaissance de la position des ancres (figure 2), cet algorithme estime les distances séparant les mobiles des ancres, même sans connectivité directe, avant de combiner ses estimations pour aboutir à la position.

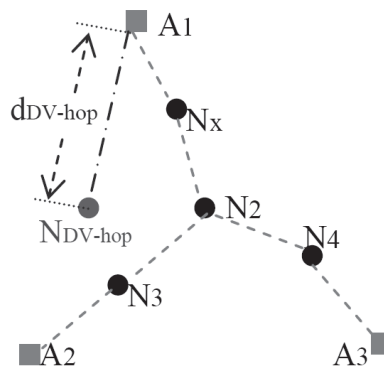


Figure 2 : illustration de DV-Hop [19]

Les opérateurs mathématiques requis pour mettre en œuvre DV-Hop sont pratiquement disponibles sur toutes les plateformes possibles. Cet aspect sera généralement mis en avant au moment de comparer les solutions *range-free* au monde *range-based*. Pour ces dernières, nous avons cité précédemment UbiSense [1] et Ekahau [2]. Il existe aussi Nanotron [9] et [10]. Ces solutions exigent un signal radio doté de caractéristiques spécifiques et souvent des algorithmes puissants afin de traiter de manière fiable les données entrantes.

2.3. PLATEFORMES DE TEST

La recherche dans les réseaux de capteurs sans fil accorde une place importante aux problématiques de passage à l'échelle. En effet, le réseau est constitué d'un nombre élevé de nœuds collaborant dans un objectif de communication avec une certaine qualité de service. L'étude de l'adéquation des solutions proposées à la réalité a motivé la mise en place de différentes plateformes de test. *SensLab* [11] par exemple, autorise l'accès à un réseau de 1000 nœuds partagés entre différents laboratoires de France. La plateforme *MoteLab* [12] de l'Université de Harvard donne accès à 190 nœuds *TMote Sky* équipés de différents capteurs environnementaux. La plateforme *WiseBed* [13] est constituée quant à elle de 313 nœuds basés sur le transceiver JN5148 de *Jennic*. Finalement, une autre possibilité est offerte par le déploiement de 1125 *WaspMotes* dans le cadre du *Smart Santander* [14].

3. TRAVAUX MENES ET MOTIVATIONS

L'approche adoptée dans nos travaux est de type *range-based*. En échangeant des messages avec une ancre donnée, le mobile peut estimer le temps de propagation des trames. Connaissant la vitesse de propagation, il peut alors en déduire la distance les séparant. C'est donc la caractéristique « temps de vol » du signal radio que nous utilisons pour localiser le nœud mobile. Pour que cette estimation soit relativement fiable, nous avons utilisé deux technologies radio décrites dans IEEE 802.15.4, le *Chirp Spread Spectrum* (CSS) et l'*Ultra-Wide Band* (UWB). Nous avons proposé des protocoles [15] permettant d'accélérer la mesure dans le cas où plusieurs ancres doivent être contactées par le mobile. Si nous avons pu étudier le problème sur un prototype de taille réduite (4 nœuds), nous avons rapidement réalisé la nécessité d'étudier le passage à l'échelle de notre solution. D'autre part, DV-Hop étant pratiquement un standard de-facto au sein de la communauté scientifique, nous ne saurions négliger de comparer notre proposition à cette référence. La problématique est donc d'identifier un *testbed* supportant à la fois DV-Hop mais aussi nos solutions *range-based*. A l'heure où nous écrivons ces lignes, un tel dispositif n'est pas disponible. Certes, des plateformes riches telles que [11] ou [14] existent mais les technologies radio mises en œuvre ne permettent l'implémentation de nos solutions. En effet, notre approche repose sur le temps de propagation du signal, donnée difficilement mesurable avec une couche physique IEEE 802.15.4 DSSS. Nous avons donc décidé de mettre en place notre propre *testbed*.

