

Journées Nationales
des Communications
Terrestres

JNCT 2014

Université de Toulouse 2
IUT de Toulouse-Blagnac

Laboratoire CNRS-IRIT

22-23 mai

Conception graphique : Pascal Galès, Université de Toulouse-Le Mirail / CNRS - DUE



Table des matières

Edito	2
Historique - Comités du JNCT 2014	3
Partenaires	4
Programme	5
Liste des participants	7
Etude des couches MAC dédiées à l'UWB	8
Interconnexion d'un réseau IP et d'un réseau domotique KNX pour l'aide au maintien à domicile intelligent	20
Une plateforme de développement et de validation de protocoles pour la localisation dans les réseaux sans fil	28
Protocole expérimental d'évaluation de la qualité d'un lien radio déployé à la surface de l'eau	40
Transmission de la voix sur des liens sans fil IEEE 802.15.4	52
Un algorithme prédictif d'état de lien pour les réseaux ad hoc véhiculaires	64
Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil	75
Impact des interférences dans un réseau sans fil multi-sauts	87
Localisation d'une source sonore par un réseau de microphones	96
Etat de l'art des méthodes d'accès multi-canal pour les réseaux locaux sans fil	110
Approche déclarative pour le monitoring des bâtiments intelligents	123
La sécurité des ascenseurs avec des communications Ethernet-Based Real-Time	132
Quels services pour favoriser le lancement des C-ITS ?	139
Révocation et renouvellement sécurisés de clés pour les RCSF	145
Vers une aide pour la qualification énergétique des bâtiments intelligents	146
Article invité : Réseaux radio cognitifs : concepts et challenges	147
Article invité : WiNo : une plateforme d'émulation et de prototypage rapide pour l'ingénierie des protocoles dans les WSN	148
Article invité : Comment les méthodes formelles peuvent-elles nous aider à sécuriser les Réseaux de Capteurs Sans Fil ?	149

Edito : Journées Nationales des Communications Terrestres JNCT 2014 Toulouse-Blagnac – France

La 4^{ième} édition du congrès JNCT « Journées Nationales des Communications Terrestres » s'est tenue, les 22 et 23 mai 2014 à l'IUT de Toulouse-Blagnac, Université de Toulouse 2, laboratoire CNRS-IRIT. L'originalité des JNCT est de rassembler des spécialistes des domaines concernés par les fondements des communications numériques sans fil terrestre. Les thèmes principaux proposés sont liés, entre autres, aux axes de recherche suivants :

- Modélisation de canal pour le SISO et le MIMO
- Modélisation et codage
- Contrôle de puissance et problèmes d'extensibilité
- Modélisation de la mobilité
- Localisation de stations mobiles et synchronisation
- Passage à l'échelle
- Protocole d'accès au médium
- Protocole économes en énergie
- Ingénierie de protocoles de communication
- Cross-layering
- Modélisation des couches basses dans les simulateurs de réseaux
- Communication véhicule-à-véhicule, véhicule-à-infrastructure, intra-véhicule, véhicule à Internet
- Intégration des véhicules électriques dans les VANET et Smart Grid
- Collecte et dissémination d'informations
- Services d'information aux voyageurs et transport multimodal
- FOT (Field Operational Tests) sur VANET
- Nouvelles applications et services pour les transports
- Sécurité des communications dans les transports
- Sécurité des réseaux de capteurs sans fil

Cette édition 2014 des JNCT a été l'opportunité de colorer l'une des thématiques de recherche en fonction du contexte local : les communications sans fil dans la Maison Intelligente, en relation directe avec les nombreuses recherches et projets menés à l'IUT de Blagnac dans ce domaine. Une quarantaine de participants s'est réunie cette 4^{ième} édition. Trois sessions « invités » sont venues compléter 14 présentations orales des articles soumis, évalués et acceptés par le comité scientifique des JNCT 2014. La fin de l'après-midi du jeudi 22 a été l'occasion de visiter les usines Airbus de l'A380 sur le site de Blagnac, visite qui a précédé le dîner de gala. Le comité scientifique a décerné le prix du meilleur article à Jonathan LEDY. Merci à tous pour votre participation, et à l'année prochaine à Valence pour la 5^{ième} édition.

Historique

Ces journées JNCT sont en particulier l'émanation du groupe de travail L2I (LIMOS-LIRMMICARE). Ce groupe de travail L2I a été mis en place en 2001 et organisé par Philippe FRAISSE de Montpellier, Thierry VAL de Toulouse et Michel MISSON de Clermont-Ferrand. Ce groupe de travail a été initialement soutenu par la région Midi-Pyrénées. Il se réunit environ trois fois par ans et travaille sur la problématique générale des communications sans fil dédiées aux applications industrielles et robotiques. Il regroupe en moyenne 30 personnes composées de chercheurs universitaires, de doctorants et d'industriels. Initialement composé de membres de Toulouse, Clermont-Ferrand et Montpellier, ce groupe de travail s'est élargi à des intervenants de la France entière. La première édition des JNCTT s'est déroulée à Colmar en 2011, la seconde édition des JNCT s'est déroulée à Clermont-Ferrand en 2012, la troisième édition des JNCT s'est déroulée à Nevers en 2013.

Comités du JNCT 2014

Comité d'organisation local :

- Adrien VAN DEN BOSSCHE (IUT)
- Thierry VAL (IUT)
- Fabienne DENUK (CPRS-UT2)
- Laurence REDON (IUT)
- Réjane DALCE (IUT)

Comité scientifique :

- Thierry VAL (IRIT)
- Adrien VAN DEN BOSSCHE (IRIT)
- Hasnaâ ANISS (IFSTTAR)
- Benoît HILT (MIPS)
- Frédéric DROUHIN (MIPS)
- Michel MISSON (LIMOS)
- Joël TOUSSAINT (LIMOS)
- Nicolas FOURTY (LCIS)
- Sidi Mohammed SENOUCI (DRIVE)
- André-Luc BEYLOT (IRIT)
- Thomas NOEL (ICube)

Responsables site WEB : <https://sites.google.com/site/jnct2014/>

- Thierry VAL (IRIT)
- Adrien VAN DEN BOSSCHE (IRIT)

Partenaires



L'université de Toulouse 2 et le soutien du CPRS



Le laboratoire CNRS-IRIT



L'IUT de Blagnac



Le GDR ASR



La ville de Blagnac

Programme

jeudi 22 mai 2014

- 09:30 - 10:30 Accueil et inscription
- 10:30 - 11:15 Visite - Maison Intelligente - Adrien VAN DEN BOSSCHE
- 11:15 - 12:45 Session 1 (Grand Amphi) - Adrien VAN DEN BOSSCHE
- 11:15 - 11:45 › Protocole expérimental d'évaluation de la qualité d'un lien radio déployé à la surface de l'eau - Honoré BIZAGWIRA, Laboratoire d'Informatique, de Modélisation et d'optimisation des Systèmes
- 11:45 - 12:15 › Approche déclarative pour le monitoring des bâtiments intelligents - Manel CHARFI, Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information
- 12:15 - 12:45 › Un indicateur prédictif d'état de lien pour les réseaux ad hoc - Jonathan LEDY, MIPS-UHA
- 12:45 - 14:00 Repas - Déjeuner
- 14:00 - 15:00 Article invité (Grand Amphi) - Adrien VAN DEN BOSSCHE
- 14:00 - 15:00 › Réseaux radio cognitifs : concepts et challenges - Hanen IDOUDI, RAMSIS Team, CRISTAL Lab
- 15:00 - 15:15 Pause - café
- 15:15 - 17:15 Session 2 (Grand Amphi) - Nicolas FOURTY
- 15:15 - 15:45 › Une plateforme de développement et de validation de protocoles pour la localisation dans les réseaux sans fil - Rejane DALCE, Institut de recherche en informatique de Toulouse
- 15:45 - 16:15 › Quels services pour favoriser le lancement des C-ITS - Olivier SEGARD, Télécom Ecole de Management
- 16:15 - 16:30 › Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil - Sami MNASRI
- 16:30 - 16:45 › Nouveau challenge pour la sécurité des ascenseurs intégration des communications Ethernet-Based Real-Time - Ayoub SOURY, LCIS
- 16:45 - 17:15 › Révocation et renouvellement sécurisés de clés pour les RCSF - Ismail MANSOUR, LIMOS, Clermont Université
- 17:15 - 18:45 Visite usines A380 - Airbus
- 18:45 - 23:00 Dîner de gala

vendredi 23 mai 2014

- 08:30 - 08:45 Accueil
- 08:45 - 09:45 Article invité (Grand Amphi) - Thierry VAL
- 08:45 - 09:45 › WiNo : une plateforme d'émulation et de prototypage rapide pour l'ingénierie des protocoles dans les réseaux de capteurs sans fil - Adrien VAN DEN BOSSCHE, Institut de recherche en informatique de Toulouse
- 09:45 - 10:45 Session 3 (Grand Amphi) - Alexandre GUITTON
- 09:45 - 10:00 › Etat de l'art des méthodes d'accès multi-canal pour les réseaux locaux sans fil - Mahamat Habib SENOUSSEIN, Institut de recherche en informatique de Toulouse
- 10:00 - 10:15 › Etude des couches MAC dédiées à l'UWB - Nezo Ibrahim FOFANA, Institut de Recherche en Informatique de Toulouse
- 10:15 - 10:30 › Interconnexion d'un réseau IP et d'un réseau domotique KNX pour l'aide au maintien à domicile intelligent - Asma BEN HADJ MOHAMED, Institut de recherche en informatique de Toulouse
- 10:30 - 10:45 › Transmission de la voix sur des liens sans fil IEEE 802.15.4 - Sabri KHSSIBI, Institut de recherche en informatique de Toulouse
- 10:45 - 11:00 Pause - café
- 11:00 - 12:30 Session 4 (Grand Amphi) - Jonathan LEDY
- 11:00 - 11:30 › Vers une aide pour la qualification énergétique des bâtiments intelligents - Anthony GELIBERT, Nocosium, Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes
- 11:30 - 12:00 › Localisation d'une source sonore par un réseau de microphones - Adel THALJAOUI, CNRS-IRIT
- 12:00 - 12:30 › Impact des interférences dans un réseau sans fil multi-sauts - Thierry Val - Institut de recherche en informatique de Toulouse
- 12:30 - 13:30 Repas - Déjeuner
- 13:30 - 14:00 Visite - Maison Intelligente - Adrien VAN DEN BOSSCHE
- 14:00 - 15:00 Article invité (Grand Amphi) - Michel MISSON
- 14:00 - 15:00 › Comment les méthodes formelles peuvent-elles nous aider à sécuriser les Réseaux de Capteurs Sans Fil ? - Pascal LAFOURCADE, LIMOS
- 15:00 - 15:45 Bilan - JNCT 2014 - Comité Scientifique JNCT

Liste des participants

Nom	Prénom	Mail	Organisme
BEN HADJ MOHAMAD	Asma	asma.belhaj@gmail.com	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT
BIZAGWIRA	Honoré	bizagwira@gmail.com	Université Blaise Pascal
CHALHOUB	Gérard	gerard.chalhoub@udamail.fr	Université d'Auvergne/LIMOS
CHAPUT	Emmanuel	chaput@enseciht.fr	IRIT/ENSEEIH
CHARFI	MANEL	manel.charfi@insa-lyon.fr	INSA LYON - Laboratoire LIRIS
DALCE	Réjane	rejane86@gmail.com	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT
DHAOU	Riadh	riadh.dhaou@enseciht.fr	IRIT/ENSEEIH
DIVINÉ	Valentin	divine.valenin@gmail.com	LIMOS Clermont-Ferrand
FASSON	Julien	jfasson@enseciht.fr	IRIT/ENSEEIH
FOFANA	Nezo Ibrahim	nezo-ibrahim.fofana@irit.fr	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT
FOURTY	Nicolas	nicolas.fourty@lcis.grenoble-inp.fr	LCIS
GELIBERT	Anthony	anthony.gelibert@lcis.grenoble-inp.fr	LCIS
GENON-CATALOT	Denis	denis.genon-catalot@lcis.grenoble-inp.fr	LCIS
GRIPAY	Yann	yann.gripay@liris.cnrs.fr	LIRIS, INSA de Lyon
GUITTON	Alexandre	alexandre.guitton@univ-bpclermont.fr	Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand)
HOUAIDIA	Chiraz	chiraz.houaidia@irit.fr	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT
HUSSEIN	Mohammed	mohammed.hussein@enseciht.fr	IRIT/ENSEEIH
IDOUDI	Hanen	h.idoudi@gmail.com	Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique (ENSI) / Université de la Manouba
KHSSIBI	Sabri	khssibi@irit.fr	Université de Toulouse II - IUT Blagnac et Campus de la Manouba (Tunisie)
LAFOURCADE	Pascal	pascal.lafourcade@udamail.fr	LIMOS/UDA
LEDY	Jonathan	ledy.jonathan@gmail.com	UHA
MANSOUR	Ismail	ismail.mansour@udamail.fr	LIMOS-Université d'Auvergne
MISSON	Michel	michel.misson@udamail.fr	LIMOS / CNRS
MNASRI	Sami	mnasri_sami@yahoo.fr	Faculté des Sciences de Gafsa
NASRI	Nejah	nejah.nasri@isecs.rnu.tn	Faculté des Sciences de Gafsa
SEGARD	OLIVIER	olivier.segard@telecom-em.eu	TELECOM ECOLE DE MANAGEMENT
SENOUSSI HISSEINIUT	Mahamat Habib	mahamatlahbib@yahoo.fr	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT
SOURY	Ayoub	ayoub.soury@lcis.grenoble-inp.fr	LCIS
THALJAOU	Adel	adel.thaljaoui@irit.fr	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT
TOUSSAINT	Joël	joel.toussaint@udamail.fr	
VAL	Thierry	val.thierry@gmail.com	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT
VAN DEN BOSSCHE	Adrien	vandenbo@univ-tlse2.fr	Université de Toulouse II - IUT Blagnac / Laboratoire IRIT

Etude des couches MAC dédiées à l'UWB

Nezo Ibrahim FOFANA, Adrien VAN DEN BOSSCHE et Thierry VAL
Université de Toulouse, UT2J - Laboratoire CNRS-IRIT-IRT – IUT Blagnac
{Nezo-Ibrahim.Fofana, Adrien.Van-Den-Bossche, thierry.val}@irit.fr

Résumé : La norme IEEE 802.15.4a UWB offre un moyen de communication adapté aux environnements où la localisation de nœuds mobiles par mesure de temps de vol est nécessaire, en particulier pour ses capacités à obtenir une grande précision de mesure de distance entre deux nœuds communicants. La couche physique basée sur l'hyper étalement de spectre présente des caractéristiques originales qu'il est nécessaire de prendre en compte pour proposer une couche d'accès au médium la plus adaptée possible aux échanges de trames dévolus à la mesure du temps de vol (ToF) entre les nœuds du réseau. Cet article présente cette étude bibliographique des couches bases de UWB, première étape dans ce travail de thèse.

Mots clés : Réseaux sans fil, WSN, localisation, UWB, 802.15.4a, Range-based

1. INTRODUCTION

Utilisée depuis les années 1960, la technologie UWB fut autorisée en 2002 par la FCC (organisme de réglementation américain) pour des applications commerciales. Cette technologie consiste à émettre des impulsions de très courtes durées inférieures à 2 ns. Cette résolution temporelle permet d'offrir une large bande passante mais surtout une très grande capacité de mesure de distance (*Ranging*) basée sur le temps de vol du signal UWB [1].

Cet article présente une étude des couches MAC existantes dédiées à l'UWB aux performances très prometteuses.

Il est nécessaire de faire tout d'abord une analyse des couches 1 et 2 d'UWB, ce qui permettra ensuite d'étudier une localisation d'objets communicants basée sur le temps de vol (*ToF*).

2. ETAT DE L'ART

2.1. HISTORIQUE DE L'UWB

Le sigle UWB a été proposé pour la première fois par le Département de la Défense (DoD) aux Etats-Unis en 1989 afin de qualifier ce moyen de communication.

Son compromis portée/débit très attractif ainsi que l'opportunité de réutiliser des bandes de fréquences déjà allouées dans le spectre ont été des facteurs clés qui ont déclenché l'engouement du monde industriel pour la radio impulsionnelle.

Après plusieurs années d'études et d'enquêtes et sous la pression des industriels qui souhaitent promouvoir l'UWB, la *Federal Communications Committee* (FCC : organisme américain de réglementation du spectre) a finalement publié, le 14 avril 2002, une position autorisant les systèmes UWB. Ainsi, les signaux UWB sont autorisés aux Etats-Unis dans la bande [3.1-10.6] GHz tant que leur Densité Spectrale de Puissance (DSP) moyenne n'excède pas -41.3 dBm/MHz avec une largeur de bande minimale de 500 MHz, protégeant ainsi la transmission d'autres signaux provenant d'utilisateurs de cette partie du spectre.

La normalisation de la technologie a été confiée en 2003 à un groupe de travail composé d'UWB Forum et WiMedia Alliance en vue de mettre en place la norme IEEE 802.15.3a.

Ces deux organismes n'arriveront pas à se mettre d'accord sur des choix techniques (*Direct Sequence UWB* pour l'UWB Forum et OFDM UWB pour la WiMedia Alliance). Cela va aboutir à la dissolution du groupe IEEE 802.15.3a. UWB Forum et WiMedia Alliance ont cependant annoncé qu'ils continueraient de travailler séparément sur le développement et la promotion de l'UWB. Entre temps, Motorola et Freescale ont quitté l'UWB Forum.

Cependant, l'arrivée de la norme IEEE 802.15.4 et des communications *machine to machine* (M2M) et notamment pour les applications de réseaux de capteurs sans fil, a fait émerger le besoin de définir une interface radio à bas débit. La diminution des débits a permis de réduire les contraintes de transmission et ainsi repositionner l'UWB impulsionnelle comme un candidat prometteur.

En 2004, le groupe de travail IEEE 802.15.4a sera créé avec pour objectif la standardisation d'une couche physique alternative à celle choisie par le groupe IEEE 802.15.4 en apportant de meilleurs performance et surtout un nouveau service de mesure précise de la distance (*Ranging*).

En décembre 2005, l'OFDM, solution multi bande soutenue par l'Alliance WiMedia sera adoptée en tant que norme par l'ECMA (ECMA-368).

En août 2007, la norme IEEE 802.15.4a sera publiée et adopté par l'IEEE : ce sera le standard IEEE 802.15.4a-2007.

2.2. PRESENTATION DU STANDARD IEEE 802.15.4A-2007

Étant données, les puissances autorisées pour émettre un signal UWB afin de ne pas perturber les autres signaux radios déjà en place (comme l'UMTS, WiMAX, WiFi) (cf. figure 1), les puissances ont été limitées à $-4,31\text{dBm/MHz}$. Ces systèmes sont limités à une portée de 10 à 100 mètres suivant les débits utilisés. Les applications associées à l'UWB sont les systèmes WPAN (*Wireless Personal Area Network*), les capteurs, les systèmes d'imageries et les radars pour les véhicules.

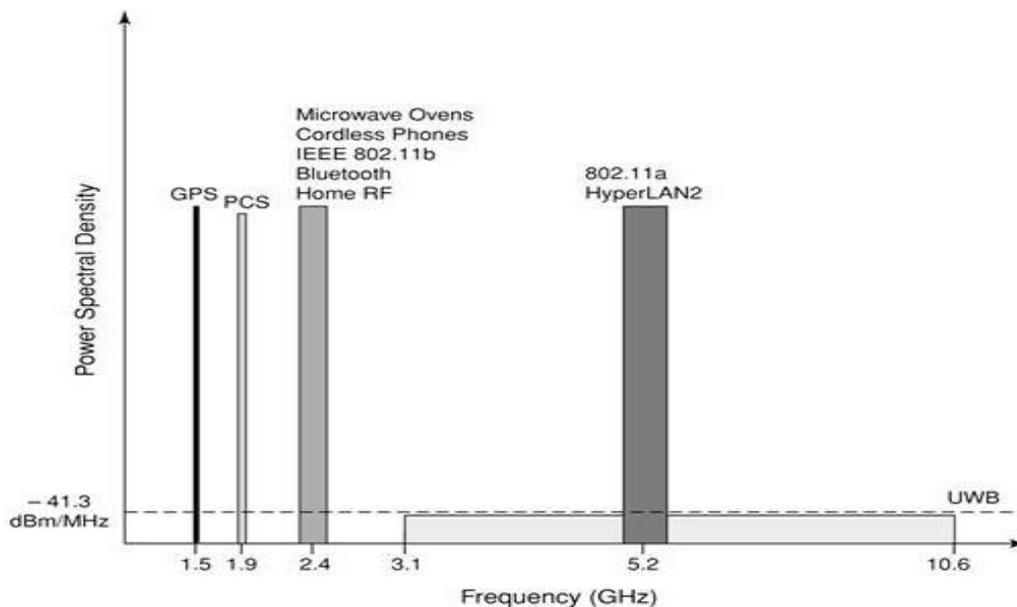


Figure 1 : Bande de fréquence du signal UWB. [1]

Cependant, les valeurs fixées par la FCC restent valables seulement aux Etats-Unis, la puissance permise est inférieure en Europe dans la réglementation dictée par l'ECC (*Electronic Communications Committee*).

En Europe, l'ouverture du spectre à l'UWB a été menée avec plus de précautions et a d'abord abouti à un masque divisé en 2 bandes distinctes, pour protéger la bande autour de 5 GHz où émettent des systèmes radio à infrastructures fixes tels que les réseaux wifi IEEE 802.11. (cf. figure 2).

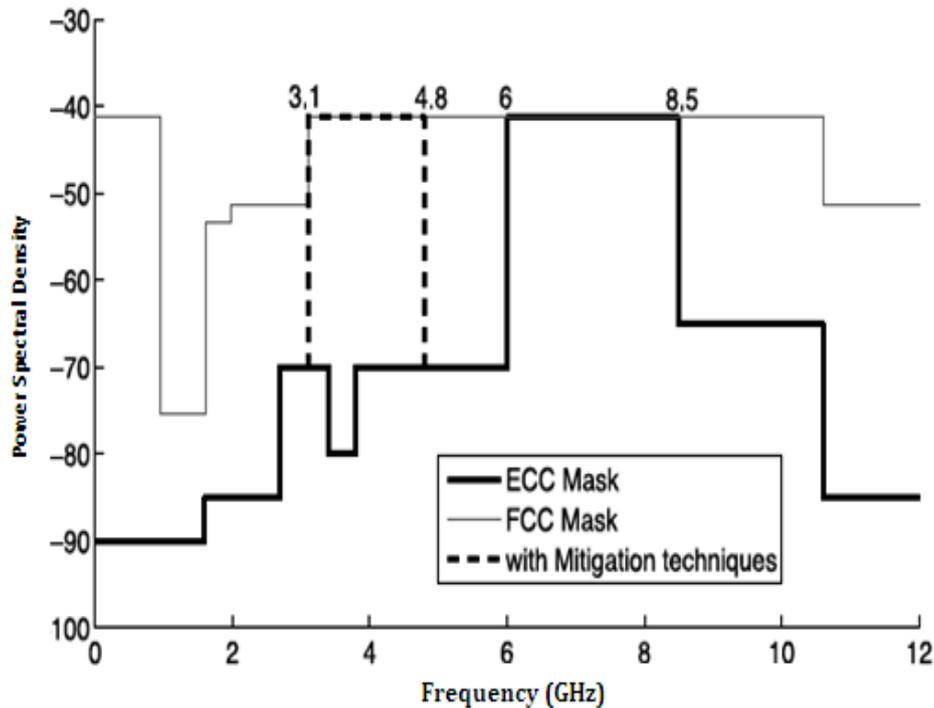


Figure 2 : Masque d'émission des signaux UWB autorisés en Europe et aux États-Unis (FCC). [1]

On distingue la bande basse entre 3.1 et 4.8 GHz et la bande haute au dessus de 6 GHz. Pour l'Europe, cette bande haute est comprise entre 6 et 8.5 GHz. Dans la bande haute, les limites d'émission des systèmes UWB sont les mêmes qu'aux États-Unis (-41,3 dBm/MHz), mais on voit ici qu'à l'échelle du globe, il n'existe plus que 1.25 GHz de bande utilisable avec un niveau d'émission harmonisé (contre les 7.5 GHz initialement ouverts aux USA). L'accès à la bande basse est plus rigoureux puisque la protection des services mobiles existants et futurs est renforcée par rapport aux États-Unis. Par exemple l'instance européenne de réglementation du spectre, l'ECC, a considéré que la limite en DSP moyenne à -41.3 dBm/MHz était insuffisante car elle mettait en danger le système UMTS en pouvant engendrer une hausse du plancher de bruit des stations de base et induire un effet dévastateur sur la boucle de contrôle de puissance.

De même, l'ECC a souhaité mieux protéger les bandes d'extension de l'UMTS et du 3GPP *Long Term Evolution*, notamment à 2.7 GHz dans la bande [3.4-3.6] GHz. C'est pourquoi l'Europe a statué en interdisant le déploiement en extérieur de systèmes d'émission UWB fixes et impose une limite d'émission en DSP située entre -85 et -70 dBm/MHz comme l'indique la figure 2.

Frequency range	Maximum mean EIRP density (dBm/MHz)	Maximum peak EIRP density (dBm/50MHz) (Note 2)
Below 1.6 GHz	-90	-50
1.6 to 3.8 GHz (Note 1)	-85	-45
3.8 to 4.8 GHz (Note 1)	-70	-30
4.8 to 6 GHz	-70	-30
6 to 8.5 GHz	-41.3	0
8.5 to 10.6 GHz	-65	-25
Above 10.6 GHz	-85	-45

Note 1—ECC is still considering whether to adopt a separate decision covering the 3.1–4.8 GHz frequency band.
Note 2—The peak EIRP can be alternatively measured in a 3 MHz bandwidth. In this case, the maximum peak EIRP limits to be applied is scaled down by a factor of $20\log(50/3) = 24.4$ dB.

Tableau 1 : Masque UWB pour l'Europe. [1]

Cependant, cette décision [2] est assortie d'un relâchement de cette contrainte à un niveau de -41.3 dBm/MHz si l'émission UWB implémente une technique de réduction d'interférence dans la bande [3.1-4.8] GHz. L'ECC prévoit 2 techniques possibles qui sont la limitation du facteur d'activité ou la détection et l'évitement de signaux dits primaires dans la bande.

Aujourd'hui, le principal système protégé par ces techniques de limitation d'interférence est le WiMAX qui opère dans une bande située à 3.5 GHz. Le document [2] précise les conditions d'application des techniques de limitation d'interférence. Par exemple, il fixe les fréquences, les durées et les seuils de détection des systèmes dans la bande pour la technique de détection et évitement (DAA, *Detect and Avoid*).

De même, ce document détaille la technique de limitation du facteur d'activité (LDC pour *Low Duty Cycle*). Ainsi, une émission UWB est autorisée dans la bande [3.1-4.8] GHz à une DSP moyenne de -41.3 dBm/MHz si l'équipement UWB n'émet pas plus de 5 ms en continu et le ratio entre la durée d'émission cumulée T_{on} et la durée de silence cumulée T_{off} n'excède pas 5 % sur une seconde et 0.5 % sur une heure.

Ces valeurs ont été retenues par l'ECC suite à des campagnes de mesures menées sur 2 services victimes que sont le WiMAX et les radars militaires.

2.3. LES DIFFERENTS SIGNAUX UWB

2.3.1. Deux techniques d'émissions

Il existe plusieurs façons de générer les signaux UWB.

L'un des systèmes est l'approche multi-bande avec une modulation de type OFDM [3] supportée par l'alliance Wimedia. Des améliorations des systèmes multi-bande OFDM ont été développées par France Télécom R&D dans le cadre des projets MAGNET (projets européens). Dans le projet IST-FP6 MAGNET, France Télécom R & D a proposé des améliorations au système UWB-OFDM de Wi-Media en considérant un système à efficacité spectrale optimisée grâce à l'ajustement de l'écart inter-porteuse et un système à bandes RF multiples capable de travailler à 60 GHz.

[4] explique la technique MB-OFDM (Multi-Bande OFDM) qui transmet les porteuses multiples simultanément de façon espacée sur des fréquences précises. L'utilisation d'algorithmes de transformée de fourrier rapides garantit une grande efficacité énergétique dans les cas de trajets multiples, tout en n'augmentant que légèrement la complexité de l'émetteur. Les bénéfices de cette solution MB-OFDM incluent la flexibilité et la forte élasticité spectrale ainsi qu'une forte résistance aux interférences radio et aux effets provenant des trajets multiples.

Les techniques de modulation OFDM ont été appliquées avec succès à de nombreux systèmes de communication commercialisés aux performances élevées, notamment Wi-Fi 802.11a/g, WiMAX 802.16.a, HomePlug et les normes ADSL.

L'autre système est généré à partir d'impulsion large bande radio (DS-UWB : *Direct Spectrum - Ultra Wide Bande*), technique soutenue par l'UWB Forum.

Le format de la bande très large à séquence directe (DS-UWB) est souvent appelé technologie porteuse d'impulsion. La DS-UWB fonctionne en envoyant des impulsions à faible énergie reçues de manière cohérente au niveau du récepteur.

Chacune de ses impulsions DS-UWB a une durée très courte. Elle est généralement comprise entre 10 et 1000 picosecondes, et par conséquent, elle est plus courte que la durée d'un unique bit issu des données à transmettre. Une durée d'impulsion courte signifie que les effets de trajets multiples peuvent généralement être ignorés, donnant lieu à un grand degré de résilience lors des transmissions UWB à large bande lorsque le trajet du signal est à l'intérieur des bâtiments.

Compte tenu de la large bande passante sur laquelle les transmissions DS-UWB sont réparties, la densité d'énergie réelle est extrêmement faible. Typiquement, un émetteur DS-UWB peut transmettre moins de 75 nW par Mhz. Lorsqu'il est intégré sur la bande passante totale de la transmission, cela signifie que les transmissions sont autour de 0,25 milliwatts (mW). Ceci est très faible comparativement à 802.11.

Nous avons présenté deux techniques de transmission MB-OFDM et DS-UWB. Notre thèse portera sur la dernière : la radio impulsionnelle bas débit DS-UWB soutenue d'ailleurs par la norme IEEE 802.15.4a. Le matériel disponible [11] pour notre sujet de thèse ne permet pas de traiter du signal MB-OFDM.

2.3.2. Modulation de l'information

La transmission de l'information se fait en émettant une impulsion codant chaque bit d'information. Les modulations utilisées pour transmettre l'information sont les suivantes :

- Modulation par polarité de l'impulsion (appelée BPSK pour *Binary Phase Shift Keying*) où l'information est transmise par l'émission d'une impulsion avec un déphasage de 0 ou π .
- La modulation par position (PPM) où la valeur binaire 1 est distinguée de la valeur 0 en retardant l'émission de l'impulsion par rapport au temps bit d'émission.
- Modulation Tout-ou-Rien (OOK pour *On Off Keying*) : sans doute la modulation la plus intuitive, elle consiste à émettre une impulsion si le bit est à 1 et rien dans le cas contraire. Elle est également la modulation la plus simple à implémenter et est particulièrement adaptée à des récepteurs non cohérents à détection d'énergie. elle favorise une faible consommation d'énergie.

2.4. LES METHODES D'ACCES DEDIEES A L'UWB

Dans un réseau, le problème majeur consiste à savoir qui a le droit d'émettre à un moment donné. Pour cela, des protocoles de niveau 2 ont été conçus afin de résoudre ce problème. Ces protocoles servant à désigner le prochain nœud qui sera autorisé à envoyer des informations sur le réseau sont implémentés dans une sous-couche interne à la couche liaison de données appelée sous-couche d'accès de contrôle au canal ou sous-couche MAC (Medium Access Control). Cette sous-couche joue un rôle très important dans les réseaux LAN, WLAN et WPAN, et plus particulièrement dans ceux dont le fonctionnement repose sur le principe de l'accès multiple.

2.4.1. Rôle de la couche MAC

La couche 2 est responsable de la gestion du lien radio au sens large. La sous-couche MAC gère plus particulièrement, les accès au médium Elle est responsable de la commande de l'émission de paquets d'acquittement des données reçues, de l'accès au canal. Elle contrôle l'activité du module radio en le faisant passer du mode inactif au mode émission lorsqu'un paquet doit être envoyé. En fonction du protocole implémenté, la couche MAC va réaliser un ensemble de tâches afin d'arbitrer l'émission effective du paquet.

2.4.2. Contraintes liées à la couche MAC

Nous avons vu que les contraintes liées aux réseaux de capteurs étaient la minimisation de l'énergie consommée par un nœud. C'est dire que pendant la conception du protocole MAC, il est primordial d'identifier les principales sources de gaspillage d'énergie et à chercher à les réduire.

Dans un réseau sans fil asynchrone et sans précaution spécifique, la couche MAC ne peut prédire l'arrivée d'un paquet. La radio d'un nœud reste ainsi allumée (et consomme beaucoup) dans l'attente d'un hypothétique paquet. Il est important de mettre en place un mécanisme afin de mettre en veille les différents nœuds et un rendez vous afin qu'ils puissent écouter le réseau par la suite. L'une des causes du gaspillage d'énergie est sans doute les collisions. Une collision entre deux émissions induit une réémission de ces paquets, synonyme d'une dépense d'énergie supplémentaire. Le surcoût du protocole est aussi considéré comme une source de gaspillage d'énergie. L'envoi de paquets de contrôle protocolaire, utilisés par exemple pour prévenir les risques de collisions (paquets de réservation de canal RTS/CTS : *Ready To Send/Clear To Send*), l'acquittement des messages reçus (paquets ACK/NACK) ou encore la maintenance d'une synchronisation entre les nœuds et les nombres élevés de bits contenus dans les paquets utiles sont autant de facteurs induisant une consommation importante.

Tous ces facteurs doivent être pris en compte afin de proposer un protocole dédié à la couche MAC.

2.4.3. Revue des protocoles MAC pour les réseaux de capteurs sans fil

Durant cette étude bibliographique, plusieurs protocoles ont été étudiés en commençant par les protocoles décrits par le standard IEEE 802.15.4.a.

Les protocoles ALOHA et CSMA/CA ont été définis comme méthode d'accès pour le standard IEEE 802.15.4.a mais aussi comme méthode pour

la norme IEEE 802.15.4 ; le seul amendement qui a été fait au niveau de l'UWB, est au niveau de la couche PHY, comme son nom l'indique : *Amendment 1-Add Alternate PHYs*.

Le protocole ALOHA fonctionne sans évitement de collision. Son principal avantage est sa simplicité, puisqu'il ne nécessite pas de synchronisation entre les mobiles. Pour un réseau à très faible débit, [1] propose un accès par ALOHA. La justification de ce choix est que la largeur de bande et l'efficacité de traitement d'une couche physique UWB permettent à deux paquets pourtant en collision, d'être parfois démodulés avec succès par deux nœuds récepteurs. Son inconvénient est une probabilité de collision très importante induisant une efficacité faible de 18% dans des cas où le décodage en réception n'est pas possible si deux trames sont émises en même temps. Ce mécanisme ALOHA est donc approprié pour les réseaux à faible charge.

Pour adresser le cas où la charge du réseau est plus importante et lorsque ce dernier ne peut tolérer la probabilité de collisions inhérente à l'ALOHA, un mécanisme a été ajouté pour diminuer la probabilité de non détection d'un canal occupé. Dans [5], selon la proposition contenue dans [9], des portions de préambule de synchronisation sont multiplexées aux données de telle sorte que, sur la durée spécifiée d'un CCA (*Clear Channel Assessment*), un nœud reçoive une de ces portions plus facilement détectable que les données modulées.

Le protocole CSMA/CA est plus complexe qu'ALOHA, tout en restant néanmoins assez facile à implémenter. Cependant, la méthode n'est pas déterministe car le temps d'accès maximal garanti n'est pas borné.

ALOHA serait un choix intéressant comme méthode d'accès si elle est utilisée dans sa version synchronisée appelé *slotted ALOHA*. Dans cette version, le temps est divisé en slots, et l'émetteur ne peut émettre qu'au début d'une slot. Ceci évite les collisions partielles et divise ainsi par deux le nombre total de collisions par rapport à ALOHA, ce qui double son efficacité qui passe à 36%.

D'autres couches MAC [5] basées sur l'utilisation des codes de saut comme le CDMA (*Code Division Multiple Access*) et TH-UWB (*Time Hopping-Ultra Wide Band*) ont été étudiées pendant cet état de l'art. Ces protocoles MAC reposent sur le papier [6] qui introduit explicitement le concept d'accès multiple grâce au code de saut temporel.

Dans [7], les auteurs proposent une vision finalement très proche du CDMA où les nœuds accèdent au canal selon le protocole ALOHA et où l'initiation d'une communication est réalisée par un échange de paquets RTS/CTS. Ces paquets portent un code de saut temporel de contrôle

commun à tous les nœuds, ce qui facilite la détection d'un paquet arrivant. Dans le paquet RTS, l'émetteur indique au récepteur le code de saut choisi pour le paquet de données. Si le destinataire est disponible, il répond par un paquet CTS à l'émetteur qu'il est prêt à recevoir et commute son récepteur pour recevoir le code indiqué par l'émetteur.

Utilisant le même principe de séparation des canaux de contrôle et de données, [8] présente un protocole MAC qui met en jeu des communications initiées par le récepteur. Chaque nœud prêt à recevoir des données, envoie à ses voisins un paquet RTR (*Ready To Receive*) auquel répondront, par un paquet RTS, ceux d'entre eux qui auront un message à lui transmettre. Ce paquet RTR inclut un champ qui précise le code de saut, choisi aléatoirement par l'initiateur, que doivent utiliser les nœuds pour la communication. L'initiateur reçoit, pendant une fenêtre de contention, les différents RTS et sélectionne parmi eux l'expéditeur de son choix en lui envoyant un CTS.

La plupart des protocoles MAC basés sur une couche radio TH-UWB proposent de séparer les paquets de contrôle des paquets de données par l'utilisation d'un code commun et de codes dédiés (code de saut choisi par l'émetteur pour le paquet des données). Ces derniers peuvent être alloués de manière statique ou dynamique. De plus, les nœuds doivent émettre des paquets périodiquement pour que tout nœud garde une information à jour des codes de ses voisins. En allocation dynamique, un code pour porter les données est choisi aléatoirement dans un ensemble de codes disponibles ; cela nécessite que le destinataire ou l'émetteur spécifient quel code sera utilisé pour la transmission des données dans les paquets d'initiation de la transaction (RTS/CTS).

Pour des raisons de limitations de fonctionnalités, nous n'allons pas retenir ces protocoles pour l'implémentation de notre contribution de thèse. En effet, le concept de canaux dédiés signifie que lors d'une communication dans le réseau, un nœud A ne pourra échanger seulement qu'avec un nœud B. Il n'y a donc pas de diffusion possible. Cela pourrait poser un problème au niveau de la localisation qui est notre objectif final. Pour notre implémentation, nous souhaitons qu'un nœud puisse localiser tous ces voisins pendant un échange de paquet de données où des trames de diffusions seront sans doute avantageusement utilisées.

3. CONCLUSION

Cet état de l'art a permis de présenter les principes des transmissions radio impulsionnelle UWB à bas débit en faisant tout d'abord une description de l'état de l'art des techniques de transmission, puis du contexte réglementaire et normatif. Cela nous a amené à poser les bases du

système UWB-IR (Ultra Wide Bande-Impulse Radio) que nous allons étudier pendant notre thèse .

Une étude conjointe théorique et pratique de la couche MAC et de la couche PHY permettra de proposer une MAC adaptée aux communications UWB et au cahier des charges de la localisation.

Notre système sera basé sur des composants radio UWB utilisant plusieurs impulsions pour un symbole, émises selon une modulation OOK, qui, comme nous l'avons vu en 3.2., est la technique la plus simple et la plus adaptée.

Notre mécanisme de localisation basé sur le temps de vol (ToF) devrait nous permettre d'avoir des mesures en temps réel du signal pour avoir une estimation de la distance (*ranging*). Une méthode range-based devrait satisfaire à ces exigences. Ce sera la deuxième partie de notre thèse qui portera sur la proposition d'un algorithme de calcul de distance permettant des résultats plus précis.

Pour la suite de cette étude, nos recherches seront orientées vers le prototypage, le test et l'analyse des performances des couches MAC, en particulier ALOHA. Nous pourrons ainsi les comparer ses performances aux autres MAC présentées dans ce papier.

4. REFERENCES

- [1] 802.15.4a: IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks— Specific requirements. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs).
- [2] ECC/DEC/(06)12, "ECC Decision of 01 December 2006 amended 31 October 2008 on supplementary regulatory provisions to ECC/DEC/(06)04 for UWB devices using mitigation techniques," Electronic Communication Committee, October 2008.
- [3] ECMA, Standard ECMA-368 : High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard, déc. 2005.
- [4] Guy Pujolle, Les Réseaux, Edition 2011: Les réseaux sans fil, Partie VI, chapitre 21 High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard, déc. 2005.
- [5] Benoît Miscopain : Systèmes UWB impulsions non cohérents pour les réseaux de capteurs : coexistence et coopération.
- [6] R. A. Scholtz, "Multiple Access with Time-Hopping Impulse Modulation," Conference record of the IEEE Military Communications Conference. MILCOM'93. Vol. 2, pp. 447-450, 1993.
- [7] M.-G. Di Benedetto, L. De Nardis, M. Junk, and G. Giancola, : Uncoordinated, Wireless, Baseborn medium access for UWB communication

- networks,” In Mobile Networks and applications Vol 10 N^o 5. Springer editions, 2005.
- [8] H. Anouar and C. Bonnet, “A Self-Balanced Receiver-Oriented MAC Protocol for Multiple Channels Multihop Ad-Hoc Networks,” in VTC’ Spring 2005, 61st Semiannual IEEE Vehicular Technology Conference, 30th May - 1st June, 2005, Stockholm, Sweden, May 2005.
- [9] Y. Qi, H. bang Li, S. Hara, and R. Kohno, “Clear channel assessment (cca) with multiplexed preamble symbols for impulse ultra-wideband (uwb) communications,” Ultra-Wideband, The 2006 IEEE 2006 International Conference on, pp. 675–680, Sept. 2006.
- [10] DecaWave: DecaRanging, Ranging Demo Application (PC Version)/DW1000-MPW2.5, Hardware Application/DWEVB1000, DW1000-MPW2.5 Evaluation Board.

Interconnexion d'un réseau IP et d'un réseau domotique KNX pour l'aide au maintien à domicile intelligent

Asma BEN HADJ MOHAME^{1,2}, Thierry VAL¹, Laurent ANDRIEUX¹, Abdennaceur KACHOURI²

¹Université de Toulouse, UT2J - Laboratoire CNRS-IRIT-IRT – IUT Blagnac

²Laboratoire LETI, Dpt. Génie Electrique, Ecole nationale d'ingénieurs de Sfax
{asma.ben-hadj-mohamed, val, laurent.andrieux}@irit.fr
abdennaceur.kachouri@enis.rnu.tn

Résumé : Notre thématique de recherche s'appuyant sur la maison intelligente de l'IUT de Blagnac, traite de l'aide au maintien à domicile de personnes âgées ou à mobilité réduite. Dans ce cadre, nous avons fait communiquer un nœud réseau IP sans fil équipé d'un capteur vidéo 3D (Kinect) avec des actionneurs présents sur le réseau domotique KNX. Sa mise en œuvre au sein de la maison intelligente est une preuve de concept, et permet de commander la lumière avec des gestes, tout en pilotant une synthèse vocale de contrôle.

Mots clés : Réseaux de capteurs, WSN, maintien à domicile, kinect, maison intelligente

1. INTRODUCTION

Des études et statistiques élaborées ont estimé que le nombre de personnes âgées en France a augmenté de 0,16% en 2011, pour croître de 0,3 % en 2060 [1] [2]. Face au vieillissement croissant de la population, plusieurs problématiques se posent. Les personnes âgées se trouvent dans l'incapacité d'accomplir certaines tâches de la vie courante ou de se maintenir dans de bonnes conditions. Par conséquent, le contrôle continu de l'état de santé de ces personnes à risque devient utile. En revanche, le coût des suivis médicaux, des infirmières, des accompagnants ou des maisons de retraites est désormais élevé. De plus, la majorité des personnes âgées aspirent à continuer à rester chez elles malgré leur âge avancé ou les accidents qui peuvent leur arriver [3]. Ainsi, une des solutions envisagées consiste à contrôler et surveiller ces individus dans leur propre domicile, ce qui est appelé habituellement le maintien à domicile. Il s'agit de la possibilité pour les personnes dépendantes à continuer à vivre chez elles.

Pour ceci, il est nécessaire d'avoir recours aux services d'aide au maintien tels que : un personnel accompagnant, des services d'aide au confort, des soins d'hygiène, une surveillance continue, etc. Les frais

inhérents à ces solutions ne sont pas fortement moins élevés que les maisons de retraites. Par contre, certaines personnes refusent d'être accompagnées tout le temps dans leur domicile. Un autre problème non négligeable est lié au côté psychique et social de la personne âgée à qui cette surveillance perceptible ne lui assurera pas le sentiment de sécurité, de respect de la vie privée et d'autonomie. On se trouve donc face à la réalité du vieillissement et des solutions coûteuses proposées, qui ne conviennent pas systématiquement aux exigences personnelles et privées.

Dans ce papier, nous présentons dans un premier temps un état de l'art sur les différentes technologies existantes pour l'aide au maintien à domicile. Par la suite, nous décrivons notre application ainsi que les outils nécessaires pour sa réalisation et l'architecture du réseau proposé. Nous clôturons avec le développement de la partie reconnaissance de geste et les perspectives de notre travail.

2. ETAT DE L'ART

Les progrès en informatique et les systèmes de communication ont permis d'intégrer de nouvelles solutions pour améliorer la vie quotidienne des personnes âgées ou à mobilité réduite. L'utilisation d'un réseau de capteurs pour recueillir des données différentes, de l'état de la personne, ou de surveiller ou commander son environnement, est une solution très avantageuse pour plusieurs raisons. Sur le plan économique, l'aide au maintien d'une personne âgée ou handicapée en la gardant dans son environnement naturel permettrait de réduire les coûts de l'aide par comparaison à celui d'un personnel spécialisé à l'hôpital, ou à une maison de soins infirmiers. Une contribution importante concerne le côté social de la personne âgée, à qui ce contrôle discret et imperceptible lui fournit à la fois un sentiment de sécurité, de confidentialité et d'autonomie. Dans ce contexte, plusieurs recherches et travaux ont été élaborés pour concevoir et installer des systèmes d'aide au maintien à domicile tels que le projet « ADORHA » dont le but est d'automatiser certaines fonctions, faciliter les efforts physiques pour certaines tâches comme le déplacement, et éviter les oublis. Le projet permet la commande sans déplacement grâce à une interface tactile « *domovea* » et permet également la détection de chute et la génération d'alerte en cas de danger. Une maison neuve construite à Obernai et un appartement rénové à Molsheim concrétisent aujourd'hui ce projet [4].

Le projet « Ange Gardien » [5] se base sur l'utilisation de capteurs miniatures intégrés sur tout type de support, capteurs capables de produire l'énergie de façon autonome grâce à leur environnement. Le but est de suivre les différents paramètres liés à la santé et l'environnement de la personne âgée.

Un autre projet canadien appelé « DOMUS » a été mis en place pour étudier l'assistance cognitive et l'aide au maintien à domicile [6]. Il constitue un système de maison intelligente qui nécessite les éléments suivants pour être présents : un contrôle intelligent pour recueillir des informations et pour communiquer des instructions, un ou plusieurs dispositifs d'automatisation de la maison pour être contrôlés, et un réseau de communication interne qui permet l'échange de messages entre le système de commande et les dispositifs.

3. SOLUTION PROPOSEE

La principale contribution proposée dans ce travail, par rapport à d'autres projets, est que l'utilisateur se sert de ses propres mains et de son corps pour contrôler le système de surveillance intelligent. Notre application permettra aux personnes à mobilité réduite de commander leur propre environnement (lumière, volets, portes, climatisation etc.) à travers un bus domotique et une caméra 3D non intrusive en utilisant leurs propres gestes. Grâce à cette application il n'est plus utile de se déplacer pour allumer une lumière ou fermer un volet. Un simple geste est suffisant pour commander les actionneurs impliqués et générer un message vocal qui confirme que l'action est faite. Il n'est pas utile de mettre en place des commandes, des interrupteurs, des claviers... et il n'est ainsi pas nécessaire d'expliquer leur fonctionnement et leur utilité.



Figure 1 : Maison intelligente de Blagnac [7]

Cette maison présente un lieu de rencontre et de collaboration entre les scientifiques, qui étudient les nouvelles problématiques comme le vieillissement de la population; les entreprises qui déploient leurs technologies et les étudiants qui peuvent en profiter pour expérimenter et valider leurs acquis. A travers la Maison Intelligente, les chercheurs peuvent transférer les nouvelles technologies proposées en créant des nouvelles solutions qui peuvent être exploitées par les industriels. Quand aux étudiants, ils peuvent interagir avec les chercheurs et participer au développement des solutions, ce qui leur donne l'opportunité de contacts et

d'embauche dans des entreprises futures. C'est dans ce local que nous avons effectué nos tests grâce à plusieurs outils.

4. REALISATION

Ce travail a été réalisé sur deux étapes : la détection et la reconnaissance des gestes à l'aide d'un capteur de type Kinect fournissant un flux d'images de profondeur et ensuite, l'utilisation des ces gestes détectés et reconnus pour la commande d'un actionneur à l'aide d'un bus domotique. La mise en œuvre de notre travail a été réalisée au sein de la maison intelligente de Blagnac présentée dans la figure 1 ci-dessous.

Pour assurer l'interconnexion entre un réseau filaire ou sans fil de type IP et un réseau domotique KNX, nous avons tout d'abord développé une application qui permet de reconnaître certaines gestes caractéristiques.

4.1 RECONNAISSANCE DE GESTES

La détection et la reconnaissance de gestes sont assurées grâce à la caméra 3D Kinect qui génère des images de données de profondeur traitées ultérieurement pour permettre une interaction homme-machine sans l'intermédiaire d'outils de commandes (clavier, commande, souris..).



Figure 2 : Eléments de sortie de la Kinect

Le SDK de la Kinect fourni par Microsoft offre des libraires et des API permettant de manipuler et traiter les images de profondeur comme le *skeletonFrame* qui permet la détection et le suivi du squelette de la personne surveillée. Cet outil est capable d'identifier jusqu'à 20 articulations sur la personne.

En se basant sur leurs coordonnées dans l'espace 3D, nous pouvons définir et reconnaître des gestes en utilisant uniquement les images de profondeurs non intrusives, dont les pixels représentent des distance dans l'espace et non pas des couleurs réelles. Nous prenons l'exemple que nous avons développé et qui est représenté dans les figures 3.a et 3.b.

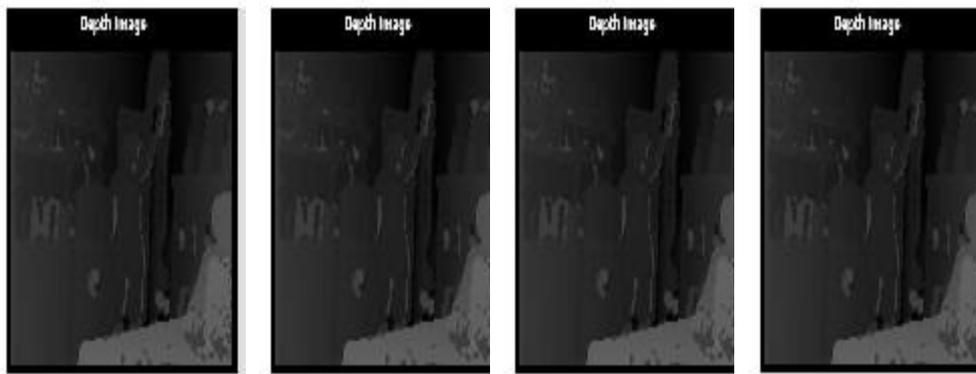


Figure 3.a : Exemples de gestes avec les images de profondeurs

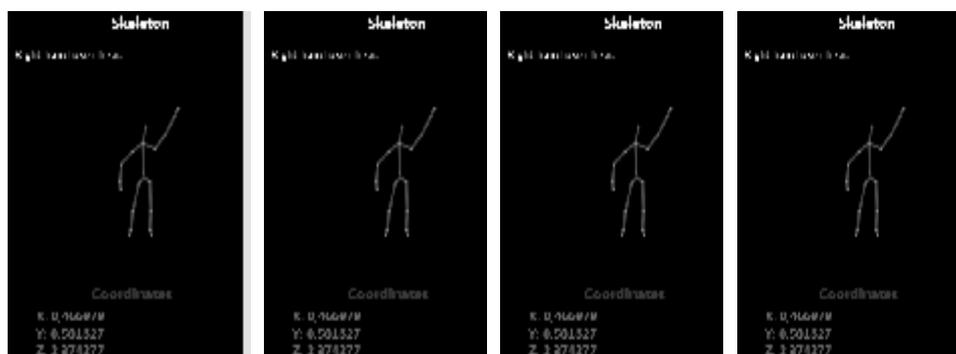


Figure 3.b : Reconnaissance de ces gestes dans la carte de squelettes

Il est également possible de reconnaître un geste type « Hello » ou un glissement des mains à gauche ou droite tout comme sur des écrans tactiles. Cette application de reconnaissance nous est utile pour commander les actionneurs dans la maison et faciliter ainsi aux personnes âgées des tâches telles que l'allumage des lampes, le verrouillage des portes, la fermeture des volets, la descente du plan de travail en cuisine,...

Dans la partie suivante, nous présentons comment en se basant sur la reconnaissance de ces gestes, nous établissons l'interconnexion entre le réseau IP connecté au PC pilotant la Kinect présentée précédemment et le bus domotique pour allumer et éteindre une lampe et générer un message vocal.

4.2 INTERCONNEXION IP/KNX

Le bus KNX connu aussi sous le nom « Konnex » ou « EIBus », est un bus de terrain et un standard européen d'automatisme pour les bâtiments [8]. Contrairement aux autres protocoles d'automatismes, il ne fonctionne pas en mode maître/esclave mais, chaque nœud est indépendant des autres. Il supporte divers médiums de communication tels que le réseau Ethernet, la radio, le courant porteur... L'avantage d'utiliser cette solution réseau

domotique KNX est la flexibilité d'adaptation en cas de modification du bâtiment sans démolir les murs ou installer de nouveaux circuits et câblage. Il apporte de plus un certain confort en simplifiant la vie quotidienne, le système est aussi rentable et à faible coût d'installation globalement. Le système KNX permet de réagir vite et intelligemment face aux situations d'urgence en présence ou absence du propriétaire. L'architecture de l'installation domotique KNX est représentée dans la figure 4.

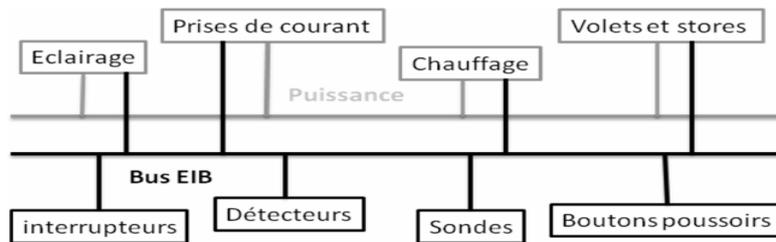


Figure 4 : Architecture d'une installation KNX

Les éléments d'une architecture KNX peuvent s'échanger des informations via des télégrammes transitant par le bus. Les participants sont organisés dans une topologie hiérarchisée (Figure 5).

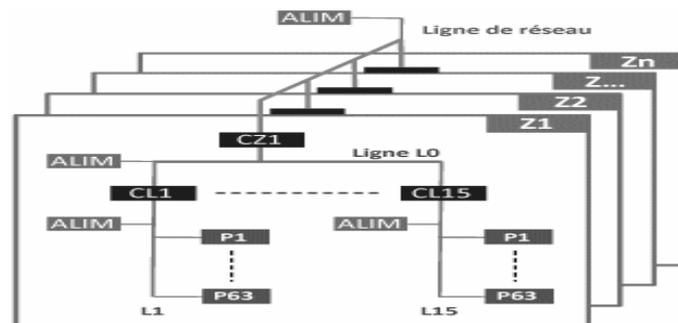


Figure 5 : Topologie d'un réseau KNX [9]

Dans cette topologie, le réseau est composé de plusieurs zones dont chacune est constituée de plusieurs lignes (maximum 15) et chaque ligne est capable de regrouper 64 participants. Le choix du nombre de niveaux est fonction de la complexité de l'installation à réaliser.

Pour mettre en œuvre notre application, nous avons proposé et réalisé la topologie réseau illustrée dans la figure 6. Nous avons étudié les trames IP émises lors de la détection d'un geste dans la maison intelligente. L'installation des éléments KNX se fait à travers le logiciel ETS. L'interfaçage entre le réseau IP (Ethernet ou WiFi) et le réseau KNX est assuré grâce à la passerelle matérielle IP/KNX. La reconnaissance de gestes caractéristique (1 ou 2 mains levées pendant 3 secondes) permet d'attaquer cette passerelle en envoyant des requêtes http au serveur pour piloter

- [3] <http://www.sanitaire-social.com/annuaire/aide-et-maintien-a-domicile/44>
- [4] <http://www.hager.fr/professionnels/actualite-hager/le-maintien-a-domicile-avec-tebis/59389.htm>
- [5] The Guardian Angel Project” Fet Flagship Pilot, Final report, public version, Federal Polytechnique School of Lausanne, ETH Zurich (Switzerland), April 2012
- [6] P. Carner,, “Project Domus: Designing Effective Smart Home Systems”,
- [7] <http://mi.iut-blagnac.fr/>
- [8] <http://www.knx.fr>
- [9] http://www.sigma-tec.fr/domotique/texte_topologie_architecture_knx.html

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

[dalce@irit.fr](mailto: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.

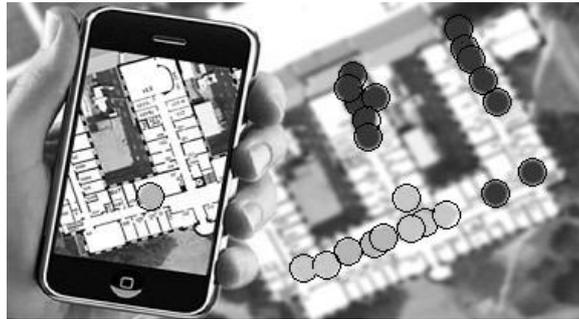


Figure 1 : illustration du système de localisation © CSL Illinois

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.

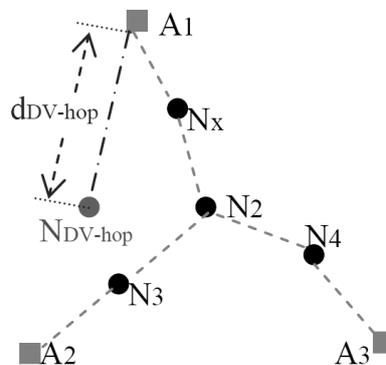


Figure 2 : illustration de DV-Hop [19]

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.

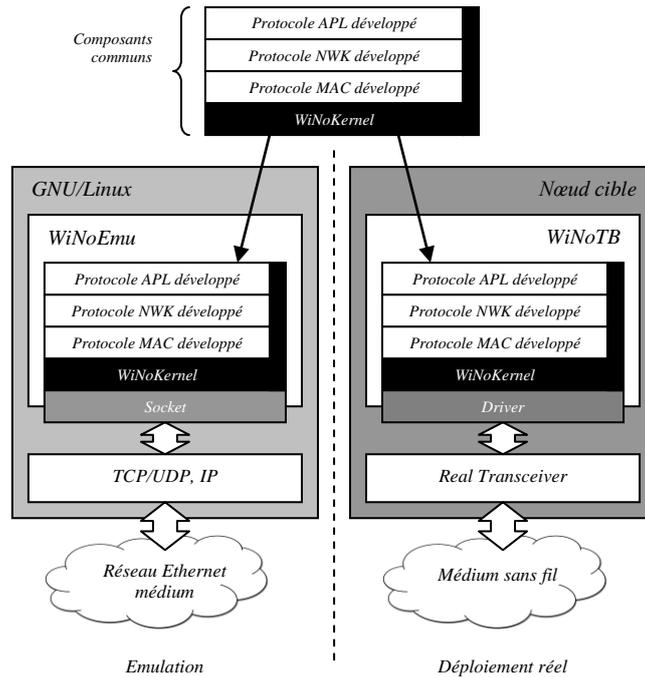


Figure 3 : architecture logicielle OpenWino

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.

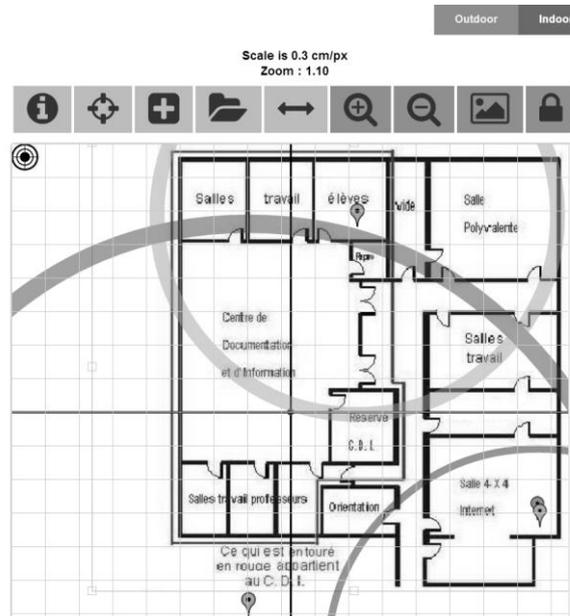


Figure 4 : résultat de localisation *indoor*

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

Protocole expérimental d'évaluation de la qualité d'un lien radio déployé à la surface de l'eau

Honoré Bizagwira(1,2), Joël Toussaint(2,3), Michel Misson (2,3)

(1) Université Blaise Pascal, BP 10448, 63000 Clermont-Ferrand, France

(2) Université d'Auvergne, C.S 60032, 63001 Clermont-Ferrand Cedex 1, France

(3) LIMOS CNRS, UMR 6158, F-63175 Aubière, France

Emails: {bizagwira, toussaint, misson}@sancy.univ-bpclermont.fr

Résumé : Les réseaux des capteurs sans fil constituent une solution alternative aux méthodes traditionnelles de récolte des données environnementales [1] [2] [3]. Un ensemble des capteurs peut être déployé à la surface du site à surveiller pour récolter les données issues de capteurs variés et, en s'organisant entre nœuds capteurs, acheminer ces données à un site d'exploitation distant. Les conditions de propagation du signal radio utilisé pour véhiculer ces informations font de ce déploiement un véritable challenge.