Dans cette optique, nous avons inclus des étudiants tant de DUT que de *Master* dans notre démarche. Dans la suite de l'article, nous examinerons la

démarche d'intégration des étudiants, les résultats obtenus mais aussi les avantages de cette approche dans un contexte pédagogique universitaire.

3.1. IMPLICATION DES ETUDIANTS

Les étudiants ont été intégrés au projet de recherche dans le cadre de leurs projets tuteurés. L'un a été attribué à des étudiants du département Informatique de l'IUT de Blagnac et concerne l'implémentation de DV-Hop sur un émulateur réseau développé au sein de l'équipe de recherche IRT de l'IRIT. Le second projet réunit des étudiants du *Master ICE*, rattaché au département Informatique de l'IUT, et concerne le développement d'une interface web de gestion de la localisation.

3.2. OBJECTIFS

On pourrait considérer à tort ce type de projet tuteuré comme une opportunité pour un chercheur de faire réaliser une tâche ingrate gratuitement en se réservant pour des défis plus excitants. Dans le contexte de notre équipe, l'objectif ne se réduit pas à produire du code. Trois autres axes entrent en ligne de compte :

- **Sensibilisation à des thématiques extérieures au champ usuel d'activité** : comme indiqué précédemment, nous nous sommes adressés principalement à des étudiants d'informatique. Un projet lié à la localisation dans un réseau sans fil leur permet de développer une sensibilité pour des problématiques protocolaires comme la gestion des accès au médium ou l'implémentation du format des trames. D'autre part, si l'idée de base est de calculer la position, il est possible d'imaginer une multitude d'applications exploitant cette information. Disposer des moyens pour obtenir la position permet d'aborder avec confiance le processus créatif.
- **Initiation à la recherche** : généralement, un projet tuteuré implique un document rédigé par le(s) encadrant(s), résumant l'objectif que les étudiants formaliseront en un cahier des charges. Nous avons adopté avec nos étudiants une approche différente. Certes, nous leur avons fourni un résumé de l'objectif mais en ce qui concerne les détails du protocole et de l'algorithme à implémenter, nous les avons orientés vers une publication décrivant le processus. Leur première tâche a donc été de s'approprier DV-Hop.
- **Développement de la confiance en soi** : l'un des obstacles souvent rencontrés en enseignement est l'appréhension avec laquelle certains étudiants informaticiens abordent les thématiques, en particulier, lorsqu'il s'agit de domaines où logiciel et matériel convergent. Afin de faciliter la transition vers le *hardware*, nous avons mis à

disposition des étudiants un émulateur de réseau de capteurs, WiNoEmu. Débuter sur cet environnement *software* sécurisé permet aux étudiants de dissocier électronique et génie logiciel dans un premier temps. Par la suite, ils seront amenés à transférer leur production logicielle sur des nœuds réels, moyennant quelques changements mineurs afin d'adapter le code à la plateforme cible.

4. OUTILS

Dans le cadre de nos activités de recherche sur les réseaux sans fil et les protocoles, nous avons développé un système de prototypage rapide pour l'ingénierie des protocoles pour les réseaux de capteurs sans fil et l'Internet des Objets. OpenWiNo [16], pour *Open Wireless Node*, est une architecture matérielle et logicielle permettant l'élaboration rapide (conception et validation de protocoles, émulation, déploiement en environnement réel) de protocoles réseaux. Le dispositif fournit un environnement de développement incluant la gestion de la couche physique (typiquement Zigbee/IEEE 802.15.4, mais sans que ce soit une limite) et les outils nécessaires au développement d'une pile protocolaire complète. Le processus d'ingénierie des protocoles est simplifié par les possibilités conjointes d'émulation des nœuds et de déploiement sur cible finale, sans modification de code entre les deux, ce qui représente un avantage majeur. De plus, OpenWiNo se veut être un outil facilitant le transfert de technologie ; les nœuds WiNo sont petits, peu consommateur d'énergie – ils permettent l'évaluation de réseaux autonomes en énergie déployés sur plusieurs mois [17] – et, basés sur *Arduino*, permettent l'adjonction simple et rapide de capteurs et actionneurs.