L'objet de ce papier est de présenter un protocole expérimental d'évaluation des caractéristiques d'un lien radio (RSSI, FER, . . .) exploité in situ en mesurant de tels paramètres en fonction de la longueur du lien et de la hauteur des antennes mises en jeu.

Mots clés : Réseaux des capteurs sans fil, Radio logicielle USRP/GNU Radio, Qualité du lien radio, Récolte de données environnementales.

1. INTRODUCTION

L'équipe Réseaux et Protocoles du LIMOS consacre une partie de ses activités aux réseaux de surveillance de sites naturels (*participation au LabEx ClerVolc*) en étudiant la mise en réseau in situ de points de collecte pour drainer les informations produites vers un ou des puits capables de stocker et ou de relayer ces données vers un site de traitement distant. Cette contribution concerne plus spécifiquement une étape dans le déploiement d'un réseau de capteurs sans fil à la surface de l'eau.

2. CRITIQUE DE L'EXISTANT

La collecte d'informations issues de sites environnementaux est souvent réalisée à partir de l'une des deux solutions suivantes : chaque capteur ou chaque grappe de capteurs sont connectés :

- soit à un dispositif radio qui donne accès au service d'un opérateur (essentiellement via GSM ou via un satellite),
- soit à un dispositif servant de mémoire de masse (*data logger*) qui date et enregistre systématiquement les données produites dans l'attente d'une intervention manuelle qui consiste à venir relever les données aussi stockées. Ces deux types de solutions opérationnelles partagent quelques inconvénients :
- elles sont tributaires de l'existence d'une infrastructure accessible, un accès à une base GSM ou la visibilité d'un satellite n'est pas systématiquement une chose acquise. C'est le cas par exemple quand il s'agit de communiquer à partir de la surface d'un cours d'eau dans des gorges encaissées ou si l'énergie disponible et/ou la latitude du point de collecte ne permet pas de disposer d'un lien avec un satellite géostationnaire.
- bien que de nature différente, les coûts engendrés par les deux solutions sont généralement élevés. Dans un cas il s'agit d'un abonnement auprès d'un opérateur, dans l'autre cas il s'agit du coût de la mise à l'eau d'une embarcation pour aller relever des *data loggers*.

Pour ces deux types de solutions, la récolte est souvent périodique car même si c'est un lien radio qui est exploité, il l'est généralement de façon sporadique. Les données acquises sont donc le plus souvent bufférisées au point de collecte. Ceci confère une certaine fragilité à la solution : les données n'étant pas dupliquées a priori elles sont susceptibles de disparaître si le point de collecte vient à être défaillant (car exposé aux conditions environnementales, aux agressions, dégradations ou prélèvements malveillants).

3. DÉMARCHE D'EXPÉRIMENTATION DANS LES CONDITIONS RÉELLES

L'enjeu de l'expérimentation sur le terrain, dans les conditions réelles, est de pouvoir identifier les paramètres influant sur la qualité du lien radio à la surface de l'étendue d'eau. Nous voulons évaluer les paramètres

suivants : le RSSI, le taux de perte des paquets, le LQI, ceci en fonction de la position du nœud, de la tension des batteries et de la température extérieure.

3.1. DESCRIPTION

La plate-forme expérimentale est composée de trois nœuds capteurs (deux cartes Exotag/CC430 et une station radio logicielle USRP 3 /GNU Radio [4] [5] [6]. Comme indiqué sur la figure 2, le nœud capteur *Exotag*, *A*, est placé sur une bouée, sa position verticale peut être modifiée. Le nœud capteur *Exotag*, *B*, est placé sur la berge très proche de l'eau. La position de ce dernier est fixe et connue. C'est la qualité du lien radio entre ces deux nœuds que l'on cherche à évaluer. Une troisième entité est le dispositif USRP/GNU Radio qui nous permet de collecter les données à distance dans un lieu abrité. Deux modules GPS situés sur la bouée nous permettent de connaître la distance entre les deux *Exotag*, l'orientation relative de leurs antennes ainsi que l'élévation par rapport au niveau de l'eau de l'*Exotag* embarqué sur la bouée (figure 1).



Figure 6. Expérimentation sur le lac d'Allier à Vichy

3.2. PLATE-FORME EXPERIMENTALE USRP-EXOTAG

Le nœud capteur sans fil *Exotag* est un module de communication développé par l'entreprise *EXOTIC System*. La société a conçu aussi un boîtier étanche aux éclaboussures d'eau (figure 3). Il est basé sur le composant CC430 [7] de Texas Instruments, lui-même composé de deux modules : le microcontrôleur à faible consommation (MSP430) et le

module radio CC1101. Parmi les principales caractéristiques du module radio, on peut citer : trois bandes de fréquences (300 MHz à 348 MHz, 389 MHz à 464 MHz, 779 MHz à 928 MHz), un débit programmable de 0.6 Kbps à 500 Kbps, cinq modulations (2-FSK, GFSK, MSK, OOK, ASK), une puissance d'émission paramétrable jusqu'à 10 dBm et une sensibilité en réception de -111 dBm à 1,2 kBaud. L'entreprise *EXOTIC System* a intégré sur le nœud deux capteurs (de température et d'accélération) et une antenne patch.

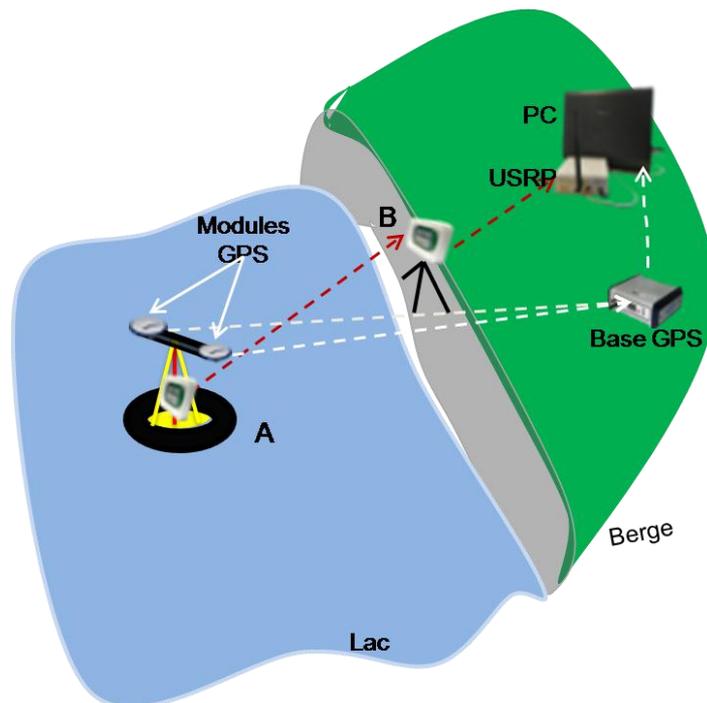


Figure 7. Scénario d'expérimentation

Le nœud USRP/GNU Radio est une plate-forme radio logicielle (*SDR Software Defined Radio*) développée par ETTUS. L'architecture des radios logicielles est composée de deux parties distinctes : une matérielle et l'autre logicielle (figure 4). La partie matérielle (l'USRP N210 d'Etus) nous permet d'acquérir le signal radio et de le convertir en numérique :

- une ou plusieurs cartes filles réalisent les traitements analogiques (transposition de fréquence du signal reçu en fréquence intermédiaire) nécessaires pour que le signal puisse être échantillonné par le convertisseur analogique
- numérique. Ici, nous utilisons la carte fille SBX 400 - 4400, qui couvre deux bandes ISM, 433 MHz et 2.4 GHz. Elle est couplée à une antenne VERT 400 qui fonctionne également dans la bande 433

MHz.

- une carte mère gère les échanges d'informations avec un PC, la génération et la distribution des signaux d'horloge, la conversion analogique/numérique, et le filtrage numérique.

Le signal radio numérisé est alors transmis au PC via une liaison Ethernet. Sur le PC, l'environnement GNU Radio est utilisé pour constituer la partie logicielle : les opérations de démodulation, décodage et analyse des trames, et récupération des données utiles. D'une façon générale, GNU Radio permet de configurer l'USRP et fournit une interface graphique GRC permettant de construire une chaîne de transmission à l'aide d'une interface graphique composant des blocs préprogrammés à paramétrer de façon adéquate. Ce choix de GNU Radio, plutôt que des alternatives comme *MATLab* ou *LabVIEW*, nous convient pour deux raisons simples : il est sous licence libre « *open source* » et basé sur deux langages de très haut niveau Python et C++, permettant ainsi de développer rapidement les fonctionnalités requises. L'avantage majeur d'une radio logicielle comme l'USRP/GNU Radio est sa flexibilité. Grâce à l'architecture modulaire du matériel et du logiciel, on peut modifier la couche physique et spécifier l'interface radio de l'équipement. Dans notre cas, l'intérêt d'utiliser l'USRP/GNU Radio est de pouvoir étudier, de façon plus fine, les



Figure 8. Exotag dans et hors de son boîtier de protection

paramètres physiques (la fréquence, la puissance d'émission, le débit des données, etc.) et les protocoles des communications sans fil, ainsi que la possibilité d'explorer les solutions existantes. Ceci est important pour ce projet où la nature du milieu de propagation, un milieu hostile aux communications sans fil, limite les performances du réseau. De plus, le nœud USRP/GNU Radio, pourra nous servir de passerelle entre le réseau de capteurs sans fil et le réseau Internet.

3.3. SCENARIO D'EXPERIMENTATION

Il s'agit d'évaluer la qualité du lien radio à la surface de l'eau entre les nœuds A et B qui n'ont ni la capacité d'archiver un historique volumineux, ni une connectique pratique pour vider leur mémoire en raison de l'étanchéité de leur boîtier. Le nœud A doit être le générateur du trafic, il émet périodiquement des lots de trames destinées au nœud B et identifiées par un numéro de séquence. Le nœud B analyse le trafic reçu, identifie les pertes, mesure des paramètres tel que le RSSI, le LQI et envoie entre deux trames consécutives une trame de rapport à la plate-forme USRP/GNU Radio. C'est pour cela que le nœud B est appelé relayeur dans la suite. La plate-forme USRP/GNU Radio, en écoutant les échanges et disposant des rapports du relayeur, analyse les caractéristiques du lien radio entre A et B, et les archives sur le PC. Cette plate-forme sert donc de puits à ce mini-réseau de test de trois nœuds.

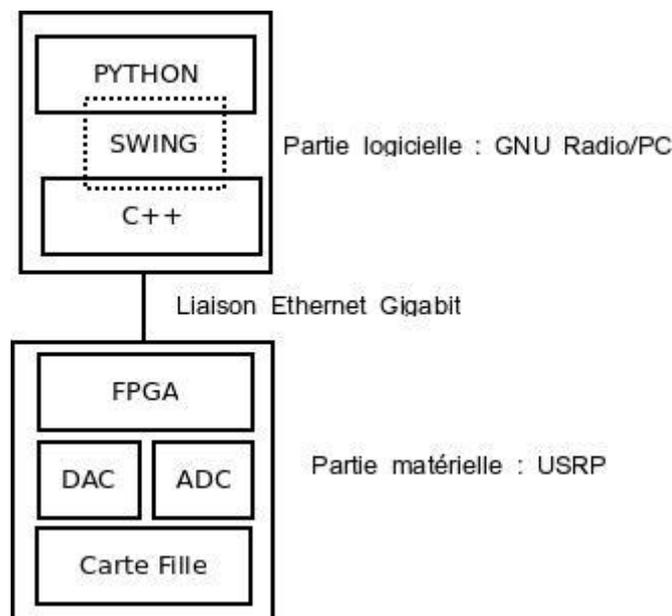


Figure 9. Plateforme USRP/GNU Radio

3.4. NATURE DES ECHANGES ENTRE LES ENTITES DE LA PLATE-FORME

Il s'agit de rapatrier sur le PC connecté à l'USRP les paramètres qui vont nous permettre d'analyser la qualité du lien radio :

- Numéros de séquence (pour déterminer le taux d'erreur trame)
- Température extérieure
- Tension de batteries

- RSSI et LQI

Adresse TX	Adresse RX	Date d'émission	T°	Tension batterie	Num Seq TX
------------	------------	-----------------	----	------------------	------------

Figure 10. Contenu de la trame échangée entre l'émetteur initial A et relayeur B

Pour cela, les formats des trames échangées sont définis ci-après, figure 5 et 6. Le nœud émetteur A formate des trames (figure 5) qui contiennent les informations suivantes : la tension des batteries, la température extérieure, le numéro de séquence de la trame, la date d'envoi et l'identité du nœud émetteur. Elles sont envoyées à une cadence d'une trame par seconde avec un débit de 48 kbit/s (paramètres ajustables). Le nœud relayeur B formate alors des trames de rapport selon le format indiqué figure 6, contenant les informations reçues, ainsi que les données suivantes : RSSI, LQI (mesurés à chaque réception d'une trame émise par A) et les numéros de séquences : « NumSeqRelais » et « NumSeqRelaisValide ». Le premier numéro sert à compter toutes les trames reçues par B, valides ou non, alors que le deuxième ne sert à compter que les trames valides (les trames reçues par B avec un CRC valide).

Adresse TX	Adresse relayeur	Date d'émission	T°	Tension batterie	RSSI	LQI	Num Seq TX	Num Seq Relai valide	Num Seq Relai
------------	------------------	-----------------	----	------------------	------	-----	------------	----------------------	---------------

Figure 11. Contenu de la trame échangée entre le relayeur B et le puits USRP/GNU Radio - PC

Nous disposons également des positions du nœud émetteur et la date d'émission de chaque trame reçue. Les positions, envoyées par les modules GPS de la bouée à la station de base située sur la terre ferme, sont datées et permettent de retrouver la position précise de l'émetteur au moment de l'émission de chaque trame.

4. ÉTABLIR UNE LIAISON RADIO USRP-EXOTAG

Pour que l'USRP puisse communiquer avec le nœud *Exotag* nous avons dû modifier et/ou paramétrer certaines fonctions de la plate-forme USRP/GNU Radio.

1.1. CHAÎNE DE RECEPTION USRP/GNU RADIO

La chaîne de réception USRP/GNU Radio, telle qu'elle est décrite sur la figure 7, comporte des blocs fonctionnels exécutant chacun une fonction précise. La partie frontale radio de l'USRP N210 traite le signal analogique reçu directement de l'antenne. Via le lien Ethernet Gigabit, les symboles échantillonnés sont envoyés au PC. Les échantillons reçus sur le PC, passent par le bloc de démodulation. GNU Radio permet d'utiliser différentes modulations numériques : modulation d'amplitude (AM), modulation de phase (QPSK, QPSK. . .) et modulation de fréquence (FM, GFSK, GMSK, etc.).

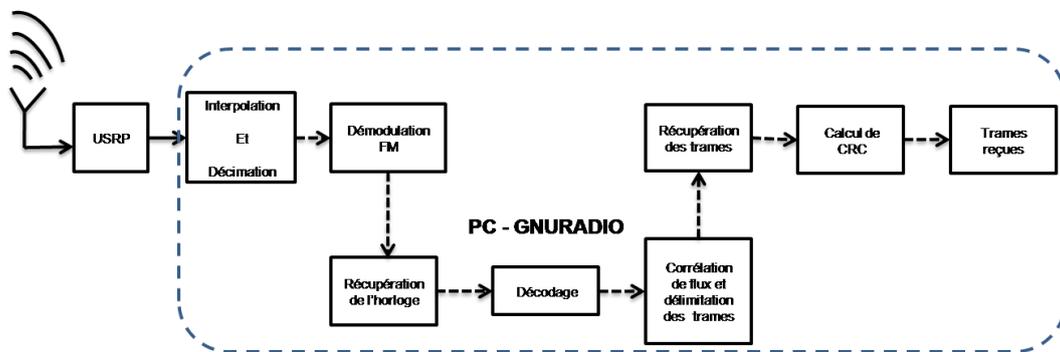


Figure 12. Représentation simplifiée de la chaîne de réception USRP/GNU Radio

1.2. MODIFICATIONS APPORTEES

Les modifications apportées concernent principalement la modulation, le paramétrage de l'échantillonnage, le décodage, le format des trames échangées, la détection et la délimitation des trames (reconnaissance des paquets) dans le flux de bits reçus et la fonction de calcul du CRC16.

4.1.1. Choix de la modulation

Dans ce travail, nous avons choisi d'utiliser la modulation GFSK qui comme toute autre modulation de fréquence, présente l'avantage d'être robuste au bruit de transmission. GNU Radio fournit, dans son interface graphique GRC, le bloc de modulation GFSK réalisé par une combinaison de quatre blocs, filtre Gaussien, démodulateur FM, bloc de récupération d'horloge et bloc de transcription d'un flux de symboles en flux binaires.

4.1.2. Paramétrage de l'échantillonnage

Échantillonner correctement le signal se fait en deux étapes : paramétrer l'USRP de façon à ce qu'il réalise un échantillonnage à une fréquence proche de celle désirée : en effet l'USRP ne peut échantillonner que sur des fréquences F_e/n , où F_e est la fréquence maximale de l'horloge d'échantillonnage de l'USRP (100 Ms/s pour l'USRP N210) et n entier compris entre 4 et 512. La seconde étape, réalisée dans l'environnement GNU Radio permet l'échantillonnage précis du signal par des opérations d'interpolation et de décimation.

4.1.3. Fonctions de décodage des trames CC430

La couche physique de base de l'USRP, disponible sous GNU Radio, est compatible avec le format des trames issues d'une plateforme de même type. Dans le code GNU Radio, ce format des trames est défini au niveau du décodeur. Ce dernier comporte deux fonctions essentielles pour la réception, à savoir la corrélation du flux (*correlate_access_code_bb.cc*) et la récupération des données (*digital_framer_sink.cc*). La fonction de corrélation parcourt le flux binaire dans le buffer de réception à la recherche du mot de synchronisation. La valeur maximale de la longueur du mot de synchronisation, fixée à 64 bits, est définie dans la fonction de corrélation. La taille du champ longueur est définie dans la fonction de récupération des données. Pour le nœud capteur CC430, le format de trame défini par le constructeur (figure 9) comprend deux types de champs, les champs qui sont insérés ou enlevés automatiquement, à l'émission et à la réception, et les champs optionnels qui peuvent être configurés par l'utilisateur. Afin d'harmoniser le format entre les nœuds, nous avons opéré des modifications de deux cotés, du côté USRP/GNU Radio et du côté CC430. Ces modifications sont les suivantes :

4.1.4. Champs longueur de la trame dans la trame CC430

La longueur de la trame dans le code de base USRP/GNU Radio (figure 8) est codée sur 2 octets puis dupliquée sur quatre octets. Ceci permet à l'USRP de pouvoir d'une part éliminer des trames erronées en effectuant une simple comparaison entre les deux copies du champ longueur et d'autre part de repérer la fin des trames dans le flux binaire et les découper au bon endroit. Nous avons modifié le format de base de la trame CC430 (figure 10) en dupliquant le champ longueur de la trame sur deux octets pour pouvoir réutiliser ce mécanisme de comparaison du champ longueur : concrètement, nous substituons le champ adresse par une duplication du champ longueur.



Figure 8. Format de base d'une trame USRP/GNU Radio avant les modifications

4.1.5. Fonction de récupération de données

La fonction de récupération de données a été modifiée pour pouvoir reconnaître le nouveau format des trames. Nous avons changé la procédure de recherche du champ longueur de trames : elle recherche à présent les deux premiers octets suivant le mot de synchronisation représentant le champ longueur dupliquée. Elle vérifie alors que ces deux octets sont identiques. Le calcul du CRC par l'*Exotag/CC430* et la vérification à l'aide de ce CRC par le code standard GNU Radio ne s'effectuent pas sur les mêmes champs. Le composant CC430 effectue un calcul du CRC à partir de l'ensemble champ adresse et champ Données utiles. Le code standard GNU Radio n'évalue la cohérence du CRC qu'à partir du champ « *Données utiles* ». Nous avons donc modifié le code GNU Radio pour qu'il intègre le champ adresse dans son calcul (champ adresse qui a été par ailleurs substitué par un champ longueur, cf ci-dessus paragraphe IV-B4).

Figure 9 : Format d'une trame CC430 avant les modifications

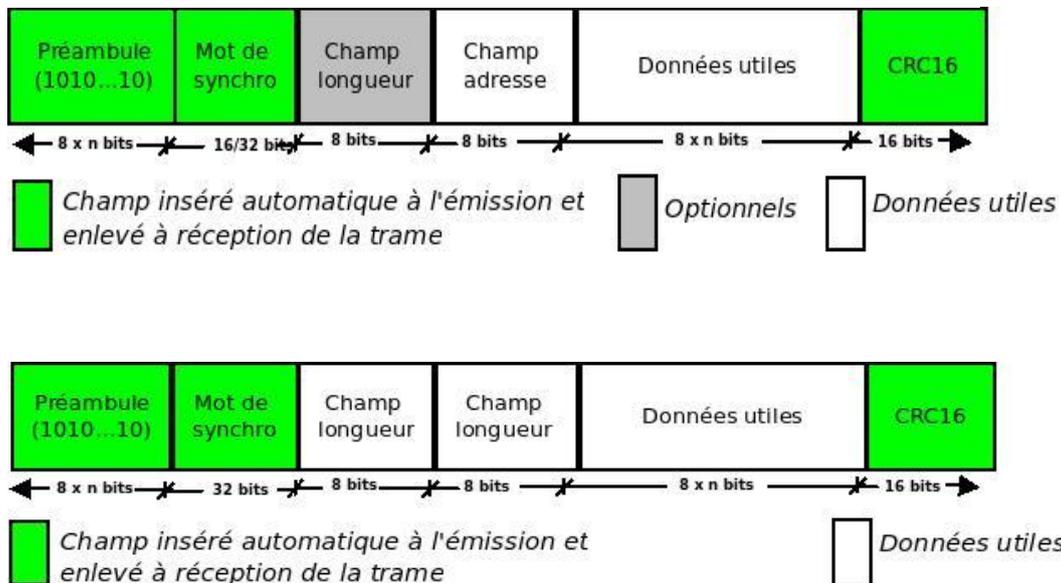


Figure 10 : Format de la trame CC430 - USRP/GNU Radio après les modifications

4.1.6. Fonction de calcul du CRC16

GNU Radio n'implémente pas l'algorithme CRC16 (seul le CRC32 est disponible). Nous avons donc implémenté la version du CRC16 intégrée sur le circuit sur CC430.

5. CONCLUSION

Dans ce papier nous avons proposé un protocole expérimental d'évaluation de la qualité d'un lien radio déployé à la surface de l'eau. Ce protocole met en œuvre des nœuds capteurs basés sur le composant Texas Instrument CC430 dont la position est connue grâce à des modules GPS et une solution radio logicielle USRP/GNUU Radio pour la collecte et l'analyse des données reçues. La mise au point de cette plate-forme expérimentale a nécessité la définition de format de trames échangées entre les différents nœuds ainsi que des adaptations et des modifications dans le code base fourni dans l'environnement GNU Radio. Après avoir présenté la plateforme d'expérimentation et les technologies requises, nous avons présenté le travail effectué pour assurer la compatibilité du module CC430 et la plate-forme USRP/GNU Radio. Ce protocole a été expérimenté une première fois à la surface d'un lac et est un préliminaire à la définition de réseaux de capteurs sans fil qui seront utilisés dans un tel environnement.

6. REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les acteurs et partenaires de ce projet qui contribuent à sa réalisation, plus particulièrement la Région Auvergne et le FEDER pour le financement, et les entreprises *Véodis 3D* et *EXOTIC System* pour leur coopération.



7. RÉFÉRENCES

- [1] D. Puccinelli et M. Haenggi, “*Wireless sensor networks: applications and challenges of ubiquitous sensing*”, IEEE Circuits Syst. Mag., vol. 5, no 3, p. 19–31, 2005.
- [2] K. Martinez, J. K. Hart, et R. Ong, “*Environmental sensor networks*”, Computer, vol. 37, no 8, p. 50–56, août 2004.

- [3] C. Alippi, R. Camplani, C. Galperti, et M. Roveri, A Robust, “*Adaptive, Solar-Powered WSN Framework for Aquatic Environmental Monitoring*” , IEEE Sens. J., vol. 11, no 1, p. 45–55, janv. 2011.
- [4] D. Nguyen, “*Implementation of OFDM systems using GNU Radio and USRP*”, Univ. Wollongong Thesis Collect., janv. 2013.
- [5] A. Marwanto, M. A. Sarijari, N. Fisal, S. K. S. Yusof, et R. A. Rashid, “*Experimental study of OFDM implementation utilizing GNU Radio and USRP – SDR*”, in 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications (MICC), 2009, p. 132–135.
- [6] H. Liu, Z. Meng, et S. Cui, “*A Wireless Sensor Network Prototype for Environmental Monitoring in Greenhouses*”, in International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007, p. 2344–2347.
- [7] S. Barrett et Daniel, “*Microcontroller Programming and Interfacing TI MSP430*”. Morgan et Claypool Publishers, 2011.

Transmission de la voix sur des liens sans fil IEEE 802.15.4

Sabri KHSSIBI^{#*}, Adrien VAN DEN BOSSCHE[#], Hanen IDOUDI^{*}, Leila Azzouz SAIDANE^{*}, Thierry VAL[#]

[#] University of Toulouse, UT2J, IRIT, BP60073 F-31703 Blagnac

^{*} National School of Computer Sciences, CRISTAL laboratory, Tunisia
{val, bossche, khssibi}@irit.fr
{leila.saidane, Hanen.idoudi}@ensi.rnu.tn

Résumé : L'évolution de la technologie au niveau des composants électroniques et informatiques a permis la naissance de plusieurs projets comme CANet qui a comme but l'amélioration des conditions de vie, particulièrement pour les personnes âgées. Ce projet permet aux personnes âgées de conserver les mêmes conditions de vie, tout en surveillant leur état de santé sans les déranger. Une des fonctionnalités de CANet est de dialoguer oralement avec une personne via sa canne de marche en utilisant un lien sans fil. Dans ce papier, nous étudions le meilleur codec qui doit être utilisé avec la norme IEEE 802.15.4.

Mots clés : sans fil, WSN, 802.15.4, Voix, codec

1. INTRODUCTION

La voix est, pour une personne âgée, un élément de communication très important, car elle permet d'échanger des informations avec les personnes que l'on ne peut pas voir. Ceci permet de rassurer, vérifier les informations reçues des différents capteurs et de rester en contact avec le patient ou la personne âgée, dans le cas d'un problème de santé, pendant la période d'attente qui précède l'arrivée des spécialistes et des secours.

Le projet CANet s'intéresse à la surveillance des personnes âgées à travers les cannes de marche qui sont souvent utilisées et qui comptent parmi les objets quotidiens les plus précieux pour les personnes âgées.

Pour atteindre les objectifs fixés par le projet, il faut équiper la canne d'une multitude de capteurs et d'actionneurs comme un capteur de température, des accéléromètres... Parmi les capteurs et actionneurs utilisés dans la canne, il est prévu un microphone et un haut-parleur. L'utilisation du standard IEEE 802.15.4 dans le projet CANet, nous ouvre une nouvelle

problématique de recherche qui est la transmission de la voix par ce moyen immatériel.

Dans ce papier, nous présenterons les paramètres et le choix de codec (Codeur – Décodeur audio) qui nous permettra de transmettre la voix à travers la norme IEEE 802.15.4 en gardant une bonne qualité d'émission et de réception de la voix.

Notre papier est composé des parties suivantes : nous présenterons tout d'abord la norme IEEE 802.15.4 puis une comparaison entre les différents codecs identifiés et une simulation de quelques codecs. Enfin, nous concluons en présentant des recommandations pour le meilleur codec à utiliser, en fonction de notre étude.

2. LE STANDARD 802.15.4

Dans cette section, nous présentons le standard IEEE 802.15.4 [6]. Cette norme définit les spécifications de la couche MAC et PHY pour les réseaux de capteurs. Elle est la plus utilisée et adaptée pour les réseaux de capteurs sans fil.

Deux types de nœuds sont utilisés dans le standard 802.15.4 : coordinateur et nœud ordinaire.

Le coordinateur est un nœud de type FFD « Full Function Device » où toutes les fonctionnalités définies dans le standard sont implémentées. Il joue le rôle de maître dans la topologie étoile. Il peut communiquer avec les coordinateurs et avec les nœuds.

Un nœud ordinaire est de type RFD « Reduce Full Device ». Ce type de nœud ne contient que l'implémentation des fonctionnalités nécessaires pour le bon fonctionnement. Ce type de nœud ne peut communiquer qu'avec le coordinateur.

Le standard 802.15.4 [7] définit deux modes de communication : avec et sans beacon.

Dans le mode « avec beacon », le coordinateur du réseau transmet un beacon qui permet aux nœuds de se synchroniser avec lui.

Dans le mode « sans beacon », le coordinateur ne transmet pas de beacon.

Dans ce papier, nous nous intéressons au mode « avec beacon ».

La norme 802.15.4 définit les paramètres Beacon Order (BO) et Superframe Order (SO) qui sont indispensables puis qu'ils permettent de fixer la durée de la supertrame (SD) et de l'inter-beacon (BI) (Figure. 1).

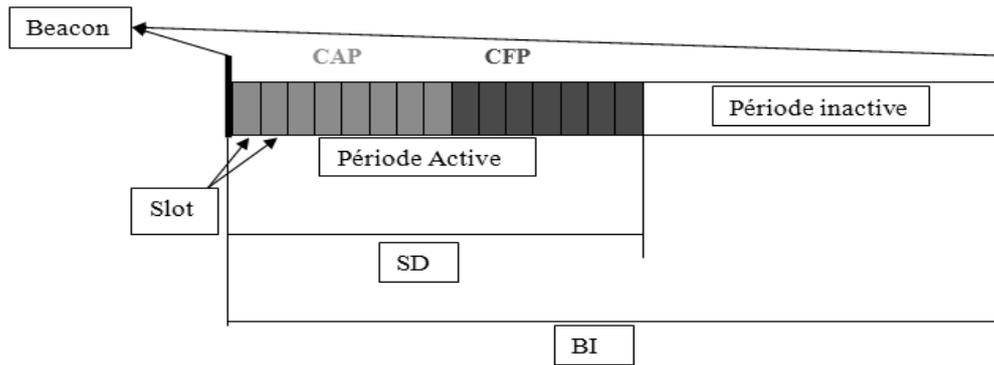


Figure 13 : Superframe de 802.15.4

Les périodes SD (Superframe Duration) et BI (Beacon Interval) sont calculées par les équations suivantes :

$$BI = 960 * 2 BO \quad (1)$$

$$SD = 960 * 2 SO \quad (2)$$

Avec $0 \leq SO \leq BO$

La valeur de BO est comprise entre 0 et 14. La valeur de SO ne peut pas dépasser la valeur de BO. De plus, elle doit être supérieure ou égale à 0.

Ceci nous permet d'avoir un intervalle BI et SD variant entre 15,36 ms et 26 min.

Cette variation de BO et SO donne la possibilité d'avoir quatre formes différentes de la superframe :

- a. $BO \neq SO$ (Figure. 2) : cette superframe est composée de deux périodes : une période active où les nœuds utilisent le CSMA/CA pour accéder au canal afin de transmettre les données, une période inactive où les nœuds entrent dans le mode sommeil afin de conserver l'énergie.
- b. $BO = SO$ (Figure. 3) : cette superframe ne contient pas de période inactive donc les nœuds peuvent essayer d'accéder au canal à n'importe quel instant.
- c. $BO = SO$ avec la présence de la période CFP (Contention Free Period) (Figure. 4) : cette superframe contient une seule période « période active » qui est divisée en deux sous-périodes : la période CFP où les nœuds utilisent CSMA/CA pour transmettre les données ; la période CFP où les nœuds ayant effectué une réservation des slots GTS peuvent transmettre les données dans les périodes réservées.
- d. $BO \neq SO$ avec la présence de la période CFP (Figure 5) : cette superframe contient 2 périodes : une période active et une période inactive. La période active est divisée en deux sous-période : CFP et CAP.

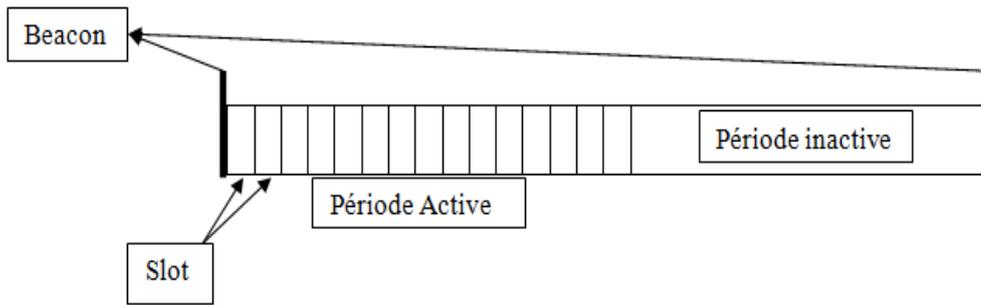


Figure 14 : SO différent de BO

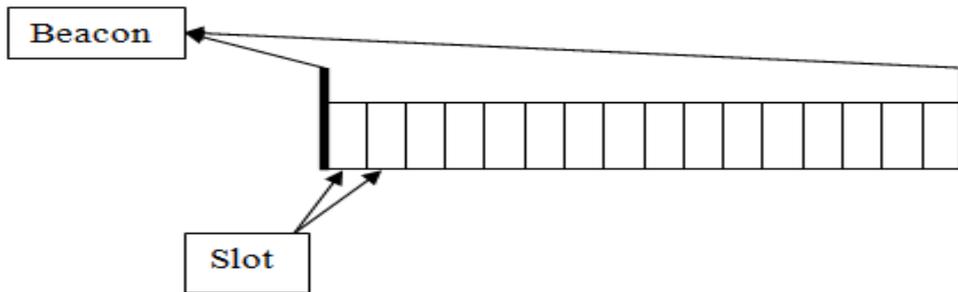


Figure 15 : BO égale à SO

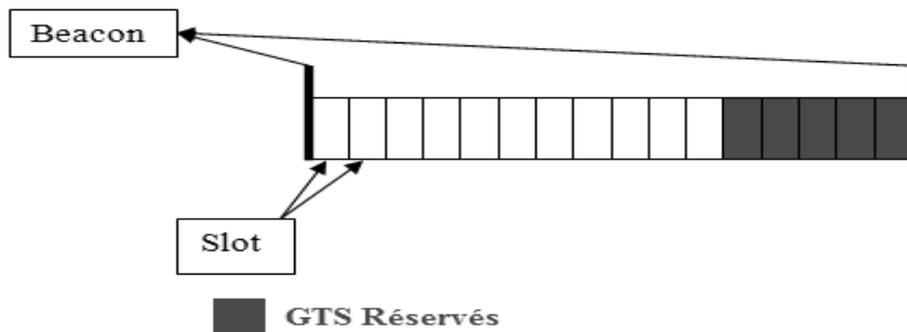


Figure 16 : BO = SO avec la présence de la période CFP

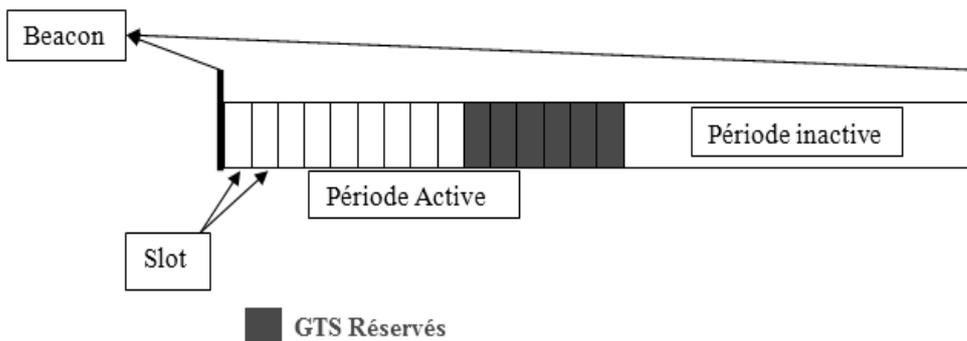


Figure 17 : BO différent de SO avec la présence de la période CFP

La période active de la supertrame est divisée en 16 slots donc la durée d'un slot dépendant de la valeur de SO est calculée par la formule (3).

$$\text{Durée d'un slot(ms)}=(960 * 2\text{SO} * 16 \cdot 10^{-3})/ 16 \quad (3)$$

La taille de slots permet de calculer le nombre de slots nécessaires pour la transmission de voix pour chaque codeur. Dans la partie suivante, nous présenterons une étude qui nous permet de choisir le codec adaptée à la transmission de voix à travers la norme IEEE 802.15.4.

3. CHOIX DE CODEC

Codec	Débit (kbits/s)	Fréquence d'échantillonnage (Khz)	Durée d'un paquet (ms)	Taille d'un paquet (octets)	Nombre de paquets/s (PPS)
G.711	64	8	10	80	100
G.729	8	8	10	10	100
G.723.1	6.3	8	30	24	34
G.723.1	5.3	8	30	20	34
G.728	16	8	5	10	200
iLBC	13.33 15.20	8	20 30	34 57	50 34
Speex	2.15 à 44.2	8, 16, 32 ou 48	30 34	8 à 188	30 34
Opus (mode LP)[6]	5 à 24	8 à 48	10, 20, 40, 60	7 à 180	20 à 100
Opus (mode Hybride)[6]	20 à 48		10, 20	25 à 120	20 à 100
Opus (mode MDCT)[6]	16 à 128		2.5, 5, 10, 20	5 à 320	50 à 500

Tableau 1 : Informations sur les Codecs

Dans le domaine de la VoIP (Voice over Internet Protocol), plusieurs codecs sont développés pour profiter des avancées technologiques et offrir une qualité de voix acceptable avec un débit relativement faible. On trouve parmi les codecs les plus connus et les plus utilisés : Speex [3], iLBC[4], G711[1], G723[1], G729[1], Opus [5]... (cf. Tableau 1)

Les équations suivantes sont utilisées dans les calculs :

$$\text{Taille d'une trame (Octets)} = (\text{Débit (Kbits/s)} * \text{taille de la trame (s)}) * 10^{-3} / 8 \quad (4)$$

$$\text{Nombre de paquets par seconde (PPS)} = 1000 / \text{Taille de la trame} \quad (5)$$

$$\text{Taux d'utilisation (TU)} = \text{PPS} / \text{nombre de supertrames par seconde (SPS)} \quad (6)$$

Avec : $\text{SPS} = 100 / \text{durée d'une supertrame}$.

Tous ces codecs seront comparés par rapport aux valeurs de BO et SO, ce qui nous permet de déterminer le Codec le plus adapté aux spécifications de la norme IEEE 802.15.4.

Dans cette comparaison, nous avons identifié que les débits fournis par les Codecs varient entre 2 et 510 Kbits/s.

Le débit fourni par le codec est un paramètre important pour la norme IEEE 802.15.4 car le débit maximal sans fil théorique est égal à 250 Kbits/s. Donc, Le codec G711 est délaissé, car il nécessite un débit trop important par rapport aux autres Codecs.

Les Codecs G729 et G728 sont éliminés de notre choix, car le nombre de paquets/s est trop grand par rapport aux autres Codecs, ce qui va générer une trop grande charge au niveau de la transmission sur le réseau.

Le Codec G723 est éliminé également, car il existe d'autres Codecs comparables mais open source comme Speex, iLBC et Opus, avec les deux modes LP (qui utilise le Codec voix SILK) et Hybride (qui utilise les codecs SILK et CELT).

Après cette première comparaison, il ne subsiste que les codecs iLBC, Speex et Opus. A présent, nous allons effectuer une comparaison qui se base sur le nombre de paquets générés et la valeur de BO et SO (cf. Tableau 2).

Pour favoriser la transmission de la voix et diminuer le temps d'attente au niveau des files d'attente, nous avons décidé de tenter de ne transmettre qu'un seul paquet de voix dans chaque supertrame. Selon le tableau 1, par exemple, le Codec iLBC génère un seul paquet de voix chaque 20 ms donc la valeur minimale de BO et SO est égale à 1 pour avoir au moins un paquet de données dans chaque supertrame. Supposons que nous avons choisi d'utiliser $\text{BO} = \text{SO} = 2$, donc le SD est égal à 61,44 ms. On déduit

que dans la période de SD le Codec iLBC génère trois paquets de voix ; dans les pires cas, la taille de l'entête de la sous-couche MAC et la sous-couche physique ne dépasse pas 45 Octets et la taille d'un paquet de voix généré par le Codec égale à 34 Octets et la taille d'un LIFS égale à 640 μ s ; la taille maximale d'un paquet de voix à transmettre est donc égale à 79 octets et nécessite $7,59 \text{ ms} + 3 * 640 \mu\text{s} = 9,51 \text{ ms}$: il faut donc réserver trois slots.

Donc à partir des calculs effectués et puisque la norme 802.15.4 définit une durée minimale pour la période CFP égale à 7,04 ms. Le nombre maximal des nœuds qui peuvent transmettre de GTS ne dépasse pas 4 nœuds si on choisi de transmettre plus qu'un seul paquet de voix dans une supertrame par contre nous pouvons avoir 6 nœuds qui transmettent la voix dans le cas de transmission d'un seul paquet par supertrame.

Aussi, si on transmet plusieurs paquets dans une supertrame le temps d'attente au niveau de la file d'attente sera plus long. Par exemple dans le cas de iLBC avec $BO = SO = 2$, le premier paquet doit attendre 51,93 ms (la durée nécessaire jusqu'à la période de GTS dans les pires des cas), le second paquet doit attendre $31,93 \text{ ms} + 7,59$ (la durée d'attente jusqu'à l'arrivée du GTS + la durée nécessaire pour la transmission du premier paquet) et le troisième paquet doit attendre $11 \text{ ms} + 7,59 \text{ ms}$ dans le cas de transmission sans acquittement. Donc, la durée moyenne d'attente est égale à 36,68 ms contre 26,88 ms dans le cas de transmission d'un seul paquet par supertrame.

Le Tableau 2 présente les valeurs de BO et SO qui correspondent à chaque type de Codec et le taux d'utilisation TU qui représente le nombre de paquets transmis dans chaque supertrame. La valeur de BO et SO ne dépasse pas la valeur 2 ce qui est expliqué dans le tableau 3 qui présente différentes valeurs de SD. A partir des calculs présentés dans le Tableau 2, nous avons conclu que la valeur maximale de BO et SO ne doit pas être supérieure à 3, puisque la valeur maximale de la latence pour une transmission voix ne doit pas dépasser 150 ms [7].

Pour les Codecs iLBC, Speex et Opus (avec des trames de taille 2,5, 5, 20 et 40 ms), le pourcentage d'utilisation est supérieur à 1, ce qui permet d'avoir plusieurs paquets transmis dans une seule supertrame. Et puisque la durée de la supertrame est courte (cf. Tableau 3), nous risquons d'avoir des rejets des paquets. Par exemple, si nous effectuons une communication voix de durée égale à 1 heure en utilisant le Codec iLBC qui génère un paquet de taille 20 ms et utilise $BO = SO = 1$; la transmission d'un paquet de voix nécessite 3,17 ms : il faut donc réserver deux slots.

Codec	Taille d'un paquet de voix (ms)	BO = SO	SD (ms)	TU
iLBC	20	1	30.72	1.53
	30			1.02
Speex	30	1	30.72	1.02
	34	2	61.44	2
Opus (mode LP)	10	0	15.36	0.30
	20	1	30.72	1.53
	40	2	61.44	1.47
	60	2	61.44	1.02
Opus (mode Hybride)	10	0	15.36	0.30
	20	1	30.72	1.53
Opus (mode MDCT)	2.5	0	15.36	6.15
	5	0	15.36	3.07
	10	0	15.36	0.30
	20	1	30.72	1.53

Tableau 2 : Correspondance entre le Codec et la valeur de BO et SO

BO = SO	SD * 16 * 10 ⁻³ (ms)
0	15,36
1	30,72
2	61,44
3	122,88
4	245,76

Tableau 3 : Valeur de SD

La réservation, dans la norme IEEE 802.15.4 s'effectue toujours à la fin de la supertrame. Le nœud doit alors attendre 26,88 ms à chaque supertrame avant de pouvoir transmettre le paquet. Comme le nombre de slots réservés pour la transmission est égal à 2, ce qui est équivalent à 3,84 ms (avec la durée d'un slot égale à 1,92 ms), le temps qui reste après la transmission ne permet pas de transmettre un autre paquet ($3,84 - 3,17 = 0,67 \text{ ms} < 3,17$), nous pouvons alors avoir une accumulation de paquets dans la file d'attente. Le Codec génère 180000 paquets dans une heure et le nombre de supertrames dans une heure est égal à 117188. Donc, le nombre de paquets qui ne peuvent pas être transmis et qui seront en attente dans la file d'attente est égal à 62812 ($180000 - 117188 = 62812$ paquets).

Les paquets qui ne sont pas transmis ont une taille égale à 34 octets, la taille maximale d'une mémoire RAM pour un capteur est de l'ordre de 128 Koctets [8], donc le nombre maximal de paquets que l'on peut garder dans une file d'attente est égal à 3764 paquets. Ainsi, le nombre de paquets qui

seront rejetés est égal à 59048 paquets, ce qui représente 32.82% du nombre total des paquets générés par le Codec iLBC. Donc, lorsque le taux d'utilisation est très supérieur à 1, nous pouvons avoir un grand pourcentage de rejet de paquets.

À partir du tableau 2, nous pouvons déduire que les meilleurs Codecs sont Opus avec un paquet chaque 60 ms, iLBC avec un paquet chaque 30 ms et Speex avec un paquet chaque 30 ms pour un taux d'utilisation égal à 1,02.

À partir des résultats des tests effectués dans [2], les auteurs ont montré que le Codec Opus avec un débit égal à 11 Kbits/s est comparable à iLBC (qui utilise un débit égal à 15 Kbits/s) et meilleur que Speex (qui utilise un débit égal à 11 Kbits/s). De plus, ces travaux ont montré que le codec Opus avec des débits de 20 Kbits/s et 30 Kbits/s est meilleur que G719 (avec un débit de 32 Kbits/s), et Speex (avec un débit de 24 Kbits/s).

A l'issue de cette étude, notre choix se porte donc sur le codec Opus qui offre un débit raisonnable et une qualité de voix meilleure que les autres codecs.

Nous pouvons conclure que le codec est le mieux adapté pour le projet CANet est Opus.

4. SIMULATION

Après l'étude théorique effectuée sur une multitude de codecs, nous effectuons une simulation des différents codecs.

La Figure 6 représente les étapes de transmission d'un fichier de voix entre deux nœuds (un coordinateur et un nœud normal) en utilisant le simulateur OMNet++.

L'application dans le nœud normal réel lit le fichier audio. Elle utilise ensuite un codec qui est pré-installé sur l'ordinateur implémentant ce nœud. Finalement, l'application développée prépare des paquets de voix qui ont des caractéristiques conformes à celle de la norme 802.15.4. Les couches MAC et PHY sont responsables de la transmission simulée avec OMNet++ des paquets qui seront reçus et traités par la couche applicative de coordinateur.

A l'issue de la réception des paquets, la couche applicative du coordinateur va recréer le fichier transmis.

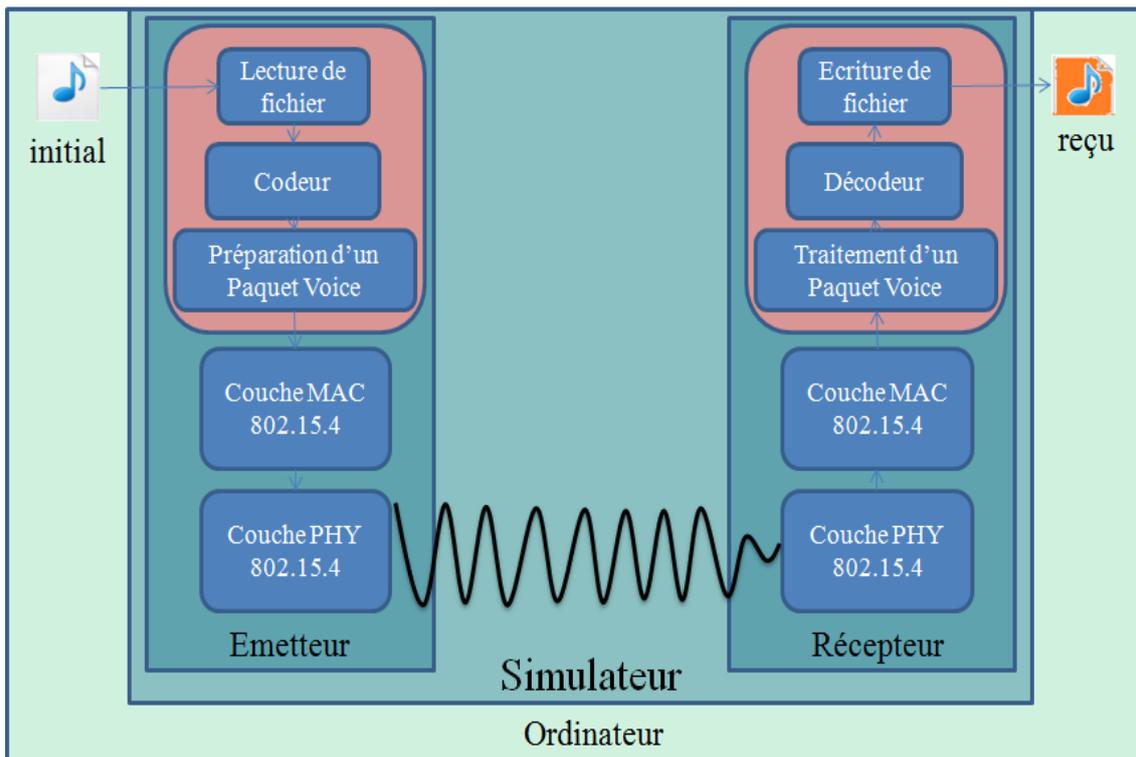


Figure 18 : Etapes de transmission de voix

Les premiers tests que nous avons effectués ont pour objectif de valider la simulation. Nous avons utilisé le codec Speex avec un paquet de 30 ms et un débit de 24,6 kbit/s, ce premier test à montré qu'il y avait une modification au niveau fichier de réception (cf. Figure 7).



Figure 19 : Transmission avec l'utilisation de codec Speex

Nous avons effectué également un test avec un débit de 10kbits/s. La Figure 8 représente le fichier reçu. Comme nous pouvons remarquer dans la Figure 8, des signaux sont perdus, et le temps entre les signaux a augmenté.



Figure 20 : Transmission avec l'utilisation de Codec Speex avec un débit de 1000kbits/s

Nous avons testé l'effet du codage et du décodage d'un fichier voix par le Codec Opus (voir Figure 9 et Figure 10).



Figure 21 : Résultat avec le codec Opus pour un débit de 10 kbits/s



Figure 22 : Résultat de codec Opus avec un débit de 24,6 kbit/s

Comme le montre la figure Figure 10, il y a une légère déformation par rapport au fichier envoyé (le même fichier initial de la Figure 7).

Dans notre futur travail, nous allons intégrer plusieurs codecs, en particulier Opus et iLBC, afin de comparer les résultats de l'étude théorique avec les simulations.

5. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons étudié tout d'abord les caractéristiques principales du standard IEEE 802.15.4. Ceci nous a permis ensuite d'effectuer une étude comparative des différents codecs qui peuvent être utilisés dans le projet CANet. Finalement, nous recommandons d'utiliser le Codec Opus pour les communications de type voix. Les comparaisons sont basées essentiellement sur la qualité de la voix sans prendre en considération la consommation énergétique. Dans une prochaine étape,

nous terminerons la préparation de l'environnement de simulation avec l'installation et la configuration de plusieurs Codec pour qu'on effectue des tests en simulation du codec couplé à une transmission utilisant des liens sans fil IEEE 802.15.4, ce qui nous permettra d'avoir une comparaison plus complète en confrontant ce que nous avons trouvé théoriquement aux résultats de simulation. Une étude pratique sera également réalisée nous permettant de prouver réellement la qualité audio obtenue lorsque l'on fait passer un flux voix dans ce type de codec et de lien sans fil.

6. REFERENCES

- [1] www.voip-sip.org/voip-codec-payload-bandwidth-required, Présente des informations sur des différentes Codecs VOIP, vu le 12/03/2014.
- [2] opus-codec.org/comparaison/GoogleTest2.pdf, les tests effectués par google sur les Codecs Opus, iLBC, Speex, etc., vu le 12/03/2014
- [3] www.speex.org, site WEB officiel de Speex, vu le 12/03/2014
- [4] www.ilbcfreeware.org, site WEB officielle de iLBC, vue le 06/04/2012
- [5] Anssi Rämö, Henri Toukoma, Voice Quality, Characterization of IETF Opus Codec. INTERSPEECH 2011: 2541-2544
- [6] E. Kim, M. Kim, S. Youm, S. Choi, C. Kang, "Priority-based service differentiation scheme for IEEE 802.15.4 sensor networks", AEU – International Journal of Electronics and Communications 61 (2) (2007) 69–81.
- [7] ITU-T, "G 114: One-Way Transmission Times," May 2003
- [8] <http://www.lextronic.fr/R2484-microcontrolleur-jn5148.html>, site web de officielle de lextronic, vue le 12/05/2014

Un algorithme prédictif d'état de lien pour les réseaux ad hoc véhiculaires

Hanene Gabteni, Benoît Hilt, Frédéric Drouhin, Jonathan Ledy, Michel Basset, Pascal Lorenz
Laboratoire MIPS, Université de Haute-Alsace, France
{ hanene.gabteni, benoit.hilt, frederic.drouhin, jonathan.ledy, michel.basset, pascal.lorenz } @uha.fr

Résumé : Particulièrement en milieu urbain, les réseaux véhiculaires ont à faire face à de fortes fluctuations dans le canal de transmission. Ce papier présente une métrique au niveau PHY capable de prédire les ruptures de liens dans ce contexte. Elle est basée sur les événements de décodage OFDM du standard IEEE 802.11p. L'efficacité de cette métrique est vérifiée par comparaison avec le taux de paquets reçus aux niveaux PHY et NET.

Mots-clefs : VANET, Décodage OFDM, Couche physique, Prédiction de ruptures de liens.

1. INTRODUCTION

Les recherches concernant les protocoles de routage dans le contexte des VANETs (Vehicular Adhoc NETWORKS) utilisent régulièrement des techniques à multiple-sauts pour pallier aux mauvaises conditions de transmissions du canal radio mobile. En effet, les communications véhicule à véhicule utilisent des liens pouvant être instables. Ces instabilités sont principalement dues à des conditions du canal de communication très fluctuantes, et ceci spécialement en milieu urbain. En cas de rupture de lien, les protocoles de routage utilisent des mécanismes de découverte de route qui peuvent selon les conditions de canal atteindre plusieurs secondes [1].

Dans le but d'optimiser ce mécanisme, ce papier propose un indicateur d'état de lien qui permet d'en prédire les ruptures. Nous nous intéressons donc plus particulièrement l'analyse de la dégradation d'un lien. L'estimation de la qualité d'un lien utilise en général des approches basées sur l'intensité du signal ou sur l'analyse statistique du taux de réception de paquets qui sont des informations disponibles une fois la réception effectuée. Notre indicateur, appelé Link State Forecasting Indicator (LSFI), est calculé au sein même de la couche physique et prend en compte des informations issues du décodage des paquets Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Il retourne permet de déterminer trois états possibles pour un lien sans fil : Connecté, Déconnecté ou Transitoire.

Du fait de sa mise en œuvre au cœur du processus de décodage OFDM, LSFI permet de prédire la perte de paquets au niveau de la couche routage. A partir d'événements liés aux étapes du décodage des paquets OFDM, au processus de sauvegarde d'historique et également au couplage d'informations qualitatives et quantitatives, notre solution offre une prédiction fiable et stable de la dégradation d'un lien. Les états indiqués par LSFI sont validés par simulation en comparant l'évolution du taux de réception de paquets aux niveaux physique et réseau. Enfin, les performances de LSFI sont illustrées dans différentes situations de mobilité réaliste en milieu urbain.

Ce papier est organisé de la manière suivante. La section II présente un état de l'art. La section III présente la contribution de ce papier : l'indicateur LSFI. La section IV montre l'efficacité de l'indicateur avec des résultats. La section V le conclut.

2. ÉTAT DE L'ART : TECHNIQUES D'ESTIMATION DE LA QUALITE DE LIEN

Nous détaillons trois méthodes utilisées pour l'estimation de la qualité d'un lien. Nous discutons de l'impact de ces méthodes sur la performance de l'estimateur.

2.1 TECHNIQUES BASEES SUR LA PUISSANCE DU SIGNAL REÇU

La puissance du signal reçu (RSSI - Received Signal Strength Indicator) et le rapport signal à bruit (SNR - Signal to Noise Ratio) sont largement utilisés pour l'estimation de la qualité d'une liaison sans fil [2][3][4]. Cependant, plusieurs travaux expérimentaux [5][6] ont conclu que le SNR, s'il permet de déterminer un état connecté ou déconnecté, ne permet cependant pas de distinguer un état intermédiaire d'un lien. Ceci du fait que la variance du SNR pour d'un lien fluctuant est importante.

En outre, comme le RSSI et le SNR se basent tous les deux sur les paquets correctement reçus par la couche MAC, l'indication de l'état de lien qui en résulte est optimiste. En effet, ces méthodes ne sont pas sensibles aux valeurs portées par les paquets supprimés ou qui présentent des erreurs.

2.2 TECHNIQUES STATISTIQUES QUANTITATIVES

Diverses techniques de statistiques quantitatives basées sur des comptages de paquets sont utilisées pour produire un indicateur de qualité de liaison. Par exemple Expected Transmission Count (ETX) [7] combine les taux de réception de paquets dans les deux sens pour détecter les liens asymétriques et calculer la probabilité de livraison des paquets avec succès. Window Mean Exponential Weighted Moving Average (WMEWMA) [6] combine l'estimation récente et antérieure de Packet Reception Ratio (PRR).

Comme ces méthodes sont fondées uniquement sur les paquets reçus avec succès, leur réactivité diminue avec la fiabilité de la liaison [8][9] de la même manière que les méthodes basées sur la puissance du signal reçu.

2.3 TECHNIQUES STATISTIQUES QUALITATIVES

Alizai et al. [10] ont proposé Short Term Link Estimator (STLE) basé sur une heuristique de fiabilité. Ils considèrent que sur un lien, dès que trois paquets consécutifs ont été reçus correctement le lien devient temporairement fiable. Cerpa et al. [11] ont quant à eux proposé Requested Number of Packets (RNP) qui est une évaluation basée sur une suite d'observations : à pertes égales, le PRR est plus faible dans le cas de paquets perdus consécutivement. Renner et al. [12] ont proposé le Holistic Packet Statistics (HoPS) qui combinent les déviations à court terme, à long terme, et l'écart absolu ainsi que la tendance des mesures de PRR pour fournir leur mesure de qualité de lien.

Ces métriques exploitent la distribution des erreurs par rapport aux paquets reçus avec succès et réussissent à estimer les liens fluctuants. Toutefois elles n'exploitent que les paquets au niveau réseau, donc le nombre d'échantillons est limité par le débit. Les études qualitatives sont intéressantes pour estimer le lien de façon fiable. Les indicateurs proposés dans ces études n'utilisent pas les informations de la couche physique.

2.4 TECHNIQUES BASEES SUR LE DECODAGE DES PAQUETS

Une génération plus récente d'estimateurs de lien propose d'utiliser un mécanisme basé sur le processus de décodage de paquets. Par exemple, ChipsError [13] et BLITZ [9] sont basées sur le décodage et l'analyse d'erreurs.

Ces méthodes exploitent l'information du paquet reçu au niveau bit et à partir d'un seul paquet elles accèdent à une estimation qualitative de la perturbation qui est appliquée au signal modulé au cours de sa transmission. Elles comptent également la proportion d'erreurs pour les paquets rejetés ou reçus avec succès au niveau physique. Ces techniques sont notamment appliquées au décodage Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) de la norme 802.15.4 déployée dans les réseaux de capteurs [14] et dans BLITZ. Les résultats de ces travaux montrent une grande réactivité et sont en cours de généralisation pour différentes conditions du réseau.

Nous nous inspirons des deux dernières catégories pour mettre un dispositif d'estimation de l'état du canal dynamique en analysant les étapes du décodage des paquets OFDM de la norme IEEE 802.11p.

3. CONTRIBUTION : LINK STATE FORECASTING INDICATOR (LSFI)

Cette section présente un nouvel indicateur d'état de lien. Dans un premier temps les événements du décodage OFDM sont introduits, ensuite quatre états témoins sont définis. Pour terminer, les métriques calculées pour l'indicateur LSFI sont présentés.