Pour arriver à ses fins et favoriser le prototypage rapide de protocoles, OpenWiNo est constitué de deux sous-systèmes *WiNoEmu* (*Emulator*) et *WiNoTB* (Testbed) partageant un noyau commun *WiNoKernel* ; la figure 3 illustre les liens entre les trois composants. L'usage typique d'OpenWiNo est le suivant : une fois le noyau pris en main par le développeur, celui-ci peut commencer à implémenter le nouveau protocole et les algorithmes associés dans l'environnement WiNoEmu, sous GNU/Linux.

Le langage de programmation utilisé est le Langage C, permettant à la fois de respecter des exigences temporelles ou une utilisation raisonnable de la mémoire compatible avec les quantités disponibles sur les cibles finales, tout en étant relativement portable d'une plateforme matérielle à une autre, via l'abstraction réalisée par le noyau. Pendant la phase d'implémentation, le développeur peut lancer plusieurs instances de WiNoEmu, chacune émulant un nœud du réseau et procéder ainsi à des

tests. Une fois le nouveau protocole rodé et validé sous l'émulateur, le développeur recompile l'ensemble pour la cible visée sous WiNoTB.

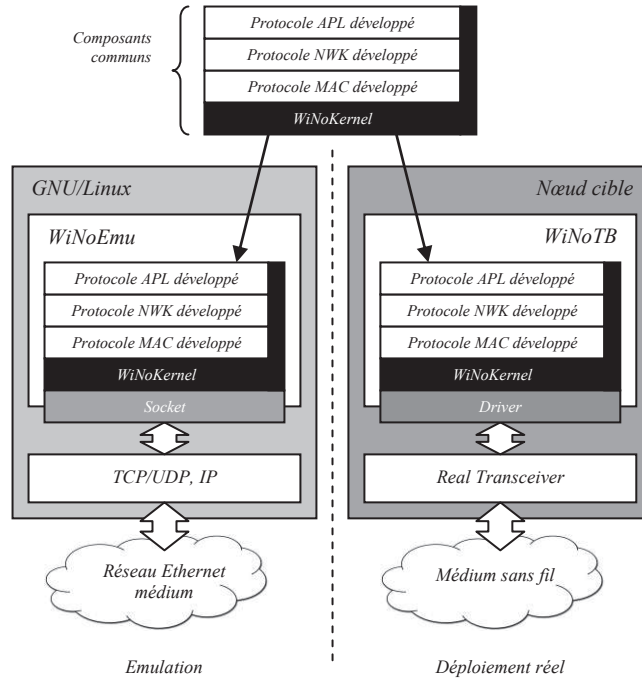


Figure 3 : architecture logicielle OpenWino

L'étape suivante est le déploiement et l'analyse de performance en environnement réel. En développant suivant les méthodes *agiles* [18], le processus de développement peut permettre d'obtenir rapidement des résultats dans le monde réel, y compris au travers de projets tuteurés avec les étudiants de DUT.

5. RESULTATS

5.1. IMPLEMENTATION DE DV-HOP

Comme cela a été évoqué plus haut, DV-Hop est considéré comme le protocole de référence en matière de localisation par le réseau sans fil. La plupart des contributions lui sont alors comparées, ce qui nécessite d'en avoir une implémentation à portée de main. Pour ce faire, nous avons confié son implémentation, dans sa version initiale la plus simple (et la plus connue), à une équipe de cinq étudiants en deuxième année de DUT Informatique, dans le cadre de leur projet tuteuré. OpenWiNo étant programmé en Langage C, et l'environnement d'émulation permettant de mettre temporairement de côté les difficultés liées au matériel, le projet était tout à fait envisageable.

Les étudiants ont mis en œuvre le protocole nécessaire à l'échange des distances moyennes ainsi que l'algorithme de calcul de position, basé sur la trilatération.