3.1 LES EVENEMENTS OFDM

Dans ce travail, nous utilisons l'implémentation de la chaîne de transmission OFDM développée au le KIT appelée PhySimWifi [15]. Afin de modéliser de la manière la plus réaliste possible la couche PHY de la norme IEEE 802.11p nous avons intégré PhySimWifi à la version 3.15 du simulateur réseau ns-3 [16]. Cet ensemble prend en compte toutes les étapes de traitement du signal et de propagation lors de la transmission d'un émetteur vers un récepteur. La réception des paquets OFDM se décompose en quatre phases : début de la réception (*StartReceive*), décodage du préambule (*EndPreamble*), décodage de l'entête (*EndHeader*), fin de décodage (*EndRx*).

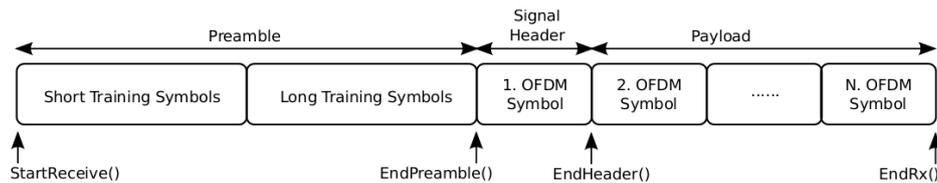


Figure 1. Evénements du décodage OFDM

Comme illustré sur la figure 1, la première phase du décodage est caractérisée par l'événement *StartReceive*. Il s'agit de la réception du premier bit d'un paquet. Si la puissance du signal reçu est inférieure au seuil de détection de l'énergie alors le paquet est rejeté avec la génération d'un événement d'erreur de réception que nous avons appelé *R12*. Si l'état du récepteur est "occupé" ou s'il y a une interférence, alors c'est l'événement d'erreur *R11* qui se produit. Si le seuil est franchi et qu'il n'y a pas interférence, la phase de décodage du préambule est déclenchée.

L'événement *EndPreamble* signale un décodage réussi du préambule. Dans le cas contraire, tout comme précédemment si l'état du récepteur est occupé ou s'il y a des interférences, alors le paquet n'est pas décodé. L'événement le *R21* nous en informe. Une fois le préambule détecté, le signal détecté est vérifiée et l'estimation du canal est démarrée et le décodage de l'entête démarré. L'événement *EndHeader* est alors attendu. L'échec de ce décodage est signalé par un événement *R22*. Le contenu de l'en-tête est utilisé pour déterminer le taux de modulation et de codage, la longueur de trame et les bits de parité. Si l'état du récepteur est occupé à ce moment, alors c'est l'erreur *R31* qui se produit. Si le contenu de l'en-tête

n'est pas plausible, alors le paquet est abandonné et l'événement associé est *R32*. Si le décodage de l'en-tête aboutit, alors la phase de décodage des symboles de données est enclenchée. L'estimation initiale du canal est appliquée à tous les échantillons OFDM. La démodulation du signal OFDM et la correction d'erreur sont effectuées dans cette étape. Ensuite, le module embrouilleur réarrange les bits dans leur état original. Si les bits réarrangés correspondent aux données transmises, la réception est considérée comme un succès et un événement *RxPhyOk* se produit. Dans le cas contraire, un événement d'erreur *R4* est produit.

Les événements qui se produisent pendant le processus de décodage des paquets OFDM au niveau récepteur peuvent donc être classés comme suit :

- *R12* : erreur de détection d'énergie,
- *R11, R21, R31* : erreurs *StartReceive, EndPreamble* et *EndHeader* en raison d'interférences,
- *R22, R32, R4*: erreurs *EndPreamble, EndHeader* et *EndReceive* de décodage de paquets,
- *RxPhyOk* : réception de paquet avec succès au niveau de la couche physique.

Lorsqu'un paquet est perdu lors du début de la réception, alors le récepteur ne peut pas identifier l'émetteur. De plus, à cause de la petite taille de l'entête, les événements de réception de l'en-tête apparaissent rarement. L'analyse se limitera donc aux erreurs de réception du préambule *R22* et de fin de la réception *R4*, ainsi qu'aux paquets reçus *RxPhyOk*.

3.2 LES ETATS DE LIEN TEMOINS

L'observation d'un lien au cours de sa dégradation, à travers les compteurs *R22* et *R4*, permet de distinguer facilement un état sans erreurs au niveau physique et un état avec perte de paquets au niveau réseau. Le passage entre ces deux états, se fait via une phase transitoire. Dans cette phase transitoire, nous observons l'existence d'un faible taux d'erreurs au niveau physique qui seront transparentes pour la couche réseau.

Afin d'évaluer notre indicateur d'état de lien nous avons besoin de repères qui identifient les états de lien de façon indépendante de notre processus d'estimation. Pour cela nous utilisons le *Packet Reception Rate* (PRR). Nous calculons donc le PRR instantané au niveau réseau ainsi qu'au niveau physique. Ce qui nous fournira des états de référence.

Notre objectif est de produire un indicateur d'état de lien capable de prédire une défaillance de liaison au niveau NET. Les pertes de paquets sont principalement causées par les perturbations du canal, à petite échelle, qui affectent en premier lieu la couche PHY. La couche MAC retransmet

les paquets non acquittés jusqu'à un seuil de retransmission maximum. Au-delà de ce nombre d'échec de livraison de paquets, le paquet est ignoré et considéré comme perdu au niveau de la couche NET.

A partir de ces observations, nous avons défini quatre états de lien témoins basés sur le PRR [17] calculés au niveau de la couche PHY et NET. Comme le montre la figure 2, l'état de référence est l'état connecté noté C. Lorsque des erreurs de décodage de paquet à la couche PHY apparaissent, nous entrons dans un état transitoire, c'est l'état T_PHY. Lorsque la couche MAC n'arrive plus à compenser les erreurs de la couche PHY, ces dernières se répercutent au niveau de la couche NET ; nous entrons alors dans l'état T_NET. Enfin, lorsque la couche NET ne reçoit plus de paquets, nous sommes dans l'état déconnecté, noté D.

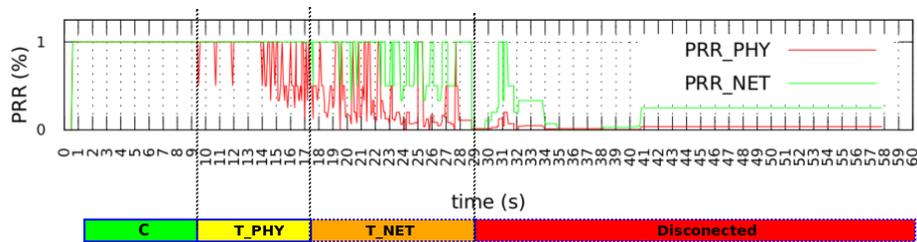


Figure 2. Etats de liens témoins

Nous appelons respectivement PRR(PHY) et PRR(NET) les taux de réception de paquets de données qui sont calculés au niveau de la couche PHY et de la couche NET. Avec ces deux valeurs de PRR, l'état connecté est caractérisé par $PRR(PHY)=1$ et $PRR(NET) = 1$. L'état transitoire T_PHY est caractérisé par $PRR(PHY) < 1$ et l'état transitoire T_NET est caractérisé par $PRR(PHY) < 1$ et $PRR(NET) < 1$. Enfin, l'état déconnecté commence dès que les deux valeurs PRR(PHY) et PRR(NET) chutent à zéro.

Ces états permettront de valider les états générés par notre indicateur d'état de lien : LSFI devra prédire l'entrée dans un état T_NET. Le deuxième objectif de notre indicateur est de garder l'état de lien à l'état connecté aussi longtemps que la couche PHY produit des erreurs mais reste encore fiable.

3.3 L'INDICATEUR A ETAT DE LIEN LSFI

Pour obtenir une analyse à la fois quantitative et qualitative des événements OFDM, nous les stockons dans un buffer circulaire de type FIFO de taille fixe (Figure 3).

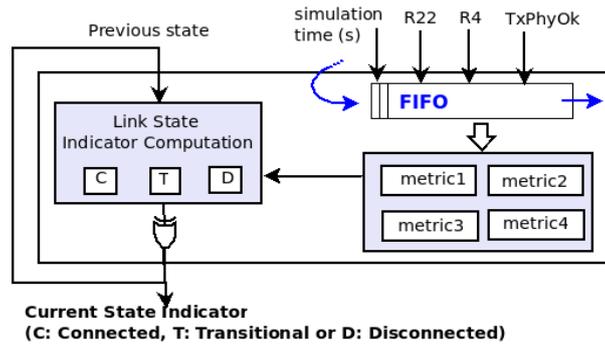


Figure 3 : Eléments de construction de l'indicateur d'état de lien LSFI

A partir de l'ensemble des événements OFDM qui sont mémorisés dans le buffer circulaire, quatre métriques sont calculées, puis combinées entre elles. C'est leur combinaison qui permet alors de déterminer l'état de l'indicateur LSFI : C, T ou D. Les quatre métriques sont les suivantes : $\text{MaxR4}+\text{R22}$ qui compte le nombre maximal d'erreurs successives entre deux paquets correctement reçus, $\text{R22}-\text{R4}$ qui permet d'évaluer la différence entre R22 et R4 , Fluctuation qui est basée sur l'analyse du buffer et permet de caractériser les fluctuations du canal, et Reliability qui est basée sur le nombre de paquets reçus consécutivement au niveau PHY et qui permet de distinguer la fiabilité d'un lien.

La métrique $\text{MaxR22}+\text{R4}$ est basée sur l'observation selon laquelle, grâce au processus de retransmission de la couche MAC, les 7 premiers événements d'erreur qui apparaissent après un RxPhyOK sont transparents à la couche NET. S'il y a plus de 7 erreurs successives les paquets commencent à être perdus au niveau de la couche NET. La métrique $\text{MaxR22}+\text{R4}$ compte le nombre maximum d'erreurs successives entre deux paquets reçus avec succès.

Lorsqu'un lien se dégrade, la première vague d'événements d'erreur de décodage de paquets OFDM est principalement composée par des événements d'erreur de décodage (R4). Dans l'état déconnecté, le nombre des événements d'erreur de décodage du préambule (R22) deviennent plus important que le nombre des R4 . La métrique $\text{R22}-\text{R4}$ permet de détecter cette modification.

La troisième métrique repose sur les fluctuations de canal. Des études récentes [11] [12] affirment que la dispersion des erreurs est un facteur important qui peut aider à distinguer un lien fiable d'un lien instable. On peut supposer que la fluctuation de l'état du canal se produit si un événement d'erreur précède ou suit un paquet correctement reçu. Nous avons observé que ce phénomène de fluctuation est accéléré dans l'état de transition, et est nul pour les états connecté et déconnecté. Pour construire cet indicateur, on divise le buffer en deux zones de tailles égales appelées B1 et B2. La mesure de la fluctuation est alors calculée comme suit :

$$\text{Fluctuation} = (\text{Fluct_B1}/\text{Delay_B1}) - (\text{Fluct_B2}/\text{Delay_B2})$$

Où Delay_B1 et Delay_B2 sont les durées de chaque moitié du buffer. Fluct_B1 et Fluct_B2 sont les nombres de fluctuation de chacune des parties.

La quatrième métrique décrit la fiabilité. Elle est destinée à distinguer les perturbations légères des grandes perturbations au niveau de la couche PHY. Son principe est basé sur une heuristique STLE [10] qui est utilisée pour détecter un lien fiable à court terme. Cette heuristique stipule qu'un lien est temporairement fiable s'il a reçu 3 paquets successifs avec succès. Alizai et al. appliquent cette heuristique au niveau NET dans STLE. Nous appliquons au niveau PHY.

Finalement, les états de l'indicateur sont déterminés comme suit : C lorsqu'il n'y a pas d'erreurs, T lorsque le canal fluctue, la couche PHY produit des erreurs dont le nombre reste inférieur à 7 et la couche NET ne perd pas des paquets, et D lorsque des paquets sont perdus au niveau de la couche NET.

4. EVALUATION DE LSFI

Comme indiqué précédemment, les simulations qui servent à l'évaluation de ce nouvel indicateur ont été réalisées avec une implémentation de couche physique provenant du KIT et nommée PhySimWifi [15] qui a été intégrée au simulateur ns-3.15 [16]. Les simulations comprennent 50 nœuds se déplaçant dans une zone de 2500m*2500m. Le canal de propagation radio est composé des modèles : ThreeLogDistanceLossModel (effet d'atténuation avec la distance), ShadowingLossModel (effet d'atténuation à petite échelle), et RicianLossModel (effet d'évanouissement) [1]. Le protocole de routage AODV est utilisé. Chaque simulation comporte 10 communications simultanées.

Les résultats présentés sur la figure 4 montrent le comportement des métriques calculées et de l'indicateur à état de lien pour une communication qui connaît une rupture de lien à une vitesse relative de 20m/s. Les états C, T et D sont bien détectés. La Figure 4 montre que l'indicateur détecte sur front descendant le début des perturbations PHY avant que celles-ci n'impactent le niveau NET. Les premières pertes au niveau PHY apparaissent à partir de 9,2s et la première perte au niveau NET à 17,4s. LSFI détecte l'état T à partir de 14s. L'état T permet ainsi de prédire l'état D 3,4s en avance, LSFI permet bien de prédire la rupture de lien.

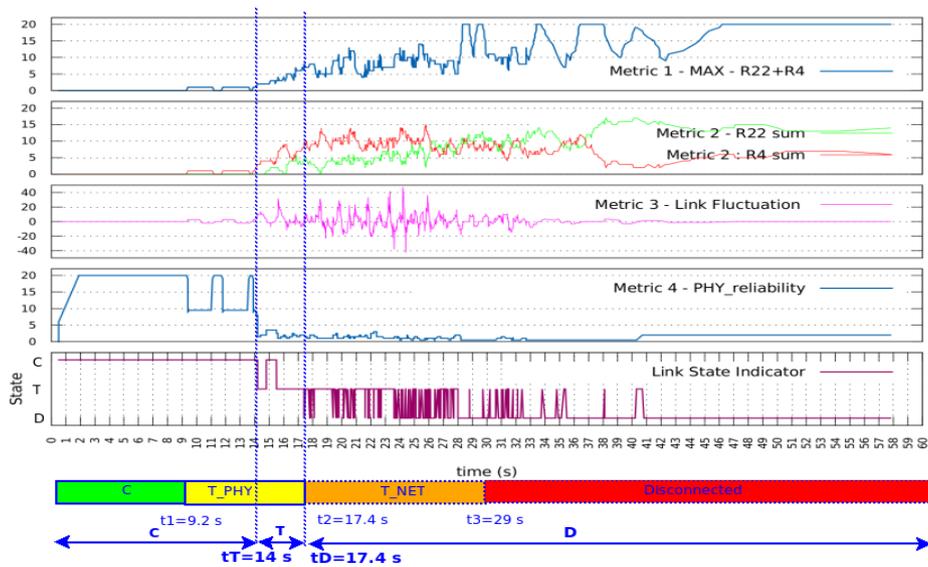


Figure 4 : Métriques constitutives et indicateur LSFI dans le cas d'une rupture de lien

La figure 5 montre le cas d'une communication qui ne connaît pas de rupture de lien. Les métriques calculées et l'indicateur sont représentés. LSFI retourne comme information un état C pour toute la durée de la simulation bien qu'il y ait des pertes au niveau PHY.

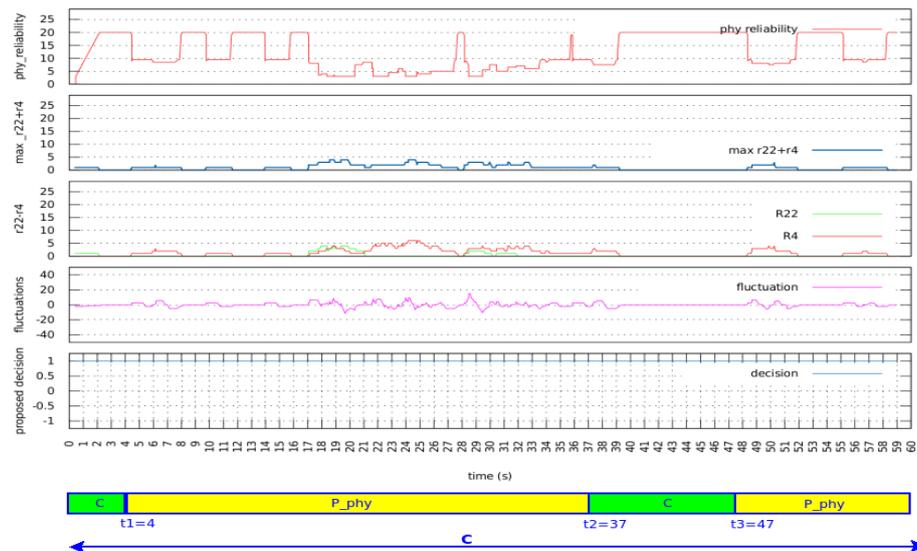


Figure 5 : Métriques constitutives et indicateur LSFI avec un lien dégradé sans rupture.

Comme LSFI est basé sur le décodage OFDM au niveau récepteur, il n'est pas dépendant de la taille des paquets. De plus, plus le débit est grand, plus le récepteur dispose d'informations OFDM et plus l'indicateur son indication est fiable. Cependant, la vitesse relative entre l'émetteur et le récepteur influence les performances de LSFI.

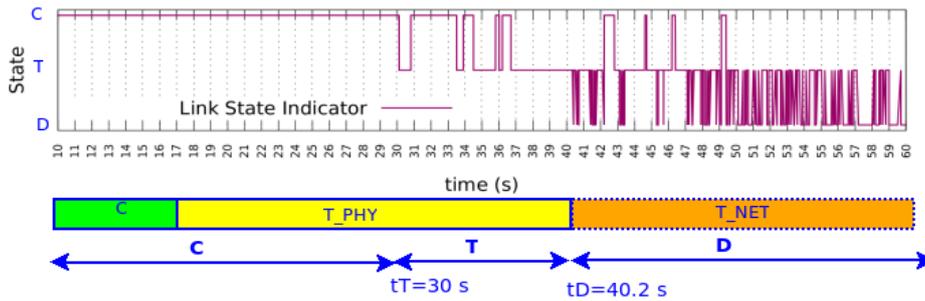


Figure 6 : Indicateur d'état de lien LSFI à 10 m/s

La figure 6 montre les états produits par LSFI pour une communication qui connaît une rupture de lien à une vitesse de relative entre véhicules de 10 m/s. Dans ce cas, l'état T est détecté 10,2 s ($t_D - t_T$) avant que l'état D ne soit effectif. Dans la figure 4, la vitesse relative est de 20 m/s.

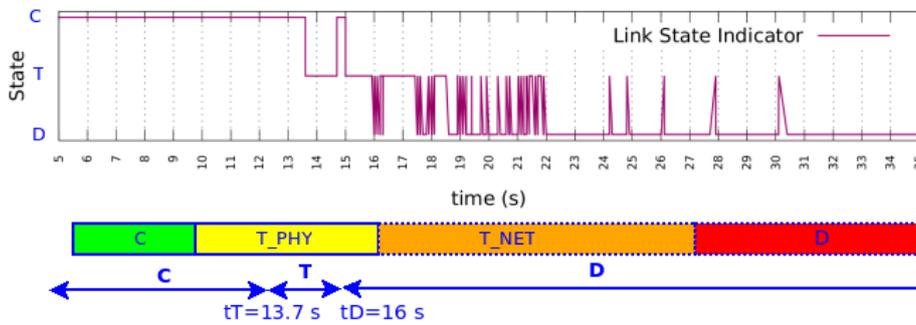


Figure 7 : Indicateur d'état de lien LSFI à 30 m/s

La figure 7 montre les états produits par LSFI pour une communication qui connaît une rupture de lien à une vitesse de relative entre véhicules de 30 m/s. L'état T est détecté 2,3 s ($t_D - t_T$) avant l'état D.

Les résultats présentés dans cette section montrent la fiabilité et la robustesse de l'indicateur LSFI, ainsi que l'impact de la vitesse sur le temps de détection. Plus la vitesse relative augmente, plus le temps de détection avant la rupture de lien est court.

5. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons présenté un nouvel indicateur d'état de lien (Link State Forecasting Indicator – LSFI) basé sur les événements du décodage d'un paquet OFDM dans la couche PHY de 802.11p. Il permet de prédire les ruptures de lien au niveau NET grâce à une analyse qualitative et quantitative des erreurs et succès des opérations de décodage du processus de réception de paquet. Cet indicateur peut ainsi être utilisé au niveau NET comme métrique prédictive.

Dans nos travaux futurs, nous utiliserons cet indicateur pour proposer un algorithme de routage prédictif.

6. REFERENCES

- [1] H. Hartenstein, *Vehicular applications and inter-networking technologies*, Wiley, 2011
- [2] N. Sharma, S. Nandi., *Route Stability Based QoS Routing in Mobile Ad Hoc Networks*, Wireless Pers. Communication, Springer, 2009
- [3] Q. Li, C. Liu, H. Jiang., *The routing protocol AODV based on link failure prediction*, ICSP IEEE, 2008
- [4] D. Halperin, W. Hu, A. Sheth, D. Wetherall, *Predictable 802.11 packet delivery from wireless channel measurements*, SIGCOMM, August, 2010
- [5] A. Bildea, O. Alphand, A. Duda, *Link Quality Metrics in Large Scale Indoor Wireless Sensor Networks*, 2013
- [6] N. Baccour, A. Kouba, L. Mottola, M. Antonio Z. niga, H. Youssef, C. A. Boano, M. Alves, *Radio link quality estimation in wireless sensor networks: A survey*, ACM Trans. , 2012
- [7] J. D. Couto, D. Aguayo, J. C. Bicket, R. Morris, *A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing*, In Proc. of ACM MobiCom, 2003
- [8] T. Liu, A. Cerpa, *Data-driven Link Quality Prediction Using Link Features*, ACM Trans. Sen. Netw., February 2014
- [9] M. Spuhler , V. Lenders , D. Giustiniano, *BLITZ: Wireless Link Quality Estimation in the Dark*, ACM Trans. , 2013
- [10] M. Hamad Alizai, O. Landsiedel, J. Á. Bitsch, S. Götz, K Wehrle, *Bursty Traffic Over Bursty Links*, In SenSys '09. ACM, 2009
- [11] A. Cerpa, J.L. Wong, M. Potkonjak, D. Estrin, *Temporal properties of low power wireless links: modeling and implications on multi-hop routing*, Proc. of ACM MobiHoc, 2005
- [12] C. Renner, S. Ernst, C. Weyer, V. Turau, *Prediction Accuracy of Link-Quality Estimators*, Proceedings of the 8th European Conference on Wireless Sensor Networks, EWSN'11, 2011
- [13] P. Heinzer, V. Lenders, F. Legendre, *Fast and Accurate Packet Delivery Estimation based on DSSS Chip Errors*, IEEE INFOCOM, 2012
- [14] P. Andelfinger, J. Mittag, H. Hartenstein, *GPU-based Architectures and their Benefit for Accurate and Efficient Wireless Network Simulations*, MASCOTS, Singapore, July 2011
- [15] <http://dsn.tm.kit.edu/english/ns3-physim.php>
- [16] <https://www.nsnam.org/>
- [17] N. Baccour, A. Kouba, H. Youssef, M. B. Jamâa, D. do Rosario, M. Alves, L. Becker, *LQE: A Fuzzy Link Quality Estimator for Wireless Sensor Networks*, EWSN, 2010

Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil

Sami MNASRI¹, Nejah NASRI² et Thierry VAL³

^{1,3} Université de Toulouse, Laboratoire CNRS-IRIT équipe IRT

² Ecole Nationale des Ingénieurs de Sfax, Laboratoire LETI équipe ISCSF

¹Sami.Mnasri@fsgf.rnu.tn, ²nejah.nasri@isecs.rnu.tn, ³val@irit.fr

Résumé : Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont un domaine de recherche en évolution continue avec une multitude de contextes d'application. Le déploiement des nœuds capteurs est une phase décisive qui influe considérablement sur le fonctionnement et la performance du réseau. Dans ce papier, nous nous intéressons à étudier le positionnement et le placement des nœuds capteurs dans un RCSF. Nous présentons tout d'abord la problématique de déploiement et nous détaillons ensuite les travaux de recherche les plus récents qui concernent les méthodologies de résolution de cette problématique.

Mots clefs : RCSF, optimisation, déploiement, positionnement, couverture, énergie, connectivité.

1. INTRODUCTION A LA PROBLEMATIQUE DE DEPLOIEMENT DES NŒUDS DANS UN RCSF

La performance d'un réseau de capteur sans fil est considérablement influencée par le processus de déploiement des nœuds capteurs. La problématique de déploiement ou de positionnement des nœuds capteurs dans un RCSF est une stratégie qui sert à définir la topologie du réseau, donc le nombre et la position des nœuds capteurs. La qualité de la surveillance, la connectivité, et la consommation d'énergie sont aussi directement affectées par la topologie de réseau. D'autre part, le problème de placement optimal des nœuds est un problème qui a été prouvé NP-difficile pour la plupart des formulations de déploiement des nœuds [1].

Les différentes tâches au niveau du déploiement peuvent être rassemblées sous trois phases principales. Une phase de pré-déploiement et de déploiement concerne le placement manuel des nœuds par un humain ou un robot, ou le lancement des nœuds à partir d'un hélicoptère par exemple. Une phase de post-déploiement est nécessaire si la topologie du réseau a évolué, suite par exemple à un

déplacement de nœuds, ou un changement des conditions de propagation radio. La troisième phase considère le redéploiement qui consiste à ajouter de nouveaux nœuds au réseau pour remplacer certains nœuds défectueux ou en panne. Le système peut itérer sur les phases 2 et 3.

Différentes problématiques sont étudiées au niveau du déploiement des nœuds capteurs dans un RCSF. Ces études concernent principalement les cas stationnaires et mobiles, les cas mono et multi objectifs, les aspects déterministes et stochastiques, et enfin les cas statiques et dynamiques.

Les auteurs dans [2] proposent une étude détaillée du déploiement dans le cas statique. Ils distinguent deux méthodologies de déploiement selon la distribution des nœuds (soit aléatoire, soit contrôlé). Les objectifs primaires traités sont différents :

- la couverture : qui est parmi les problèmes les plus prépondérants pour garantir la qualité de service dans un réseau sans fil. Plusieurs types de couverture sont présentés : la couverture par point, la couverture de régions, la couverture de barrière ou celle d'une cible en mouvement,

- l'optimisation de la consommation de l'énergie par les nœuds et l'assurance d'une efficacité énergétique,

- la connectivité du réseau,

- la durée de vie du réseau,

- le trafic du réseau,

- la fiabilité des données,

- le cout de déploiement (fonction du nombre de nœuds déployés),

- la tolérance aux pannes et l'équilibrage de charge entre les nœuds.

Dans le contexte de déploiement dynamique, les auteurs dans [2] présentent les travaux proposant des schémas de repositionnement des nœuds capteurs et les problématiques en relation.

Dans ce qui suit, nous visons à présenter les approches centralisées, décentralisées et hybrides utilisées pour résoudre la problématique de déploiement. Nous présentons ensuite quelques problématiques analogues et quelques applications du déploiement.

2. TRAVAUX RECENTS ET METHODOLOGIES DE RESOLUTION

2.1. APPROCHES CENTRALISEES

Différentes approches centralisées sont développées et testées pour résoudre la problématique de déploiement des nœuds dans un RCSF. Entre autres, nous pouvons citer les suivantes : les algorithmes de *Bernoulli* (BDA), les approches basées sur la partition de *Voronoi* (VPA), les approches basées sur les forces virtuelles (VFA), les algorithmes de champ potentiel (PFDA), les algorithmes différenciés de déploiement (DDA), les approches d'optimisation évolutionnaires et d'intelligence collectives. Nous présentons dans ce qui suit les différents travaux récents dans ce contexte.

Les algorithmes de force virtuels (VFA) sont des approches populaires pour le problème de couverture et de déploiement des nœuds. En effet, les nœuds sont considérés comme des points soumis à une force de répulsion et d'attraction exercée entre eux et qui peuvent se déplacer en fonction de la force calculée. Dans les travaux de [3], un algorithme de déploiement pour les réseaux de capteurs mobiles qui est basé sur la force de *van der Waals* est proposé. En effet, une force de frottement est introduite dans l'équation de la force, la relation de contiguïté des nœuds est définie par la triangulation de *Delaunay*, la force calculée produit une accélération pour les nœuds pour se déplacer. Une métrique d'évaluation appelée fonction de corrélation par paire est introduite pour évaluer l'uniformité de la distribution des nœuds.

Dans [4] les auteurs se sont intéressés aux réseaux auto-organisés avec intelligence collective en essaim (*swarm* intelligence). Ils présentent les différents aspects des mécanismes bio-inspirés et examinent les différents algorithmes qui ont été appliqués à des systèmes de réseaux auto-organisés. Ils s'intéressent à l'algorithme bio-inspirés existant tels que l'algorithme de colonies de fourmis, l'algorithme d'abeilles ou l'algorithme d'optimisation par essaims particuliers. De plus, ils présentent et discutent les différentes problématiques des réseaux auto-organisés du point de vue de la couche physique, la couche MAC et la couche réseau.

Les travaux de [5] proposent une méthodologie multi-objectif pour résoudre le problème de déploiement et d'affectation de l'énergie (*Deployment and Power Assignment Problem*). Cet algorithme évolutionnaire multi-objectif est basé sur la décomposition (MOEA/D : *Multi Objective Evolutionary Algorithm/Decomposition*). Ce problème est décomposé en un ensemble de sous-problèmes scalaires qui sont classifiés selon leurs préférences en objectifs et qui sont traitées en parallèle en utilisant les informations de voisin et les opérateurs évolutionnaires

spécifiques. A chaque itération de l'algorithme évolutionnaire proposé, les opérateurs proposés adaptent et fixent dynamiquement les exigences et les préférences en objectifs pour chaque sous-problème. Selon leurs résultats numériques, l'algorithme MOEA/D est meilleur que le NSGAIII pour différentes instances.

Dans leurs travaux, les auteurs de [6] modifient l'équation de l'abeille observatrice et de l'abeille exploratrice de l'algorithme de colonie d'abeilles (ABC). En effet, certains nouveaux paramètres sont introduits tels que l'oubli et le facteur voisin pour accélérer la vitesse de convergence et la probabilité de mutation pour maximiser le taux de couverture. Selon eux, en le comparant par rapport au déploiement basé sur l'algorithme ABC (*Artificial Bee Colony*) original et ou celui d'optimisation par essaims particuliers, L'approche proposée peut atteindre une meilleure performance en couverture et en vitesse de convergence avec moins de distance de déplacement des capteurs.

Les auteurs dans [7] présentent un algorithme génétique qui recherche une solution au problème des trous de couverture dans le réseau. L'algorithme proposé détermine le nombre minimum et les meilleurs emplacements des nœuds mobiles qui doivent être ajoutés après le déploiement initial des nœuds fixes. La performance de l'algorithme génétique proposé a été évaluée à l'aide de plusieurs indicateurs, et les résultats de simulation montrent que cet algorithme permet d'optimiser la couverture du réseau en termes de ratio de couverture global et de nombre de nœuds mobiles supplémentaires.

Les travaux de [8] étudient les différentes approches multi-objectif pour la résolution de la problématique de déploiement des capteurs suivant différentes paramètres (couverture, scalabilité, connectivité, coût, durée de vie, latence). Les auteurs présentent dans cette étude, les travaux basés sur les algorithmes génétiques et ceux basés sur les essaims particuliers. Ils présentent également les différents environnements de simulation dans le cas multi-objectif. Cette simulation est décomposée en deux phases. La première consiste à simuler le comportement des nœuds et les résultats sont optimisés jusqu'à atteindre la convergence. La deuxième phase consiste à alimenter un réseau de simulation par les résultats obtenus pour vérifier la solution trouvée.

Les travaux de [9] étudient le problème de déploiement des RCSF en termes de couverture et consommation d'énergie des nœuds mobiles. Cinq algorithmes de déploiement sont développés pour maximiser la portée de détection et minimiser la consommation d'énergie pour maximiser la durée de vie. Ces algorithmes fournissent également la possibilité de redéploiement lorsqu'un certain nombre de nœuds est inopérant. Deux

algorithmes centralisés d'optimisation sont développés, un est basé sur l'optimisation par essais particuliers (OEP) et un autre basé sur les algorithmes génétiques (AG). Ce dernier algorithme est employé pour déterminer le compromis optimal entre le rapport de couverture du réseau et la distance globale parcourue par les nœuds mobiles ayant un rayon de détection fixe. L'algorithme d'optimisation par OEP est employé pour assurer la couverture du réseau et réduire au minimum l'énergie consommée par les nœuds mobiles ayant des portées de détection ajustables. Selon leurs résultats, en optimisant l'énergie, cet algorithme permet d'étendre la durée de vie du capteur entre 1.4 et 10 fois.

Dans leurs travaux de recherche, les auteurs de [10] s'adressent au problème de déploiement statique des réseaux de capteurs sans fil. Leurs travaux de recherches visent la satisfaction et l'optimisation des objectifs suivants : le coût de déploiement (le nombre de nœuds), la qualité de surveillance, la connectivité du réseau, et la durée de vie de ce dernier. Les auteurs proposent plusieurs stratégies de déploiement heuristiques et abordent le problème en trois étapes. Dans la première étape, ils considèrent le coût de déploiement et la qualité de surveillance uniquement. Ils proposent une nouvelle stratégie de déploiement appelée algorithme de déploiement différencié (*Differentiated Deployment Algorithm*), basée sur le traitement d'image et la modélisation 3D. Dans la deuxième étape, ils étendent les travaux de la première étape en ajoutant comme objectif la connectivité du réseau. En effet, ils proposent deux stratégies de déploiement basées sur la méta-heuristique de recherche Tabou. La première stratégie est l'algorithme de déploiement de Bernoulli (*Bernoulli Deployment Algorithm*), qui est une stratégie probabiliste dans laquelle la décision pour déployer ou enlever un nœud suit une distribution de Bernoulli. La deuxième stratégie est l'algorithme potentiel de déploiement (*Potential Field Deployment Algorithm*) qui est une méthode déterministe se basant sur un des principes de la robotique: les forces virtuelles (*Virtual Forces*).

2.2 APPROCHES DISTRIBUEES

En plus des approches centralisées, on trouve les approches distribuées qui exploitent les avantages de la distribution pour mieux résoudre la problématique de déploiement. Dans ce contexte, les travaux de [9] étudient également le problème de déploiement des RCSF dans le cas distribué. Trois algorithmes d'optimisation distribués sont également développés, sans l'utilisation d'un nœud central, pour replacer les nœuds et optimiser la couverture réseau. Chaque algorithme est coopérativement exécuté par tous les nœuds qui utilisent et communiquent entre eux des

informations limitées pour se relocaliser et réaliser une meilleure couverture. Deux de ces algorithmes utilisent les positions relatives entre les nœuds pour optimiser la couverture et la consommation d'énergie. Ils permettent une baisse de consommation d'énergie entre 20% et 25%. Le troisième algorithme est, selon les auteurs, le premier algorithme développé pour les réseaux dépourvus de la possibilité d'auto-localisation. Il soutient le déploiement optimal de tels réseaux sans exiger l'utilisation d'un matériel de géolocalisation ou l'optimisation de la consommation d'énergie pour les algorithmes de localisation. Selon eux, ceci est important pour les applications de surveillance à l'intérieur parce que les algorithmes de localisation actuels ne peuvent pas facilement fournir une bonne exactitude pour le redéploiement des capteurs dans des environnements intérieurs.

2.3 APPROCHES HYBRIDES

Les approches hybrides consiste à utiliser deux techniques ou plus pour résoudre la problématique voulue. Il reste à trouver le bon schéma d'hybridation et savoir combiner ces méthodes pour en tirer des avantages. Dans ce contexte, différentes hybridations sont proposées. Entre autres, on cite les suivantes :

Les auteurs de [10] ont ainsi résolu la problématique de déploiement en considérant simultanément tous les objectifs indiqués précédemment. La stratégie proposée est appelée algorithme de déploiement multi-objectif (*Multi-Objective Deployment Algorithm*). Elle est basée sur un algorithme de forces virtuelles et de recherche tabou multi-objectif.

Parmi les métaheuristiques les plus récentes, on cite celle qui est basée sur la théorie de la biogéographie insulaire (BBO : *Biogeography based optimization*). Dans [11], les auteurs proposent de nouvelles versions BBO hybrides pour résoudre les problèmes d'optimisation globale avec des variables continues avec et sans contraintes. Ces nouvelles versions BBO hybrides ont comme objectif l'empêchement de la lente convergence et le manque de diversité de l'algorithme BBO. La première hybridation proposée est coupler le BBO avec l'algorithme d'évolution différentielle (DE : *Differential Evolution*) pour la résolution des problèmes d'optimisation sans contrainte, en particulier pour les problèmes multimodaux. La seconde hybridation proposée consiste à utiliser trois nouvelles variantes de BBO pour résoudre les problèmes d'optimisation sous contraintes. Pour tester les méthodes proposées, les auteurs proposent la résolution du problème d'allocation de la puissance pour détecter le signal déterministe dans un RCSF d'une manière décentralisée. Leur objectif global était la minimisation de l'énergie allouée aux nœuds capteurs, en garantissant une faible probabilité d'erreur de détection. Avec ce même

objectif, une deuxième application est proposée. Elle consiste à segmenter les images en niveaux de gris avec un seuillage multi-niveaux en appliquant une variante floue de l'algorithme BBO (*DBBO-Fuzzy*).

Les travaux de [12] s'intéressent à l'étude de la couverture dans les réseaux de capteurs qui est l'un des paramètres de qualité de service. En effet, la couverture doit être assurée de façon à ce que l'énergie consommée des capteurs soit la plus limitée pour augmenter la durée de vie du réseau. Les auteurs proposent un algorithme d'optimisation par essais particuliers hybridé avec un algorithme d'évolution différentielle. Un algorithme d'optimisation par essais particuliers OEP est mis en œuvre pour comparer l'efficacité du modèle hybride dans la même situation. Les résultats de leurs expériences montrent que l'algorithme hybride permet une durée de vie du réseau plus longue et une utilisation plus optimisée de l'énergie des capteurs. Les auteurs de [13] proposent un algorithme basé sur l'optimisation par essais particuliers (OEP) et sur le diagramme de *Voronoi*. L'OEP est utilisé pour déterminer le schéma de déploiement des capteurs assurant la couverture optimale alors que le diagramme de *Voronoi* est utilisé pour évaluer la fonction objective de la solution.

On trouve aussi les travaux de [14] qui visent la maximisation de la zone de couverture dans un RCSF en se servant d'un modèle probabiliste. Un algorithme nommé CSAPO (*Clonal Selection Artificial Physics Optimisation Algorithm*) est proposé. Cet algorithme est la combinaison de deux algorithmes : l'algorithme d'optimisation physique artificielle (APO : *Artificial Physics Optimisation Algorithm*) et l'algorithme de sélection par clonage (CSA : *Clonal Selection Algorithm*). L'APO est utilisé pour mettre à jour l'objectif global alors que la CSA est utilisé pour permettre à l'algorithme précédent de s'échapper des optimaux locaux.

Le tableau 1 résume les travaux mentionnés et leurs spécificités.

3. PROBLEMATIQUES ANALOGUES ET APPLICATIONS

Plusieurs problématiques analogues sont envisagées et différentes applications ont été déployées en utilisant les approches mentionnées. Dans ce contexte, les auteurs de [15] étudient la problématique d'optimisation d'énergie pour le problème de couverture dans les réseaux de capteurs. Ils détaillent les facteurs de conception des RCSF et présentent les problématiques de couverture analogues à celles de couverture dans les RCSF. Ils s'intéressent en particulier aux problèmes de galerie d'art (*Art Gallery Problem*), de couverture dans les océans (*Ocean Coverage*) et aux systèmes de couverture robotiques (*Robotic Systems Coverage*). Les problématiques d'optimisation d'énergie traitées sont soit fonction des

zones de couverture (*energy efficient area coverage*), soit selon des points de couverture (*energy efficient point coverage*).

Une autre problématique, en relation avec le déploiement, est celle des trous de couverture dans le champ de détection. En effet, ces trous sont généralement provoqués par des défaillances des nœuds capteurs et des environnements hostiles (régions de batailles ou régions volcaniques) ou bien par le déploiement aléatoire des nœuds stationnaires dans les réseaux de capteurs hybrides composés de nœuds statiques et mobiles. Pour cela, les nœuds capteurs mobiles sont souvent ajoutés après le déploiement initial pour surmonter le problème des trous de couverture. Cependant, en raison de la faible puissance des nœuds mobiles, la gestion efficace de leurs mouvements pour maintenir la couverture et la connectivité du réseau avec minimisation de la consommation d'énergie devient un défi. Parmi les travaux s'intéressant à satisfaire la problématique de la couverture, ceux proposés dans [16] s'intéressent à la résolution du problème de couverture dans les réseaux de capteurs directionnels (*Directional Networks Sensors*). En effet, les nœuds directionnels sont souvent équipés par de capteurs ultrason, de capteurs vidéo ou de capteurs infrarouge. Ils diffèrent des nœuds traditionnels omnidirectionnels pour différents paramètres tel que l'angle de vue, la direction de fonctionnement et le champ de vision. Ils classifient les algorithmes et les approches existantes résolvant la problématique de couverture réseau et déterminent leurs complexités, spécificités et performances. En effet, ils classifient les méthodes d'optimisation de la couverture en quatre classes principales : l'optimisation de la couverture basée sur les cibles, l'optimisation de la couverture basée sur les zones de couvertures, l'optimisation de la couverture avec garantie de la connectivité, et la prolongation de la durée de vie du réseau. Ils définissent les modèles de détection, les défis envisagés pour les réseaux de capteurs directionnels (DNS) et leurs (dis)similarités par rapport aux RCSF. Les auteurs de [16] spécifient les avantages et les inconvénients de la mobilité et la motilité des DNS en termes de couverture et durée de vie du réseau.

Dans le même contexte, les auteurs de [17] développent un algorithme adaptatif nommé AHCH (*Adaptive Hole Connected Healing*), pour résoudre les problèmes des trous avec la garantie de connectivité réseau et sans avoir besoin de trouver un nouveau schéma de déploiement à partir de zéro. En effet, cet algorithme adapte le schéma de déploiement existant pour éviter les trous de couverture. Pour prouver l'efficacité de cet algorithme, les auteurs comparent, pour différents intervalles de temps, la

solution optimale avec l'estimation du rapport d'approximation adaptative de cet algorithme, avec une complexité en $O(\log|M|)$, M étant le nombre de capteurs mobiles utilisé pour des cas spécifiques. Ils étendent ensuite cet algorithme dans le cas général en établissant deux autres versions pour résoudre les mêmes problématiques avec la preuve de leurs ratios d'approximation adaptatives théoriques correspondants. La première version est InAHCH (*Insufficient AHCH*) qui est utilisé pour résoudre la problématique des trous dans le cas où le nombre de capteurs mobiles est insuffisant pour garantir la k -couverture pour tous les trous. La deuxième version est GenAHCH (*General AHCH*) qui est une généralisation des cas spécifiques traités par l'algorithme AHCH.

Pour les applications militaires, le déploiement sous-marin est une des applications les plus intéressantes. A cause de la complexité de l'environnement de déploiement dans les espaces en trois dimensions (3D) et aux caractéristiques spécifiques du canal acoustique sous-marin, de nombreux facteurs doivent être pris en considération. Ainsi, les problèmes de déploiement dans les milieux sous-marin sont assez différents de ceux des RCSF. A ce propos, les travaux de [18] présentent un aperçu des plus récents progrès au niveau des algorithmes de déploiement dans les milieux sous-marin. Les auteurs classifient les algorithmes de déploiement en trois catégories, en fonction de la mobilité des nœuds de capteurs, à savoir : le déploiement statique, le déploiement avec auto-ajustement, et le déploiement avec mouvements assistés.

4. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons présenté le problème de déploiement des nœuds capteurs dans un réseau de capteurs sans fil. Nous avons également présenté les travaux de recherche les plus récents et les différentes stratégies et approches utilisées par la communauté scientifique, pour résoudre cette problématique. Finalement nous avons présenté différents problématiques analogues et différentes applications du déploiement.

5. REFERENCES

- [1] X. Cheng, DZ Du, L. Wang, and B. Xu, "Relay sensor placement in wireless sensor networks," *ACM/Springer Journal of Wireless Networks*, 14: pp. 347-355, 242, 2008.
- [2] M. Younis, and K. Akkaya, "Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks A survey," *Ad Hoc Networks* 6 pp. 621–655, 2008.
- [3] X. Yu, N. Liu, W. Huang, X. Qian, and T. Zhang, "A Node Deployment Algorithm Based on Van Der Waals Force in Wireless Sensor Networks," *Hindawi Publishing Corporation; International Journal of Distributed Sensor Networks*; Volume 2013, Article ID 505710; <http://dx.doi.org/10.1155/2013/>

- [4] Z. Zhang, K. Long, J. Wang, F. Dressler, "On Swarm Intelligence Inspired Self-Organized Networking: Its Bionic Mechanisms, Designing Principles and Optimization Approaches," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1):513-537, March 2014.
- [5] A. Konstantinidis, K. Yang, Q. Zhang, and D. Zeinalipour-Yazti, "A multi-objective evolutionary algorithm for the deployment and power assignment problem in wireless sensor networks," *Computer Networks* 54(6): 960-976, 2010.
- [6] X. Yu, J. Zhang, J. Fan, and T. Zhang, "A Faster Convergence Artificial Bee Colony Algorithm in Sensor Deployment for Wireless Sensor Networks," Hindawi Publishing Corporation; *International Journal of Distributed Sensor Networks*; Volume 2013, Article ID 497264, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/497264>
- [7] O. Banimelhem, M. Mowafi, and W. Aljoby, "Genetic Algorithm Based Node Deployment in Hybrid Wireless Sensor Networks," *Communications and Network*, 5, 273-279. Published Online November 2013 (<http://www.scirp.org/journal/cn>) <http://dx.doi.org/10.4236/cn.2013.54034>
- [8] K. J.Aval and S. Abd Razak, "A Review on the Implementation of Multiobjective Algorithms in Wireless Sensor Network," *World Applied Sciences Journal* 19 (6): pp. 772-779, ISSN 1818-4952, 2012; DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.06.1398
- [9] Y. Qu, "thesis: Wireless Sensor Network Deployment," Florida International University, Miami, Florida, USA, defense: march, 26th @2013.
- [10] N. Ait Saadi, "thesis: Multi-Objective Wireless Sensor Network Deployment," PIERRE & MARIE CURIE UNIVERSITY, Ecole Doctorale Informatique, Télécommunication et Electronique (EDITE de Paris), defense: March, 11th 2010.
- [11] I. BOUSSAÏD, "thesis: Perfectionnement de metaheuristiques pour l'otimisation continue," Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, defense: June, 29th 2013.
- [12] I. Maleki, S. R. Khaze, M. Mahmoodi Tabrizi, and A. Bagherinia, "A new approach for area coverage problem in Wireless Sensor Networks with hybrid particle swarm optimization and differential evolution algorithms," *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)* Vol. 3, No.6, December 2013.
- [13] N. Azlina Bt. A. Aziz, A. W. Mohemmed, and M. Yusoff Alias, "A Wireless Sensor Network Coverage Optimization Algorithm Based on Particle Swarm Optimization and Voronoi Diagram," *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, Okayama, Japan, March 26-29, 2009.
- [14] L. Hui, Z. Xiaoguang, and L. Lijun, "A hybrid deployment algorithm based on clonal selection and artificial physics optimisation for wireless sensor networks," *Information Technology Journal* 12(5): pp. 917-925,2013.

- [15] M. Cardei and J. Wu, “Energy-efficient coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks,” Florida Atlantic University, Boca Raton, FL 33431, USA, *Computer Communications* 29, 413–42, 2006.
- [16] M. Amac Guvensan, and A. Gokhan Yavuz, “On coverage issues in directional sensor networks: A survey,” Department of Computer Engineering, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, *Ad Hoc Networks* 9 , pp. 1238–1255, 2011.
- [17] Y. Shen, D. T. Nguyen, and M. T. Thai, “Adaptive Approximation Algorithms for Hole Healing in Hybrid Wireless Sensor Networks,” in *Proceedings of the 32nd Int Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, 2013.
- [18] G. Han, C. Zhang, L. Shu, N. Sun, and Q. Li, “A Survey on Deployment Algorithms in Underwater Acoustic Sensor Networks,” Hindawi Publishing Corporation, *International Journal of Distributed Sensor Networks*; Volume 2013, Article ID 314049, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/314049>

réf	auteurs, année	Application	Espace	Déploiement	Approches	Objectifs	Contraintes
[12]	[Maleki et al., 2014]	-	2D	Déterministe	Hybride (Optimisation par essaim particulière + algo d'évolution différentielle)	max zone couverture	Couverture durée de vie
[14]	[Hui et al., 2013]	-	2D	Probabiliste	Algorithme de sélection par clonage & algo d'optimisation phy. artificielle	max zone couverture	-
[09]	[Qu et al., 2013]	-	2D	Déterministe	Décentralisée: AG+OEP	max la portée de détection min conso d'énergie	Couverture durée de vie
[09]	[Qu et al., 2013]	-	2D	Déterministe	Centralisée : Optimisation par position relative moyenne + Optimisation par distance pondéré relative	max portée de détection, min conso. d'énergie	Couverture durée de vie
[11]	[Boussaid, 2013]	détection de signaux+ segmentat° images en niv. de gris	2D	Déterministe	Hybride: optimisation basée sur la biogeographie + algorithme d'évolution différentielle	min la puissance totale allouée aux capteurs	-
[07]	[Banimelhem et al., 2013]	-	2D	Binaire	Algorithmes génétiques	min le nombre de nœuds Couverture	Couverture des cibles mobiles
[05]	[Konstantinidis et al., 2009]	Pb d'attribution de puissance (power assignment)	2D	Déterministe	algorithme évolutionnaire multiobjective + décomposition (MOEA/D)	max couverture max durée de vie	-
[13]	[Azlina et al., 2009]	-	2D		Optimisation par Essaims Particulaires; Diagramme de Voronoi	Couverture	-
[10]	[Saadi, 2010]	traitement d'image modélisation 3D	2D	Déterministe	algorithme de déploiement différencié	coût (nombre de nœuds) qualité de surveillance	-
[10]	[Saadi, 2010]	traitement d'image modélisation 3D	2D	Probabiliste Déterministe	algorithme de Bernoulli algorithme potentiel+ forces virtuelles	coût (nbr de nds) qualité de surveillance connectivité	-
[10]	[Saadi, 2010]	traitement d'image modélisation 3D	2D	Déterministe	algorithme de forces virtuelles et de recherche tabou multiobjectif	coût (nbr de nds) qualité de surveillance connectivité durée de vie	-
[16]	[Guvensan et al., 2011]	RCSF directionnel	2D	Déterministe		couverture + connectivité	mobilité + motilité
[08]	[Aval et al., 2012]	-	2D	-	Algorithmes génétiques Optimisation par Essaims Particulaires	Couverture, connectivité, durée de vie	environnement de simulation
[06]	[Yu et al., 2013a]	-	2D	-	Algorithmes de colonie d'abeilles (ABC)	max taux de couverture	-
[03]	[Yu et al., 2013b]	-	2D	-	forces virtuelles forces de van der Waals)	Couverture	Rx de capteurs mobiles
[18]	[Han et al., 2013]	RC Acoustiques Sous-marins	3D	-		Couverture	Déploiement en 3D
[17]	[Shen et al., 2013]	-	2D	-	algorithmes adaptatifs : AHCH, InAHCH et GenAHCH	Couverture Connectivité	Couverture des trous capteurs mobiles

Tableau 1 : Comparaison entre les différents travaux récents de déploiement des nœuds

Impact des interférences dans un réseau sans fil multi-sauts

Chiraz Houaidia^{#*}, Adrien Van Den Bossche^{*}, Hanen Idoudi[#], Thierry Val^{*}, Leila Azouz Saidane[#]

[#]*Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique (ENSI),
Université de la Manouba, Campus Universitaire de La Manouba, Tunis, Tunisie*

^{*}*CNRS-IRIT-IRT, Université de Toulouse, UT2*

chiraz.houaidia@irit.fr, vandenbo@univ-tlse2.fr, hanen.idoudi@ensi.rnu.tn,
val@irit.fr and leila.saidane@ensi.rnu.tn

Résumé : Ce papier introduit le problème des interférences dans les réseaux sans fil multi-sauts. Nous nous adressons à deux types d'interférences : intra-flux et inter-flux et nous discutons de leur impact sur l'estimation des ressources disponibles notamment la bande passante.

Mots clés : Réseau sans fil multi-sauts, Interférence intra-flux, Interférence inter-flux, Bande passante.

1. INTRODUCTION

Parallèlement à l'émergence des réseaux sans fil, on assiste à un déploiement de services multimédia importants, variés et gourmands en ressources. Ce type d'applications est exigeant en termes de qualité de la transmission et l'on voit apparaître un réel besoin de garanties sur la qualité du service offert.

La fonction basique du routage avec qualité de service est de chercher des chemins « optimaux » qui satisfont les contraintes de QoS de flux de données. Ainsi, l'identification de routes avec maximisation de la bande passante disponible serait un objectif imminent dans un routage orienté QoS.

En outre, étant donné qu'il n'est pas facile de séparer complètement les transmissions simultanées en fréquence dans de tels réseaux, certaines transmissions seront malheureusement effectuées en même temps et dans la même bande de fréquences. A ces transmissions de données s'ajouteront les signaux parasites interférents provenant de sources non désirées et qui sont susceptibles de brouiller le signal reçu par le destinataire.

Dans ce papier, nous allons étudier l'impact des interférences sur la bande passante disponible dans un environnement sans fil multi-sauts.

2. PROBLEME D'INTERFERENCES DANS LES ENVIRONNEMENTS SANS FIL MULTI-SAUTS

2.1. HISTORIQUE DE L'UWB

Dans un contexte filaire comme un bus Ethernet, tous les nœuds partagent la même vision de l'état du canal de transmission (libre ou occupé) et des ressources à disposition pour un éventuel échange. Cette vision unifiée n'est plus possible dans les réseaux sans fil du fait que le canal partagé n'est plus un simple support matériel partagé commun mais un médium immatériel tel que l'air. D'autre part, la vision de chaque nœud dépend de sa portée de transmission et de sa zone d'interférences. Plusieurs problèmes connus sont issus de cette vision limitée tel que le problème du nœud caché.

Pour expliquer plus en détails le phénomène, considérons l'exemple suivant illustré en figure 1 :

Le nœud A peut être conscient qu'il partage le canal avec le nœud B, car il est à l'intérieur de sa portée de transmission. Il sait aussi qu'il partage le canal avec le nœud C parce que c'est à l'intérieur de sa zone d'interférences, mais il ne peut pas communiquer directement avec lui car il ne peut pas décoder correctement ses paquets, et donc ne sait pas l'identité de ce nœud C.

Cependant, bien que le nœud A sache qu'il partage le canal avec le nœud B, il ne sait pas ce que les autres nœuds partagent également avec ce nœud B, car ils sont en dehors de sa zone d'interférences (par exemple, le nœud D). De plus, les deux nœuds A et B n'ont pas la même vision du canal puisque, de la part de A, les nœuds B et C sont les seuls nœuds partageant le canal avec lui mais, de la part du nœud B, le canal est partagé à la fois par A, C et D.

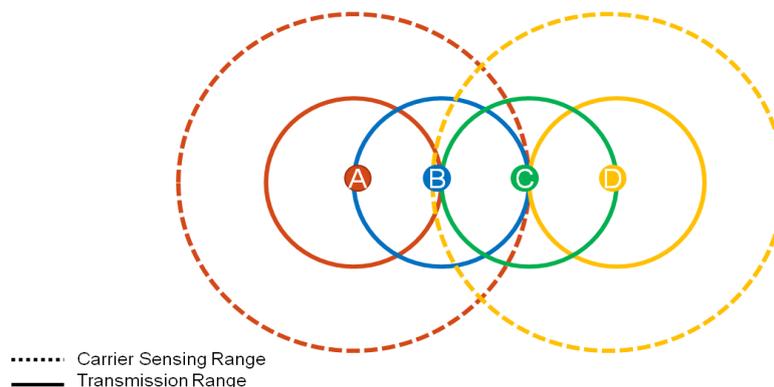


Figure 1 : Visibilité des nœuds du support partagé.

Ce problème de vision locale influence directement l'estimation de la bande passante disponible au niveau de chaque nœud. En effet, la vision unifiée des ressources disponibles et partagées entre tous les nœuds du réseau n'est pas garantie.

Par exemple, sur la figure 2, où les nombres sur les liens indiquent les capacités des liens en Mbits/s, le *widest path*¹ à partir du nœud A vers le nœud Y est « A, B, C, D, Y », car le chemin du bas présente un goulot d'étranglement (G, Y) limité à cinq Mbits/s. Par contre, à partir du nœud X, pour atteindre le nœud Y, le *widest path* est plutôt « X, A, E, F, G, Y » car il présente une liaison (F, G) offrant une plus grande capacité [3].

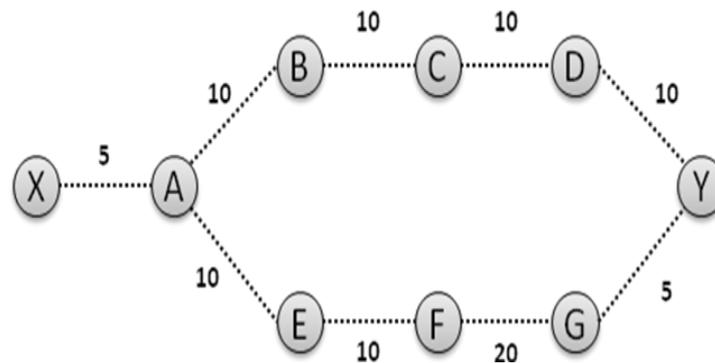


Figure 2 : Exemple de topologie de réseau.

D'autre part, étant donné qu'il est très difficile de complètement séparer en fréquence les transmissions simultanées dans les réseaux sans fil, certaines transmissions seront produites en même temps et dans la même bande de fréquences. Par conséquent, la bande passante consommée par les flux de données et les ressources disponibles pour un nœud ne sont plus des concepts locaux, ils dépendent des nœuds voisins partageant le canal de transmission.

En général, on distingue deux types d'interférences [2] : les interférences intra-flux et les interférences inter-flux. L'interférence intra-flux se produit lorsqu'un paquet de données est transmis, dans un contexte multi-sauts, sur plusieurs liens le long d'un chemin jusqu'à la destination. En effet, des nœuds dans le même chemin du même flux entrent en concurrence entre eux pour le même canal. Afin d'éviter les conflits au niveau du nœud de réception, certains liens restent inactifs. Comme le montre la figure 3(a), tout en recevant des flux de données à partir du nœud S1, le lien (X1, D1) doit rester au repos (c'est-à-dire ne pas émettre) pour éviter d'éventuelles interférences avec le lien (S1, X1).

¹ Widest path: Le chemin offrant la bande passante maximale.

L'interférence inter-flux se produit lorsque différents flux de données sont transmis en même temps et partageant ainsi la même ressource disponible. En effet, dans un réseau sans fil, un flux ne consomme pas toute la bande passante tout au long d'un chemin mais il entre en contention avec les voisins de tous les nœuds de son chemin.

En d'autres termes, l'interférence inter-flux affecte la quantité de ressources résiduelles sur chaque lien et qui sera affectée à un nouveau flux. Comme le montre par exemple la figure 3(b), dans une telle topologie sans fil avec deux flux (S1-D1 et S2-D2), à un moment donné, une transmission entre S1-X1 condamnera les transmissions sur S2-X2 car les nœuds X1 et X2 sont dans la même zone de transmission et interfèrent entre eux.

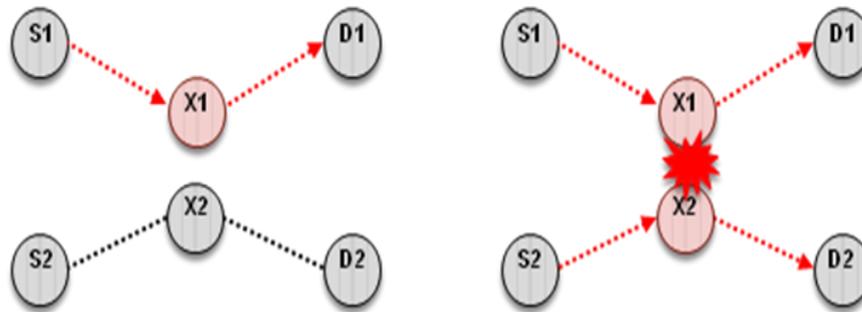


Figure 3 : (a) Interférences intra-flux (b) Interférences inter-flux.

Ainsi, le premier défi qui se pose en traitant cette problématique des interférences, est l'estimation de la bande passante disponible sur le réseau. En effet, d'une part, chaque nœud a une vision individualisée de l'état du canal, et d'autre part, la bande passante disponible dans le réseau n'est pas simplement un concept local, mais dépend de la bande passante disponible sur tout le voisinage. Ainsi, le défi qui se pose est comment peut-on homogénéiser la perception des différents nœuds du réseau des ressources disponibles en ayant à l'appui des estimations locales ?

Nous proposons dans ce qui suit, l'étude d'un scénario pour mettre en évidence ce phénomène.

Dans cette simulation considérons six nœuds configurés comme indiqué sur la figure 4(a) [1]. La portée de transmission radio est fixée à 250 mètres et la zone d'interférences est de 550 mètres. Le nœud A est hors de portée de transmission du nœud C, mais dans sa zone d'interférences. Le nœud E est dans la zone de transmission du nœud A et se trouve hors de portée d'interférences du nœud C. Trois flux CBR de 2 Mbits/s sont établis entre les nœuds A et B, les nœuds E et F et les nœuds C et D. Les transmissions sont espacées d'une période de 10 s. Les liens ont des capacités différentes, comme indiqué sur la figure 5.