5.2. IMPLEMENTATION D'UNE INTERFACE WEB POUR LA VISUALISATION DE DONNEES DE LOCALISATION

Une fois les données de localisation déterminées, que ce soit par l'utilisation de DV-Hop ou d'une autre méthode, il paraissait naturel de disposer d'une interface graphique permettant la représentation des données sur un plan ou une carte. Les résultats finaux, voire même le détail du calcul (*ranging*, confiance sur les valeurs déterminées, calculs temporaires...) devaient être facilement visualisables, à des fins de débogage comme de démonstration. Ce second travail a été réalisé par des étudiants du *Master ICE* de l'Université de Toulouse II, *Master* co-opéré par le département Informatique de l'IUT de Blagnac.

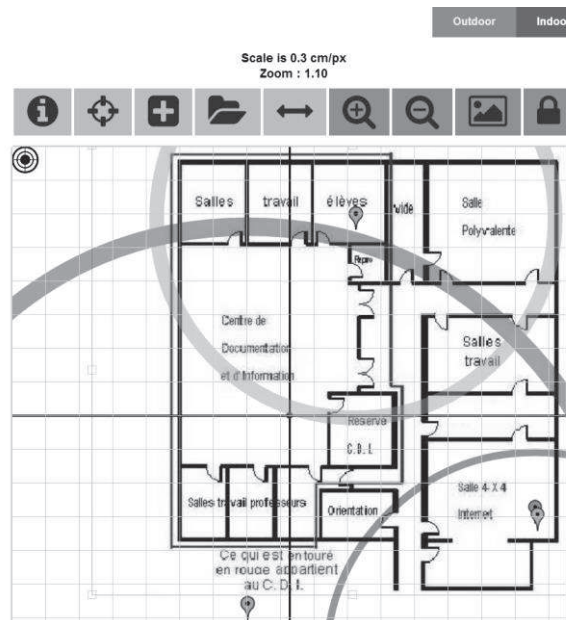


Figure 4 : résultat de localisation *indoor*

Le dispositif développé fonctionne aussi bien en intérieur (*indoor*, figure 4) à partir de plans déposés sur le serveur, qu'en extérieur (*outdoor*, figure 5), alors à partir de l'API Google Maps. Sur les figures présentées, les ancres sont repérées en orange, la position réelle du mobile, lorsqu'elle est connue, en vert et la position déterminée, en bleu.



Figure 5 : résultat de localisation *outdoor*

Les anneaux, optionnels, représentent les valeurs du ranging réalisé (distances du mobile par rapport à chaque ancre). L'incertitude de cette valeur est représentée par l'épaisseur de l'anneau. Les anneaux ne constituent pas un résultat en soi, mais sont des résultats intermédiaire qu'il peut-être intéressant de représenter pour évaluer graphiquement la pertinence du résultat obtenu.

6. CONCLUSION

Nous avons introduit dans cet article des travaux de recherche impliquant des membres de l'équipe IRT de l'IUT de Blagnac, mais également des étudiants du DUT et de Master via leurs activités pédagogiques. Cette activité de recherche sur la localisation a maintenant 4 ans d'existence à Blagnac et a permis de nombreuses contributions et travaux, dont 2 thèses soutenues [11], [15], 1 stage de master [20] et une nouvelle thèse en cours. Plusieurs projets de recherche sont également en cours de soumission avec pour objectif de mettre à profit nos connaissances et compétences dans le domaine de la localisation de stations mobiles dans des réseaux sans fil. Cette thématique de recherche présente l'avantage d'être très ouverte et ludique et offre ainsi un terrain de jeu idéal à nos étudiants de DUT en particulier. Si ces derniers y ont gagné en expérience et en ouverture sur d'autres domaines d'application de leurs compétences, les efforts consentis nous rapprochent d'une solution de localisation intégrée à IP et adaptée à l'Internet des Objets. Dans un futur proche, nous nous pencherons sur l'intégration de 6LoWPAN et IPv6 dans le réseau de capteurs sans fil afin d'aboutir à une version de notre réseau accessible en tout point de la planète. De nombreux sujets de projets tuteurés sont d'ores et déjà imaginés comme le côté purement réseau et protocoles à mettre en œuvre pour intégrer cette nouvelle pile protocolaire, le traitement des données et la visualisation des positions des équipements mobiles, et