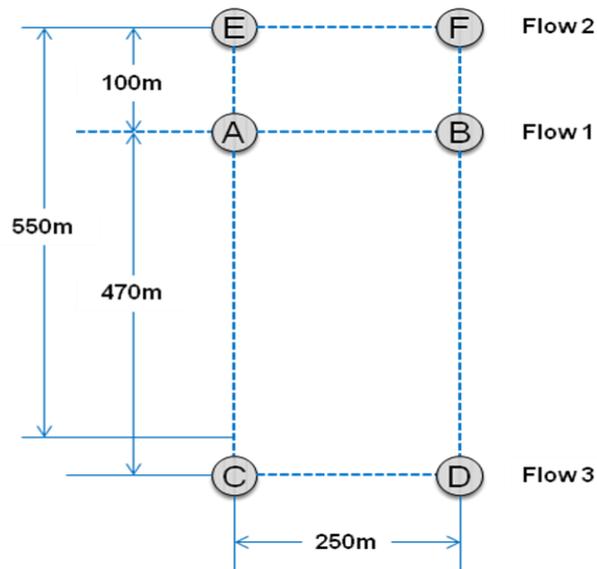


Figure 4(a) : Première topologie de simulation.

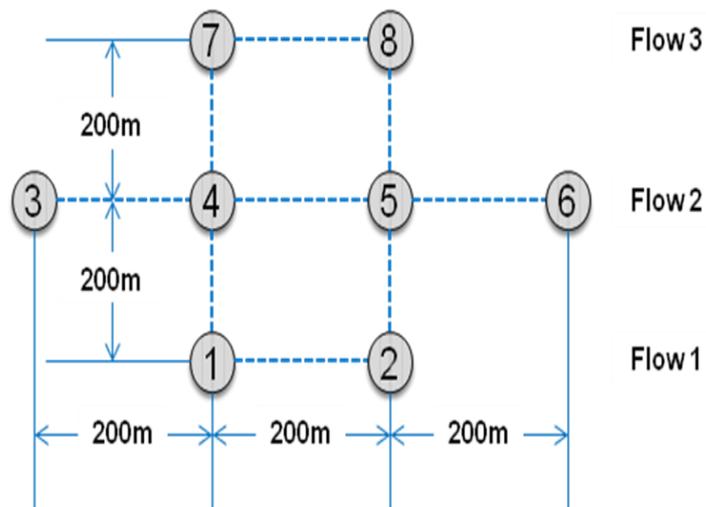


Figure 4(b) : Deuxième topologie de simulation.

La figure 5 montre, d'un point de vue théorique, les variations de la bande passante locale disponible estimée par chaque nœud source quand les flux de données sont transmis successivement.

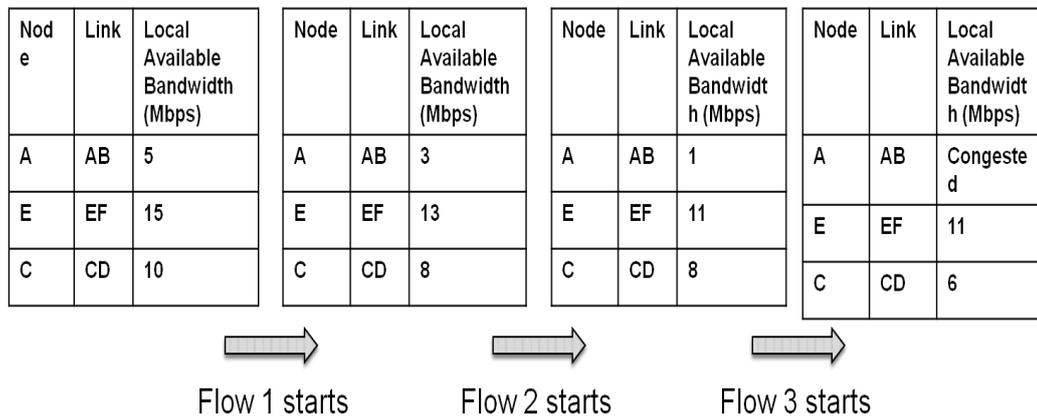


Figure 5 : Variations de la bande passante [1].

Comme le montre la figure 5, après l'émission des flux 1 et 2, le nœud C est encore capable d'admettre le flux 3. Cependant, étant donné que le nœud A est dans la zone d'interférences du nœud C, le flux 3 est susceptible de consommer de la capacité résiduelle de A qui se trouve, en effet, insuffisante. En d'autres termes, même si la bande passante locale le permet, le nœud C n'a pas assez de bande passante avoisinante (c'est-à-dire la bande passante disponible sur les autres liens du chemin) pour le flux 3.

Dans ce qui suit, nous utilisons un scénario similaire basé sur le réseau illustré à la figure 4(b) pour montrer, pratiquement, comment les interférences intra-flux et inter-flux dégradent les performances du réseau. La simulation est faite par ns-2 avec une couche MAC IEEE 802.11.

Puisque les nœuds 3 et 6 sont au-delà des portées de transmission l'un de l'autre, le flux 2 doit, ainsi, passer à travers le nœud 4 et le nœud 5. La figure 6 montre la variation du *throughput*² des trois flux. Lorsque le flux 2 commence, le *throughput* du flux 1 diminue de façon significative. Lorsque le flux 3 commence, les deux flux 1 et 2 sacrifient une bonne partie de leur débit, soit 50% du débit initial pour le flux 1 et 30% de celui du flux 2. Les trois flux subissent ainsi de grandes variations de *throughput*. Ce scénario montre, ainsi, l'impact négatif de l'interférence inter-flux.

² Throughput : La quantité de données communiquées pendant une période de temps donnée.

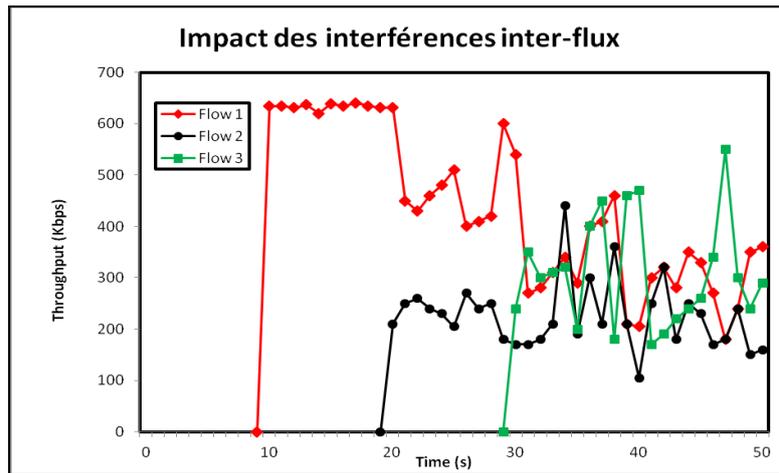


Figure 6 : Impact des interférences inter-flux.

Dans l'exemple suivant, nous mesurons séparément le *throughput* lorsqu'uniquement un flux à un seul saut est émis du nœud 3 vers le nœud 4 avec le débit de 600 Kbps, et quand uniquement un flux multi-sauts est émis à partir du nœud 3 vers le nœud 6 avec le même débit.

Comme représenté sur la figure 7, l'écart du *throughput* obtenu entre ces deux flux est assez grand. Le flux à un saut atteint son débit de 600 Kbps tandis que le débit du flux multi-sauts est inférieur à 400 Kbps. Les interférences intra-flux entre les liens du flux multi-sauts détériorent significativement son *throughput* résultant.

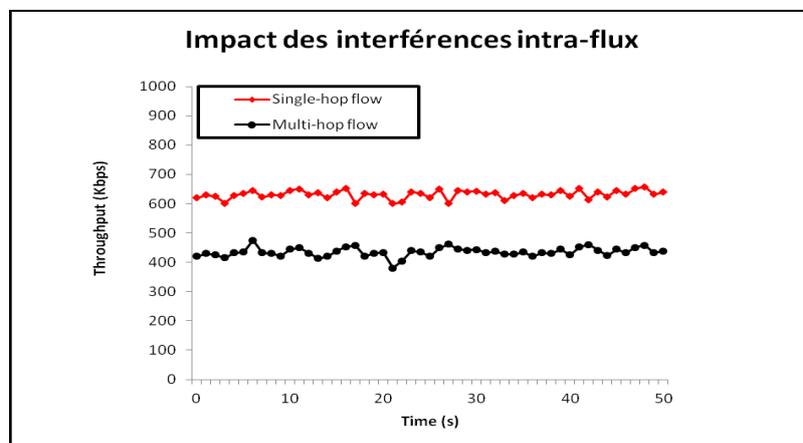


Figure 7 : Impact des interférences intra-flux.

3. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons traité des problèmes liés au partage du support de communication dans un réseau sans fil multi-sauts. Nous avons identifié deux types d'interférences : intra-flux et inter-flux et nous avons

discuté leur impact sur l'estimation des ressources disponibles, en modélisant et simulant la problématique.

4. REFERENCES

- [1] Y. Yang and R. Kravets, "Contention-Aware Admission Control for Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 4, no. 4, pp. 363-377, Apr. 2009.
- [2] Rami Langar, Nizar Bouabdallah, Raouf Boutaba, and Guy Pujolle, "Interferer Link-Aware Routing in Wireless Mesh Networks", *IEEE ICC*, 2010.
- [3] C. Houaidia, A. Van Den Bossche, H. Idoudi, T. Val, L. Saidane. "Mitigating Interference Based on Link Availability in Wireless Mesh Networks". *International Workshop on Performance Evaluation and Modeling in Wireless Networks: PEMWN*, Hammamet, Tunisie, 2013.

Localisation d'une source sonore par un réseau de microphones

Adel THALJAOUÏ¹, Damien BRULIN², Thierry VAL³, Nejah NASRI⁴

^{1,3}Université de Toulouse-UT2, Laboratoire CNRS-IRIT équipe IRT

²Université de Toulouse-UT2, Laboratoire LAAS-CNRS équipe N2IS

⁴Ecole Nationale des Ingénieurs de Sfax, Laboratoire LETI équipe ISCSF

¹Adel.Thaljaoui@irit.fr, ²damien.brulin@laas.fr, ³val@irit.fr,
⁴nejah.nasri@isecs.rnu.tn

Résumé : L'assistance à domicile d'une personne âgée, notamment la connaissance de sa position géographique en tout instant, est devenue actuellement l'une des problématiques les plus urgentes. L'exploitation de l'information audio captée par un réseau de capteurs munis de microphones constitue un axe de recherche prometteur qui pourrait contribuer à une meilleure localisation dans le cadre des maisons intelligentes. Nous introduisons, dans cet article, nos premiers travaux sur la localisation audio en présentant un système de localisation sonore par un ensemble de deux microphones qui se base sur l'estimation de la différence de temps d'arrivée (TDOA). Les résultats montrent qu'un couple de microphones peut localiser une source sonore dans un rayon de 3m et avec une précision de moins de 3 degrés.

Mots clés : Assistance à domicile, réseaux de capteurs sans fil, localisation, audio, microphone, TDOA

1. INTRODUCTION

L'oreille est l'un des organes les plus complexes dans le corps humain. En effet, de part sa nature, l'oreille est composée d'une multitude de cellules spécialisées permettant l'analyse du spectre sonore dans une gamme de fréquences allant de 22 Hz à 22kHz. Cette analyse assure une perception assez précise de l'espace sonore qui nous entoure en permettant non seulement d'analyser les sons qu'elle capte mais aussi de localiser la source émettrice de ces sons, même si elle ne se trouve pas dans notre champ de vision.

Localiser une source sonore revient à déterminer sa direction d'arrivée ainsi que sa distance. Selon une étude réalisée par [1], la précision de cette localisation peut atteindre $\pm 1^\circ$ pour certains mammifères.

La modélisation du fonctionnement de l'oreille a suscité, ces dernières années, un intérêt particulier notamment dans le domaine de la robotique. En effet, plusieurs équipes se sont attachées, durant cette dernière décennie, à produire des robots pouvant assurer les mêmes fonctions élémentaires qu'un être humain peut exécuter à l'instar de la vision (par des caméras), l'ouïe (par des microphones) et même la sensibilité de la peau humaine (par des capteurs) [2] [3] [4] [5] [6]. Mais les applications de la localisation audio dans les réseaux de capteurs sans fils dans le cadre de l'assistance à domicile sont encore à leur balbutiement [7].

L'objectif de nos recherches est de concevoir un système de localisation hybride qui permet de combiner l'information audio à celle des capteurs radio afin de localiser une personne âgée dans un habitat intelligent.

Nos premiers travaux concernent ainsi la localisation d'une source sonore par un ensemble de deux microphones en estimant sa direction d'arrivée.

Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes pour la détermination de la direction d'arrivée d'une onde sonore. Les deux les plus utilisées sont l'ILD (*Interaural Level Differences*) et le TDOA (*Time Difference of Arrival*) connue aussi sous le nom d'ITD (*Interaural Time Difference*)(Cf. Figure).

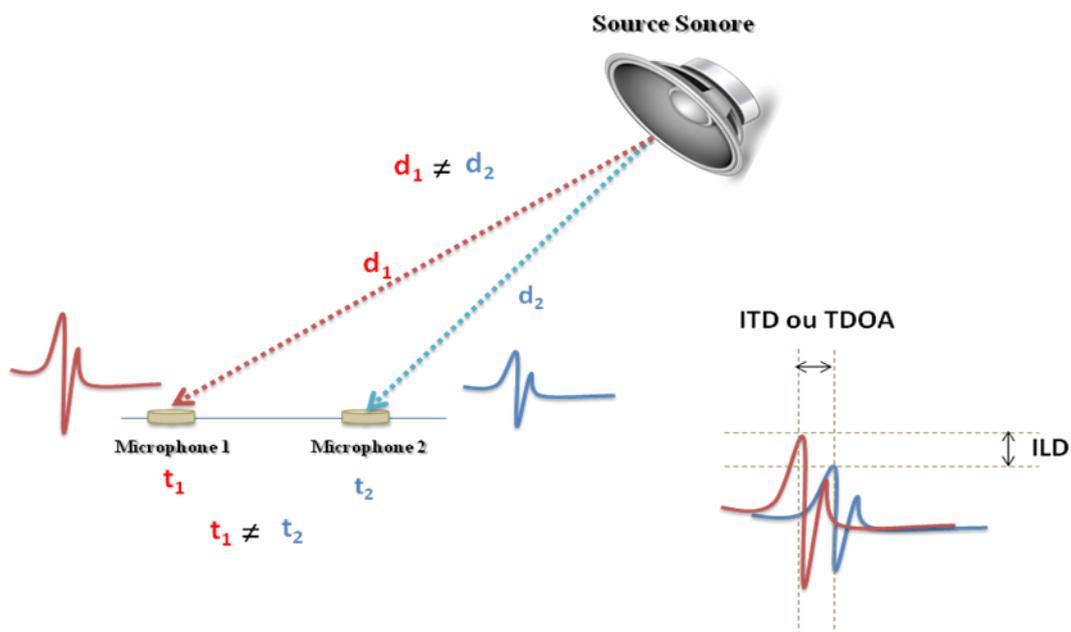


Figure 1: Méthode de calcul de la direction d'une source sonore

2. CHOIX DE LA METHODE DE CALCUL DE LA DIRECTION D'ARRIVEE

2.1. ILD

L'ILD (*Interaural Level Differences*) mesure la différence d'intensité sonore entre les signaux reçus par deux récepteurs (microphones ou oreilles).

En fait, l'intensité d'un signal est généralement considérée comme l'un des indices principaux de perception de l'emplacement d'une source sonore. En effet, l'appareil auditif humain est très sensible à toute variation de cet indice [8].

Selon la loi de l'inverse du carré (*inverse-square law*) [9], l'intensité d'un son dans un champ libre est inversement proportionnelle au carré de la distance entre la source et le récepteur:

$$I = \frac{W}{4\pi d^2} \quad (1)$$

où I est l'intensité sonore en watts/m², W est l'intensité sonore de la source en watts et d est la distance de la source en mètres.

Cependant, cette loi ne s'applique que pour une source relativement proche. En effet, la différence d'intensité devient négligeable en fonction de la distance réduite du récepteur [10]. En outre, la connaissance à priori du niveau de la source sonore à l'émission est indispensable pour sa localisation du fait que le niveau du son à la réception est relatif à celui du son émis.

2.2. TDOA

L'une des techniques les plus utilisées est la technique de la différence du temps d'arrivée (TDOA) qui permet d'obtenir de bons résultats de localisation [6].

Si l'on considère le cas d'un réseau de deux capteurs (microphones) (Figure 2), le principe de l'estimation de la direction d'arrivée d'une onde sonore repose sur le calcul de ses temps de capture par chaque microphone puis en déduire le retard (τ) ou la différence des temps d'arrivée (TDOA) enregistrée entre ces deux microphones.

Ainsi, à l'instar du système auditif humain, l'exploitation du retard que met un son pour arriver à deux capteurs (microphones) pourrait nous conduire à déterminer la direction d'arrivée de ce son.

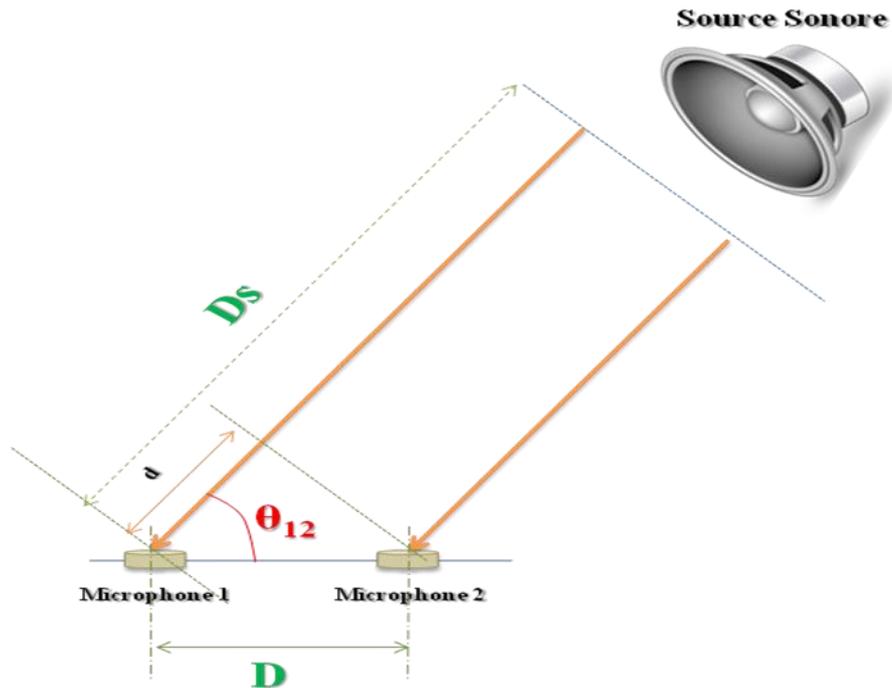


Figure 2: Exemple d'un réseau de deux microphones

Cette méthode est beaucoup plus précise et robuste dans le cas d'une source sonore assez éloignée (cas des ondes planes) ce qui correspond aux objectifs que nous avons fixés. C'est pour cette raison que la méthode TDOA a été retenue pour le reste de nos calculs.

3. METHODE PROPOSEE POUR LE CALCUL DE LA DIRECTION D'ARRIVEE D'UNE ONDE SONORE

Nous considérons un système de deux capteurs et une source sonore placée en dehors du plan perpendiculaire à la droite passant par ces deux capteurs et passant par le milieu de leur entraxe. Le front d'onde de cette source sonore atteindra alors les deux capteurs avec une légère différence de temps ou délai, dépendant de l'angle d'arrivée de la source (Figure 2). La valeur maximale que peut prendre ce délai renvoie à une source sonore se trouvant sur la même droite passant par les deux capteurs (à 0° ou 180°).

Le réseau que nous utilisons est composé de deux microphones pouvant être disposés comme illustré par la Figure .

3.1. PRINCIPE DE LA METHODE

Notre objectif est de déterminer l'angle θ correspondant à la direction d'arrivée de l'onde produite par la source sonore (cf. Figure). Nous supposons que $\theta \in]0, \pi[$.

Nous avons :

- l = distance entre S et Capteur 2
- D_s = distance entre S et Capteur 1
- v : vitesse de propagation du son dans l'air donnée par la formule de Laplace suivante :
 $v = (331 + 0.6 \times T) \text{ ms}^{-1}$; avec T est la température de l'air (supposée proche de 20°C).
- TDOA (différence de temps d'arrivée) notée aussi τ .

Afin de déterminer l'angle θ , nous appliquons les formules de la trigonométrie pour un triangle rectangle de coté d et d'hypoténuse D (entraxe des deux capteurs) :

$$\cos \theta = \frac{d}{D} \quad (2)$$

Or pour une distance d (Fig.2), la vitesse de l'onde sonore est donnée par:

$$v = \frac{d}{\tau} \Rightarrow d = \tau \times v \quad (3)$$

(2) devient alors:

$$\cos \theta = \frac{\tau \times v}{D}$$

D'où: $\theta = \cos^{-1} \frac{\tau \times v}{D} \quad (4)$

La méthode décrite dans cet article permet de calculer l'angle θ selon la méthodologie suivante:

- Acquisition du signal sonore $s(t)$, sa discrétisation selon une fréquence d'échantillonnage F (obtention de $s(n)$ et récupération des signaux correspondant à chacun des deux microphones ($s_1(n)$ et $s_2(n)$)
- Calcul de l'intercorrélation entre ces deux signaux $s_1(n)$ et $s_2(n)$
- Recherche de la position temporelle du maximum de l'intercorrélation et détermination du retard τ
- Calcul de la Direction d'Arrivée (angle θ)

3.2. ACQUISITION DU SIGNAL SONORE

Dans cette première étape, nous enregistrons le signal sonore capté par le module à deux microphones que nous avons conçu (Figure). Ce signal est ensuite échantillonné à une fréquence F_e .

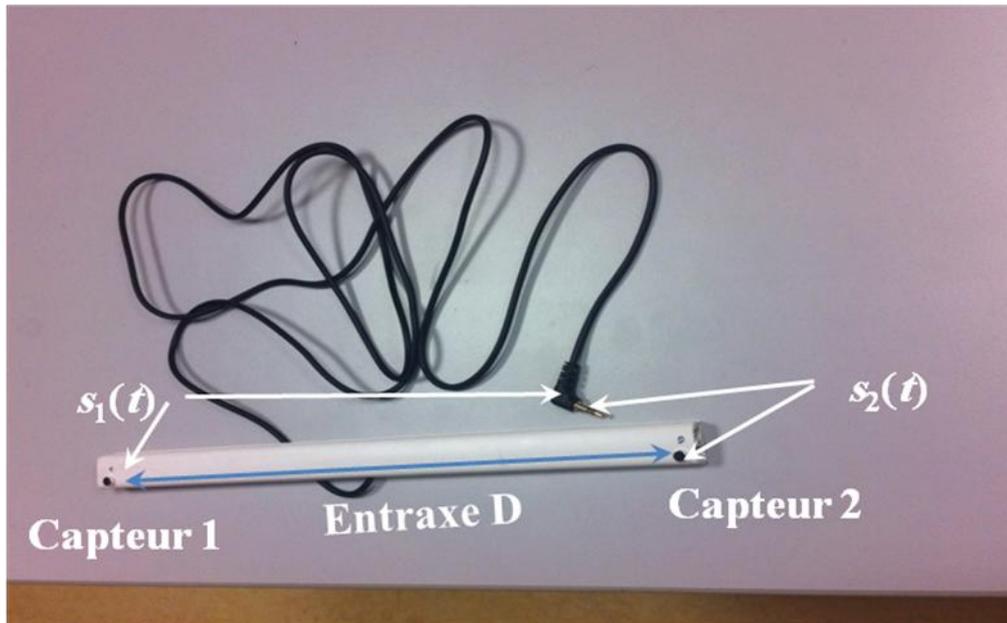


Figure 3: Barre à deux microphones conçue

Le principe de la méthode est donné par la Figure :

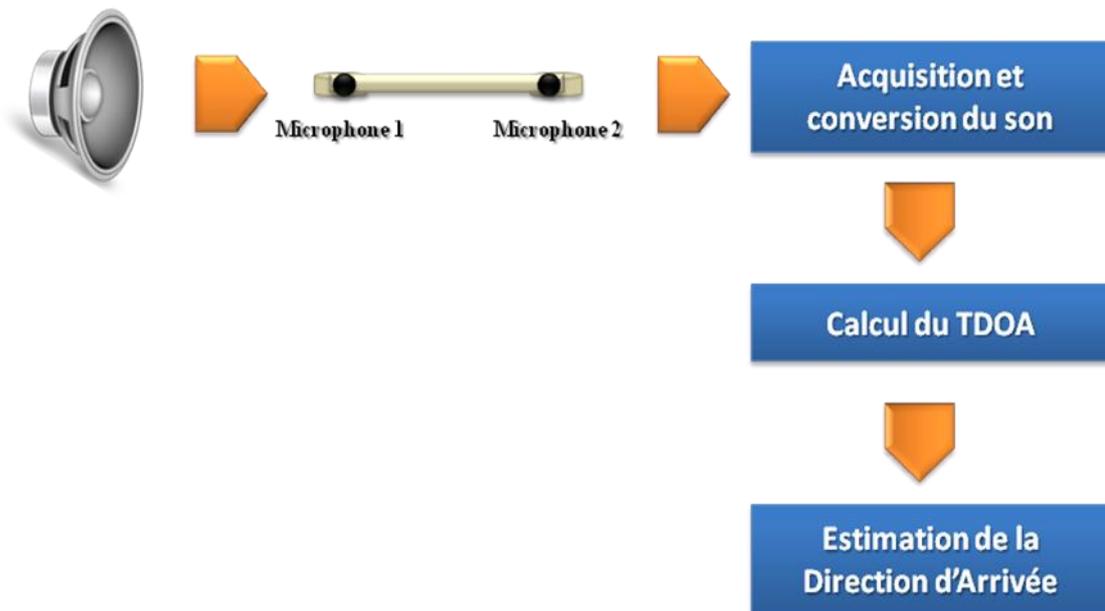


Figure 4: Localisation d'une sonore par un réseau de 2 microphones

Les microphones sont reliés à l'ordinateur par un câble jack stéréo où la voie de gauche et de droite correspondent respectivement aux microphones 1 et 2. Les deux signaux relatifs à ces deux microphones sont ensuite restitués ($s_1(n)$ et $s_2(n)$).

3.3. INTERCORRELATION ET ESTIMATION DU TDOA (T)

Afin de pouvoir appliquer l'équation (4), il nous faut déterminer le retard τ ou TDOA (Figure). L'une des méthodes les plus simples et les plus utilisées pour la détection du délai temporel entre deux signaux consiste à déterminer le maximum de la fonction d'intercorrélation entre eux.

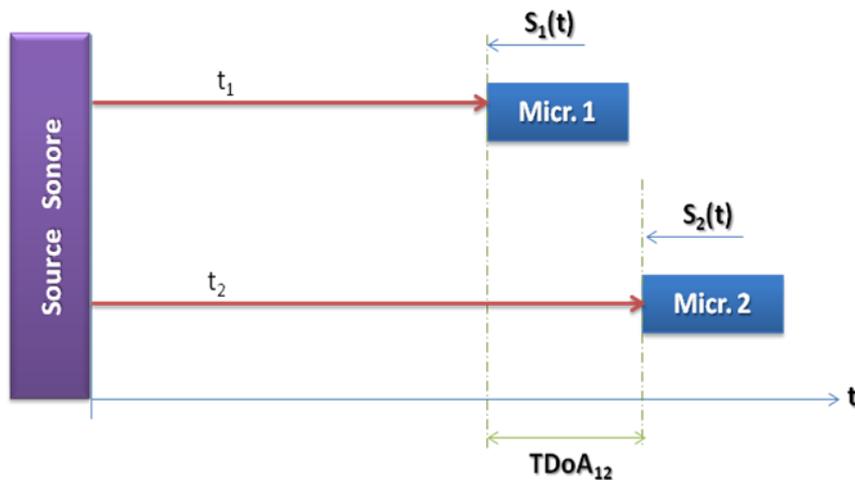


Figure 5: Différence du temps d'arrivé TDoA

La fonction d'intercorrélation (équation 5) permet de donner une mesure du taux de similitude entre deux signaux. En fait, le signal s_2 reçu par le capteur 2 n'est autre qu'une version décalée dans le temps du signal s_1 reçu par le capteur 1 (selon le signe de τ).

Dans le cas de signaux continus, la fonction d'intercorrélation est donnée par:

$$C_{s_1s_2}(\tau) = \int_{-T}^{+T} s_1(t)s_2(t - \tau)dt \quad (5)$$

Dans notre cas, les signaux que nous manipulons sont des signaux discrets (échantillonnés). La formule que nous utilisons est la suivante:

$$C_{s_1s_2}(\tau) = \sum_{-T}^{+T} s_1(n)s_2(n - \tau) \quad (6)$$

Il s'agit donc de comparer deux signaux de même longueur l'un décalé de l'autre d'un retard τ . Le principe de cette technique est de balayer le premier signal selon un axe de temps i croissant alors que le second signal balaie l'axe du temps dans le sens contraire ($-i$).

La fonction d'intercorrélation prend comme paramètres d'entrée deux vecteurs **A** et **B** représentant respectivement les deux signaux audio captés par les deux microphones (dans notre cas, les signaux $s_1(n)$ et $s_2(n)$).

Notons que **longueur (A) = longueur (B)=L**.

Les deux signaux $s_1(n)$ et $s_2(n)$ sont alors "glissés" l'un à travers l'autre dans tous les points pour aboutir enfin à un vecteur **C** de longueur donnée par [11]:

longueur (C) = $2 \times L - 1$.

La valeur maximale que peut prendre le vecteur obtenu **C** représente en fait la position de la similarité maximale entre les deux signaux $s_1(n)$ et $s_2(n)$ moyennant un délai τ .

A titre d'exemple et afin de tester cette méthode, nous avons capté un son « claquement des doigts » (Figure). La figure 7 montre le maximum d'intercorrélacion entre les deux signaux captés par les deux microphones du dispositif expérimental.