l'intégration de ce type de nœud sans fil localisable dans une canne de marche pour l'aide et le suivi des personnes âgées pour le maintien à domicile : projet CANet présenté au CNRIUT de Tours [21].

REMERCIEMENTS

L'équipe de recherche IRT remercie les étudiants qui ont participé à ces travaux, par ordre alphabétique : Christophe Abbadie, Julie Badets, Dorian Damico, Guillaume Didier, Corentin Frade, Guillaume Meiment, Jean-Christophe Prat, Steven Roche et Emeric Tosi.

7. REFERENCES

- [1] UbiSense http://fr.ubisense.net/en/media/pdfs/products_pdf/uk/10698_ubisense_research_package_fact_sheet.pdf
- [2] Ekahau <http://www.ekahau.com/real-time-location-system/why-ekahau-rtls>
- [3] Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications 2012, IEEE Computer Society
- [4] Specific requirements Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs), IEEE Computer Society, juin 2005
- [5] Bluetooth Low Energy <https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications>
- [6] iBeacon <http://support.apple.com/kb/HT6048>
- [7] Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs) Amendment 1: Add Alternate PHYs, IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems, août 2007
- [8] D. Niculescu and B. Nath, *Position and Orientation in Ad Hoc Networks* Elsevier Ad Hoc Network, vol. 2, no. 2, Apr. 2004
- [9] Nanotron Find http://www.nanotron.com/EN/PR_find.php
- [10] HubOne <http://www.hubone.fr/nos-solutions/tracabilite/suivi-des-ressources/localisation-temps-reel-rtls>
- [11] SensLab <http://www.senslab.info/>
- [12] MoteLab <http://motelab.eecs.harvard.edu/>
- [13] WiseBed www.wisebed.eu
- [14] SmartSantander http://www.libelium.com/smart_santander_smart_parking/
- [15] R. Dalce. *Méthodes de localisation par le signal de communication dans les réseaux de capteurs sans fil en intérieur*. Thèse de doctorat, INSA de Toulouse - EDSYS – Laboratoires LATTIS puis IRIT, juin 2013
- [16] A. van den Bossche and T. Val, *WiNo : une plateforme d'émulation et de prototypage rapide pour l'ingénierie des protocoles en réseaux de capteurs*

sans fil. Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UBIMOB 2013), Nancy, France, 05/06/2013-06/06/2013, juin 2013

- [17] N. Fourty, A. van den Bossche, T. Val, *An advanced study of energy consumption in an IEEE 802.15.4 based network: everything but the truth on 802.15.4 node lifetime*, Computer Communications, Elsevier, Numéro spécial Wireless Green, juin 2012
- [18] Agile Alliance <http://www.agilealliance.org>
- [19] L. Gui, *Amélioration de la Localisation dans les Réseaux de Capteurs sans Fil par Méthodes "Range-free"*. Thèse de doctorat, INSA Toulouse - EDSYS - Laboratoires LATTIS puis IRIT, février 2013
- [20] H. Marou, stage de Master Recherche «Étude et caractérisation d'une PHY/MAC 802.15.4a UWB et implémentation d'algorithmes de localisation sur un réseau de capteurs sans fil» février-août 2013
- [21] E. Bougeois, A. van den Bossche, N. Cazenave, L. Redon, A. Soveja, T. Val, T. Villemur, *Le projet CANet : une activité pluridisciplinaire liant recherche et pédagogie*, CNR IUT 2012 : Congrès National de la Recherche en IUT, Tours, France, 2012