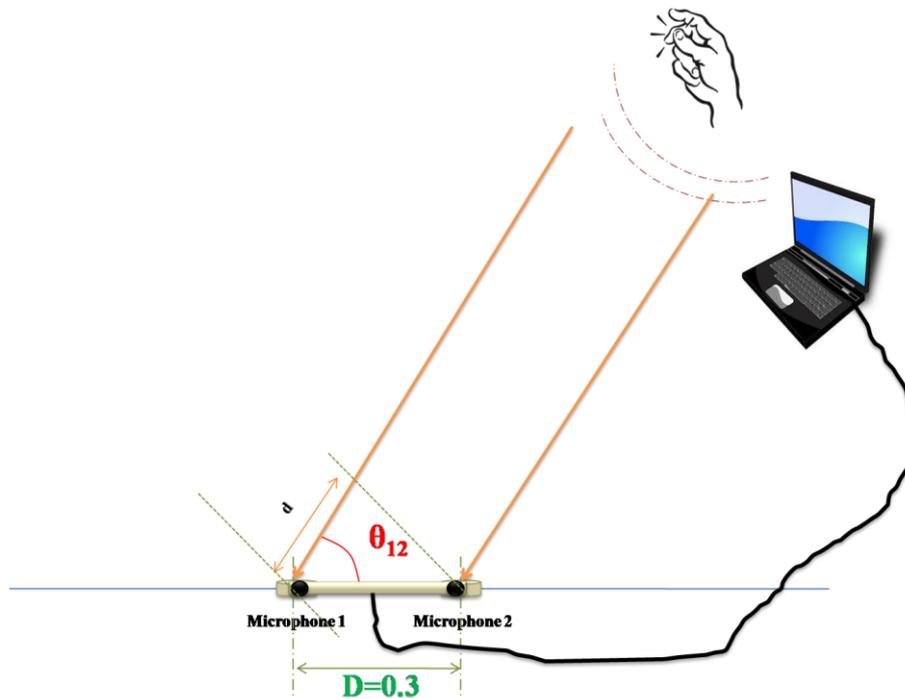


Figure 6: Exemple d'expérimentation de la méthode développée

Une fois que le maximum de l'intercorrélacion entre s_1 et s_2 est déterminé (retard τ entre ces deux signaux), nous pouvons déduire l'endroit de ce maximum en appliquant la fonction d'argument du maximum:

$$\tau = \text{Argmax}(C_{s_1s_2}) \quad (7)$$

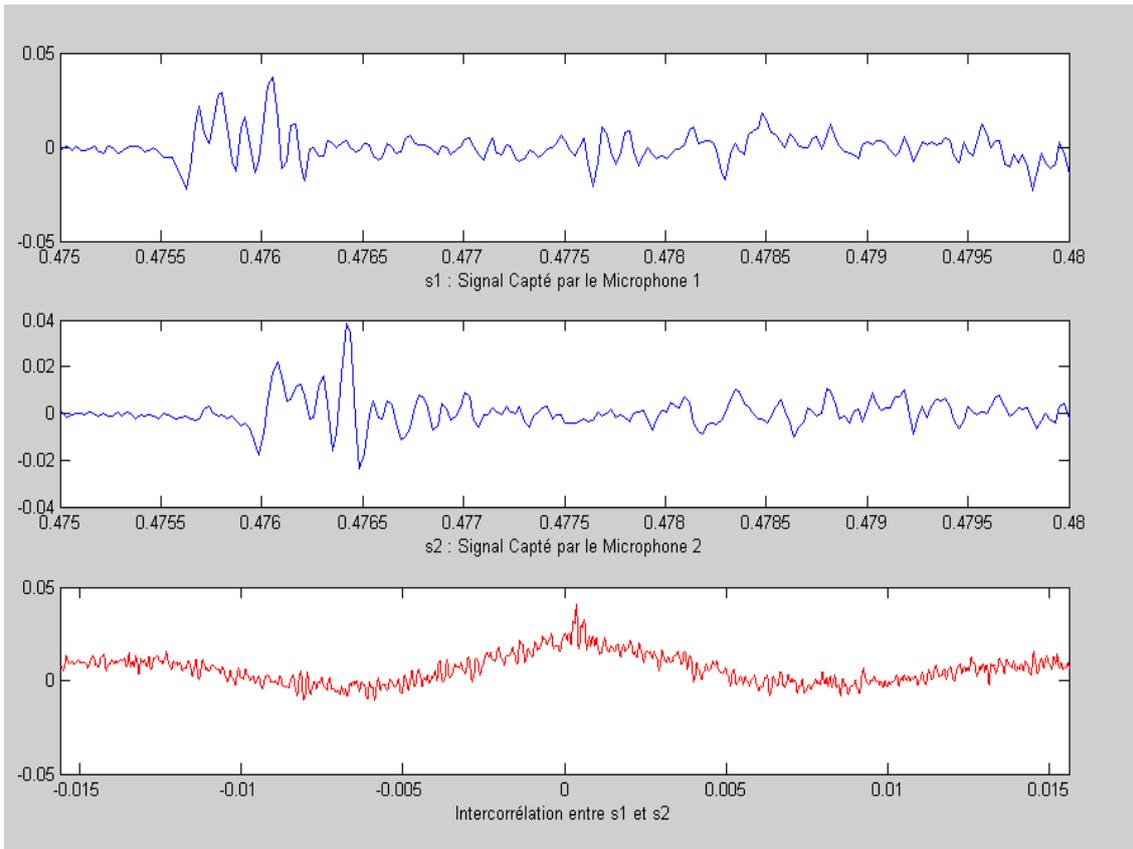


Figure 7: Intercorrélation entre deux signaux captés par les deux microphones du dispositif expérimental

3.4.PERFORMANCES DE LA METHODE PROPOSEE

Les performances de la méthode d'estimation de θ proposée ont été analysées en évaluant l'erreur E commise sur l'estimation de θ .

$$E = |\theta - \hat{\theta}| \quad (8)$$

Cette erreur est calculée en faisant varier la variance du bruit blanc additif gaussien BBAG de 10 dB à -10dB par pas de -1 dB.

Pour que les estimations que nous réalisons soient correctes, nous avons moyenné E sur $N_{est} = 200$ estimations de différents θ . Les N_{est} retards sont obtenus à partir de N_{est} différentes valeurs de θ tirées de façon aléatoire dans l'intervalle $]0, \pi[$.

Le rapport signal sur bruit (RSB) est un indicateur sur la qualité de transmission d'une information. Il représente le rapport des puissances entre le signal d'origine et le bruit additif :

$$RSB = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{bruit}} \right) \quad (9)$$

Avec P_{signal} = puissance du signal original et P_{bbg} = puissance du bruit additif

Soit bbg_{init} un bruit blanc gaussien initial de moyenne nulle et de variance 1.

$$bbg_{init} = \text{randn}(1, N_{est}) \quad (10)$$

Nous voulons bruite le signal original avec un bruit blanc gaussien bbg de moyenne nulle et de variance σ^2 tel que : $bbg = \sigma \times bbg_{ir}$

$$P_{bbg} = \sigma^2 \times P_{bbgir} ,$$

$$\text{Or } RSB = 10 \times \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{bbg}} \right)$$

$$\text{D'où : } \sigma^2 = \frac{P_{signal}}{P_{bbginit}} \times 10^{-\frac{RSB}{10}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{P_{signal}}{P_{bbginit}} \times 10^{-\frac{RSB}{10}}} \quad (11)$$

La variation de l'erreur pour différentes valeurs du RSB est donnée par la courbe suivante :

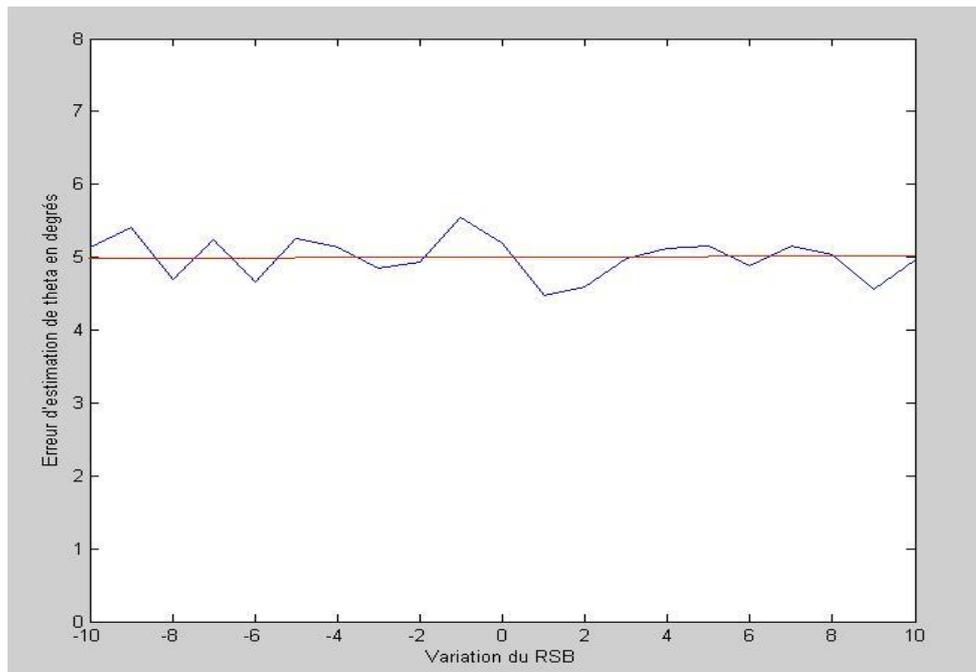


Figure 8: Variation de l'erreur d'estimation de θ en fonction du RSB (en degrés)

Comme nous pouvons le remarquer, l'erreur moyenne théorique d'estimation est de 5° ce qui est considérée comme une bonne estimation pour notre cas.

4. EXPERIMENTATION

Afin de valider la méthode que nous avons proposée, nous avons conçu une barre équipée de deux microphones séparés par une distance $D=30\text{cm}$.

Nous avons ensuite développé une application MATLAB (fig 9) qui pour différentes valeurs de D_s (distance entre la source sonore et le réseau de capteurs) et de directions d'arrivée théoriques, calcule l'angle θ .

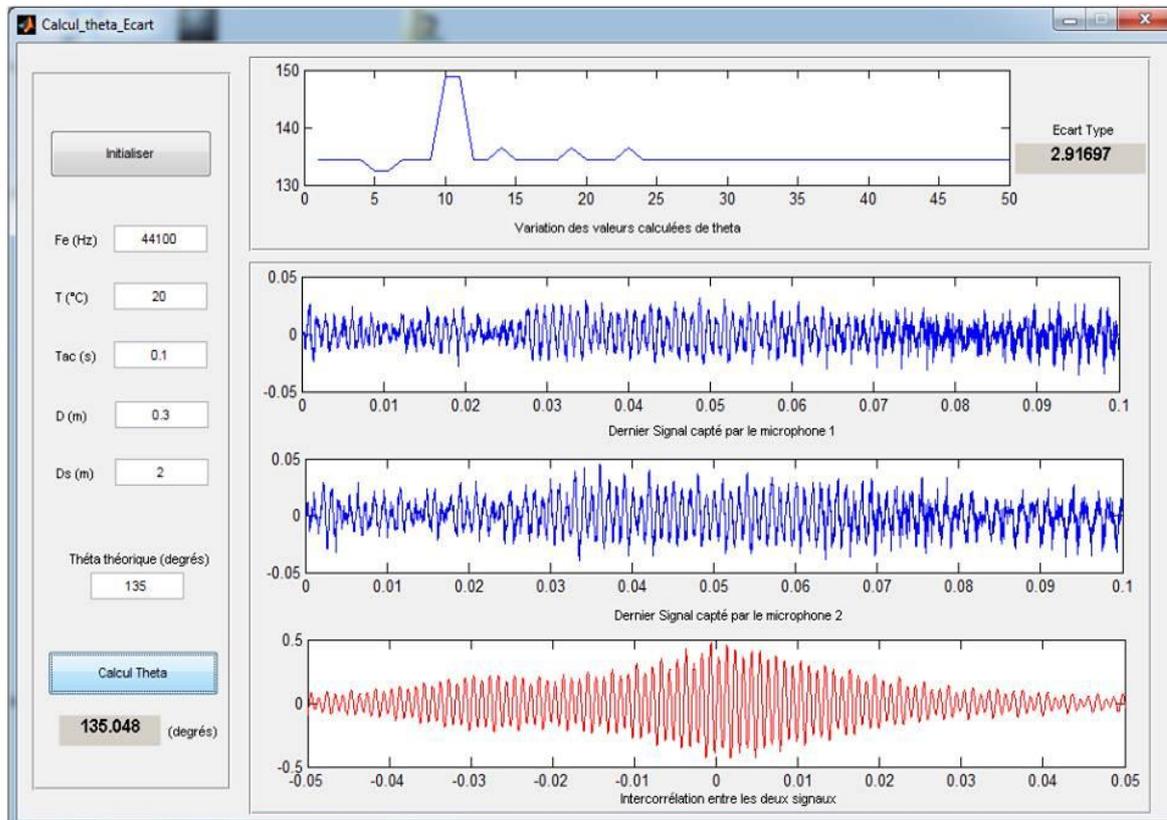


Figure 9: Calcul de la direction d'arrivée d'une source sonore

Pour que les calculs que nous réalisons soient corrects, nous avons moyenné l'angle θ sur 50 itérations (Fig. 10). Pour chacune des 50 estimations de l'angle θ , nous avons calculé l'écart-type (Cf. Tableau 2).

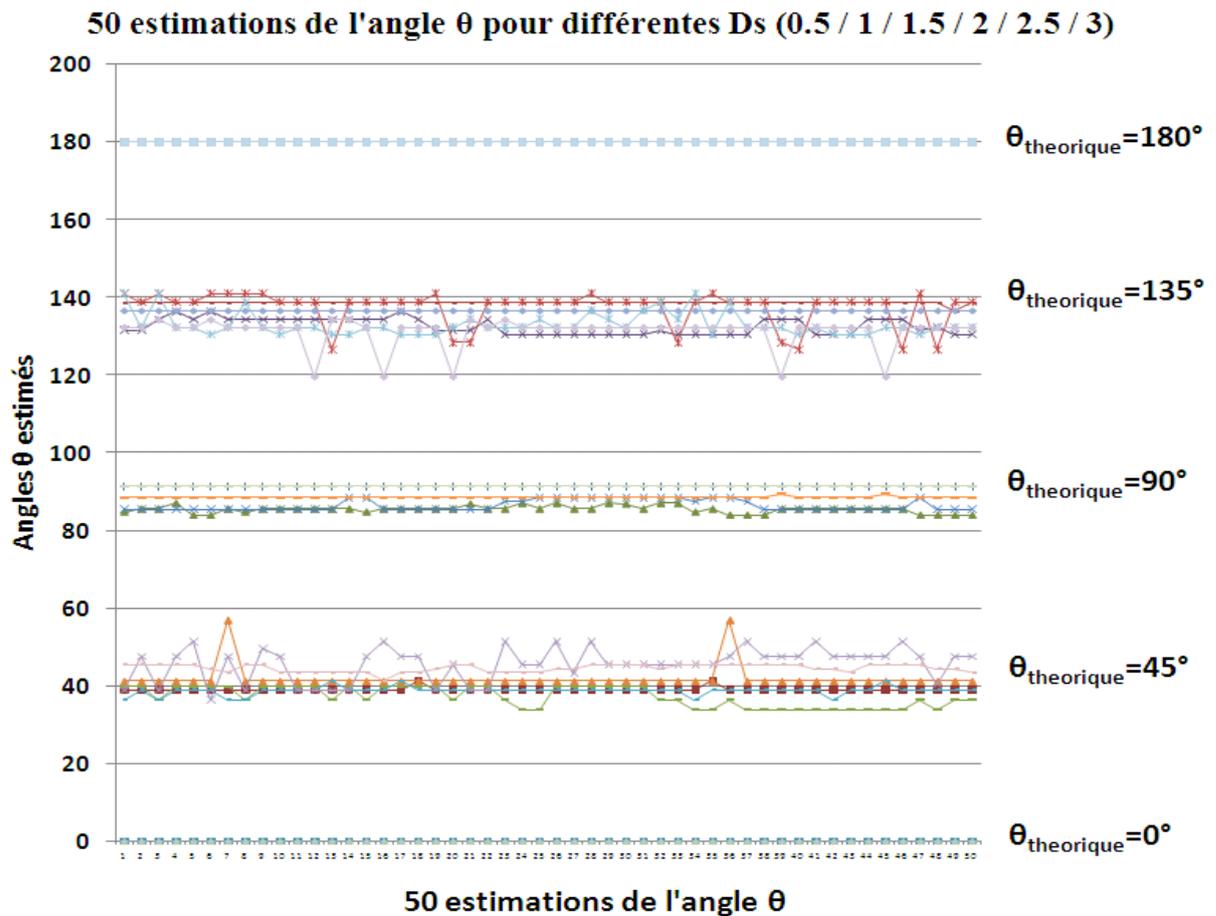


Figure 10: 50 estimation de l'angle θ pour différentes valeurs de Ds

Nous avons choisi $F_e=44100\text{Hz}$. En effet, selon le théorème d'échantillonnage de Nyquist-Shannon [12], l'échantillonnage d'un signal exige une fréquence d'échantillonnage supérieure au double de l'écart entre les fréquences minimale et maximale qu'il contient ($22\text{KHz} - 22\text{Hz}$).

Nous avons fait varier Ds (0.5 – 1 – 1.5 – 2 – 2.5 – 3 m). Pour cinq positions théoriques de l'angle θ ($0^\circ - 45^\circ - 90^\circ - 135^\circ - 180^\circ$), nous avons obtenu une erreur moyenne d'estimation de la direction d'arrivée de 3° , ce qui est considéré comme bon.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant (pour $f_c = 44100\text{Hz}$ et $D=0.3\text{m}$) :

Ds	Angle théo.	Angle estimé	Erreur (degrés)	Ecart type des 50 estimations de l'angle θ
0.5	0	0	0	0
	45	39,03	5,97	4,57E-01
	90	85,40	4,60	9,34E-01
	135	132,59	2,41	2,08E+00
	180	180	0	0
1	0	0	0	0
	90	91,49	1,49	4,31E-14
	135	138,71	3,71	3,12E-01
	45	37,32	7,68	2,62E+00
	180	180	0	0
1.5	0	0	0	0
	45	41,88	3,12	3,12E+00
	90	86,52	3,48	1,37E+00
	135	137,42	2,42	4,46E+00
	180	180	0	0
2	0	0	0	0
	45	38,79	6,21	1,01E+00
	90	88,55	1,45	1,98E-01
	135	136,55	1,55	1,72E-13
	180	180	0	0
2.5	0	0	0	0
	45	45,68	0,68	4,34E+00
	135	133,10	1,90	2,94E+00
	180	180	0	0
3	0	0	0	0
	45	44,66	0,34	1,06E+00
	90	91,49	1,49	4,31E-14
	135	131,34	3,66	4,04E+00
	180	180	0	0

Tableau 2: Résultats des expérimentations

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce papier, un système de localisation d'une source sonore par un réseau de deux capteurs a été introduit. Ce système fait appel à la méthode du calcul du TDOA des signaux sonores reçus par chaque paire de microphones. Un premier travail a été réalisé sur une expérimentation à partir d'un module groupant 2 microphones que nous avons réalisée, associée à un algorithme de traitement développé sous Matlab. Les résultats obtenus sont jugés satisfaisants.

Un second travail est en cours de préparation. La localisation de la source sonore sera réalisée par un réseau de deux couples de microphones. L'objectif à atteindre est de pouvoir estimer non seulement la direction d'arrivée de la source sonore mais aussi sa position géographique (cf figure 11).

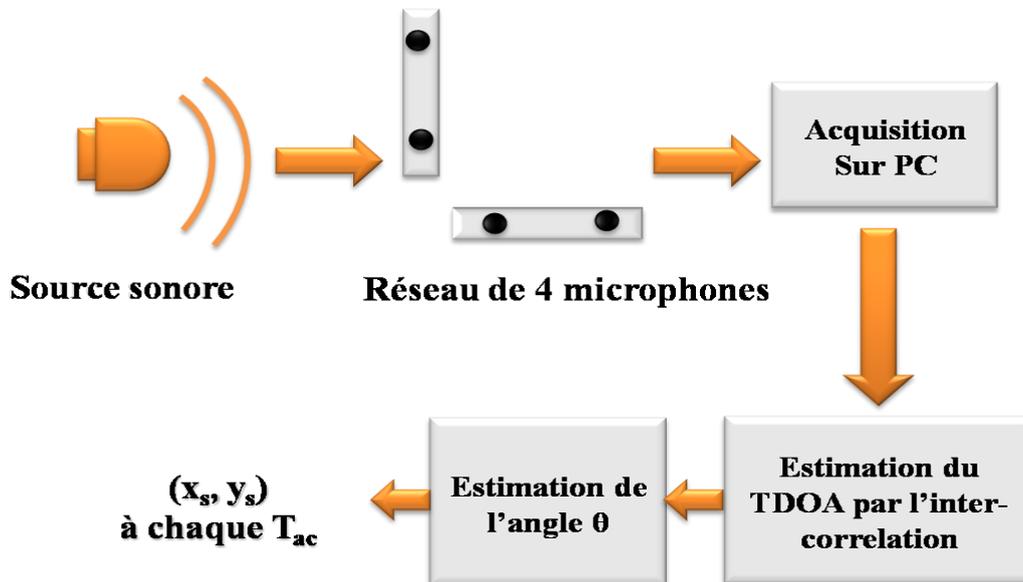


Figure 11: Localisation d'une sonore par un réseau de 4 microphones

Un autre axe de recherche est en cours d'étude : l'ajout d'un module qui assure le débruitage de la source sonore après son acquisition. En effet, les signaux sonores que nous traitons sont des signaux bruités, ce qui peut affecter la précision de notre méthode. Outre cela, dans notre étude, nous avons supposé que les signaux n'ont pas subi d'effet Doppler ce qui n'est pas toujours le cas. Enfin, nous envisageons de travailler de façon conjointe sur une localisation radio, afin de proposer un système de localisation hybride radio et audio tirant avantage des deux systèmes en fonction de la position de la personne.

6. REFERENCES

- [1] HAROLD et al., Harold L. Hawkins, Teresa A McMullen, Arthur N. Popper, Richard R. Fay. Auditory Computation. Springer Handbook of Auditory Research. Springer 1996, pages 334-336., 1996.
- [2] VALIN et al., Valin, J.-M.; Michaud, F.; Hadjou, B.; Rouat, J "Localization of Simultaneous Moving Sound Sources for Mobile Robot using a Frequency-Domain Steered Beamformer Approach, ICRA '04. 2004 IEEE International Conference, Volume: 1., 2004.
- [3] YEOUN et al., Ji-Yeoun Lee; Su-young Chi; Jae-Yeun Lee; Minsoo Hahn;

- Young-Jo Cho, "Real-time sound localization using time difference for human robot interaction", World Congress, Volume # 16 | Part# 1., 2005.
- [4] HÖRNTEIN et al., Jonas Hörnstein, Manuel Lopes, José Santos-Victor, "Sound Localization for Humanoid Robots -Building Audio-Motor Maps based on the HRTF", International Conference on Intelligent Robots and Systems, China., 2006.
- [5] LIU et al., H. Liu, M. Shen Continuous Sound Source Localization Based on Microphone Array for Mobile Robots. IEEE International Conference on IROS, Taipei, Taiwan, 2010 :4332-4339., 2010.
- [6] LI et al., Xiaofei Li, Miao Shen, Wenmin Wang and Hong Liu, "Real-time Sound Source Localization for a Mobile Robot Based on the Guided Spectral-Temporal Position Method", International Journal of Advanced Robotic Systems., 2012.
- [7] VACHER et al., M. VACHER, F. PORTET, A. FLEURY et N. NOURY : Challenges in the processing of audio channels for ambient assisted living. In 12th International Conference on E-Health Networking, Applications and Services, Lyon, France, 1-3 Jul. 2010., 2010.
- [8] Coleman, Coleman P. An analysis of cues to auditory depth perception in free space. Psychol. Bull. 60:302–315., 1963.
- [9] BALLOU et al., G. Ballou, Handbook for Sound Engineers: The New Audio Cyclopedia (Howard Sams, Indianapolis, IN), pp. 14-15., 1987.
- [10] HELLER, François HELLER, "Écoute de contrôle au casque en prise de son multicanal", Mémoire de fin d'études, École Nationale Supérieure Louis Lumière., 2013.
- [11] GU et al., Hung-Yan Gu, Shan-Siang Yang, A sound-source localization system using three-microphone array and crosspower spectrum phase, Machine Learning and Cybernetics (ICMLC), 2012 International Conference on (Volume:5)., 2012.
- [12] BERCHER, Jean-François Bercher, TF, Dirac, convolution, et tutti quanti, École Supérieure d'Ingénieurs en Électrotechnique et Électronique., 2001.

Etat de l'art des méthodes d'accès multi-canal pour les réseaux locaux sans fil

Mahamat Habib SENOUSSEI HISSEIN, Adrien VAN DEN BOSSCHE, Thierry VAL

Université de Toulouse, UT2J, CNRS-IRIT

IUT Blagnac, 1 place Georges Brassens BP60073 31703 Blagnac, France

¹ *Mahamat.Senoussi@irit.fr, vandenbo@irit.fr, val@irit.fr*

Résumé : Au cours de cette dernière décennie, on constate un grand progrès dans le domaine des réseaux locaux sans fil. Leur déploiement se manifeste dans plusieurs domaines d'applications. Cependant, ces applications font face à plusieurs obstacles dus à une gestion difficile à l'accès au médium. Ceci mène le plus souvent à certains problèmes tels que : les collisions, la dégradation du débit et l'augmentation des délais. Pour surmonter ces défis, des travaux de recherches se sont focalisés sur de nouvelles méthodes d'accès multi-canal qui réduisent la contention ainsi que la probabilité de collision. Plusieurs transmissions peuvent s'effectuer simultanément dans une même zone de transmission sans chevauchement, améliorant ainsi considérablement le débit. Toutefois, l'idée d'utiliser plusieurs canaux suscite aussi divers problèmes tels que : la station cachée multi-canal, la surdité et la partition logique. Nous présentons les principales méthodes d'accès multi-canal généralement évoquées dans les travaux de la communauté scientifique. Elles se classent en deux catégories principales : (1) le rendez-vous unique comme le *split phase*, le canal dédié et le saut commun ; (2) le rendez-vous parallèle tel que SSCH (*Slotted Seeded Channel Hopping*) et McMAC (*Parallel Rendezvous Multi-Channel MAC Protocol*). Nous pouvons ensuite déduire que pour une topologie multi-saut que nous envisageons de réaliser avec un coût radio très réduit, certaines de ces méthodes ne sont pas adaptées pour le prototypage mono-interface souhaité.

Mots clés : Réseaux sans fil, méthodes d'accès, multi-canal

1. INTRODUCTION

Les méthodes d'accès multi-canal permettent aux différents nœuds de transmettre simultanément dans une même zone de portée sur des canaux distincts. Le parallélisme augmente le débit et peut potentiellement réduire le délai et la contention. Cependant, le recours à plusieurs canaux ne va pas

sans poser de problèmes. La majorité des interfaces de communication sans fil fonctionne en semi-duplex : soit elles sont en mode émission, soit elles sont en mode réception. L'interface radio est capable de commuter dynamiquement sur les canaux, mais elle ne peut transmettre et écouter sur un canal radio en même temps. De plus, quand un nœud est à l'écoute sur un canal particulier, il ne peut pas entendre la communication qui a lieu sur un autre canal. On fait face également aux défis classiques du protocole d'accès au médium monocanal à savoir : le problème du terminal caché, de goulot d'étranglement ainsi que d'autres problèmes tels que, la surdité et la partition logique. Nous présentons brièvement les principales méthodes d'accès multi-canal existantes, ainsi que les avantages et inconvénients de chacune d'elles.

2. ETAT DE L'ART ET PROBLEMATIQUE

Le réseau sans fil ad-hoc est composé d'un groupe d'hôtes mobiles équipés chacun d'une carte d'interface sans fil et peut être déployé rapidement et sans une infrastructure quelconque établie ou une administration centralisée. Pour des raisons des limitations telles que la puissance radio et l'utilisation de différents canaux, un mobile peut ne pas être en mesure de communiquer directement avec d'autres hôtes dans un mode mono-saut. Dans de tels cas, un scénario multi-saut se produit, où les paquets envoyés par un hôte source doivent être relayés par un ou plusieurs hôtes intermédiaires avant d'atteindre leur destination. Nous rappelons que la principale problématique de ces types de réseaux est la gestion de la méthode d'accès au médium. Cette dernière a été la cible de plusieurs travaux de recherche mais, le plus souvent dans un contexte mono-canal. Dernièrement, des travaux ont abordés le cas multi-canal et déjà certains résultats pourraient servir de base afin d'étendre les capacités/les performances du réseau/du système/de la méthode d'accès au médium/etc. (ne garder que ce que tu souhaites). Il est aussi primordial de penser au cas multi-canal et multi-saut, puisque ces protocoles sont souvent utilisés dans un cadre mono-saut.

Plusieurs protocoles MAC multi-canal pour les réseaux ad-hoc sans fil ont été proposés, puisqu'ils permettent aux différents nœuds de transmettre parallèlement sur des canaux distincts sans collision, ce qui permet d'augmenter le débit et potentiellement réduire les délais de transmission. Cependant, la plupart des protocoles proposés sont des protocoles à rendez-vous unique qui sont soumis à la congestion du canal de contrôle. En général, les différents protocoles se distinguent par la manière dont les nœuds du réseau établissent les rendez-vous ou en d'autres termes, comment les nœuds négocient les canaux à utiliser pour la transmission des données.

Le premier protocole MAC multi-canal qui a été présenté dans [1] et [2] est nommée DCA (Dynamic Channel Assignment) ; il utilise deux interfaces : une interface pour les échanges des trames de contrôles, l'autre pour les transferts de données. Dans ce protocole, chaque nœud maintient une liste de canaux libre (Free Channel List FCL) pour enregistrer les canaux de données libre.

Avec DCA, lorsqu'un nœud source a des données à émettre, il émet une trame RTS (Request To Send) incluant la liste des canaux disponibles (FCL) qui ne sont pas utilisés par ses voisins à un saut. Après avoir reçu le RTS, le nœud destinataire compare la FCL reçu avec sa propre FCL et sélectionne un canal libre commun. Ensuite, le nœud destinataire indique au nœud source et à ses voisins, le canal de données sélectionné en envoyant un CTS (Clear to Send). En recevant le CTS, chaque nœud informe également ses voisins du canal sélectionné en envoyant une trame RES (Reservation). On remarque que par rapport à la norme IEEE 802.11 DCF, le protocole DCA nécessite une trame de contrôle supplémentaire RES pour réserver le canal sélectionné.

Dans [1], [3] et [4] les auteurs classifient les protocoles MAC multi-canal en deux catégories : le rendez-vous unique (à savoir le canal de contrôle dédié), le saut commun, le Split Phase, et les protocoles de rendez-vous parallèles comme par exemple le SSCH (Slotted Seeded Channel Hopping) [5] et McMAC (Parallel Rendezvous Multi-Channel MAC Protocol) [6]. Les protocoles MAC de rendez-vous uniques ont un canal de contrôle commun appelé également canal de rendez-vous. Les nœuds peuvent échanger les trames de contrôle et négocient les canaux de transmission de données sur ce canal. Ce canal de contrôle, cependant, peut devenir un goulot d'étranglement au fur et à mesure que le trafic de données augmente.

Les protocoles MAC à rendez-vous parallèles, par contre, n'ont pas besoin d'un canal de contrôle commun. L'idée principale de ces protocoles est que les nœuds sautent entre les différents canaux en fonction de leurs propres séquences et les informations de contrôle sont échangées sur différents canaux. Plusieurs rendez-vous peuvent alors s'établir simultanément ; les nœuds arrêtent leurs sauts quand ils concluent des accords et commencent à transmettre des données et, ensuite, reprennent leurs séquences de saut à la fin de la transmission.

Dans [3], Crichigno, J., et al. comparent les protocoles à rendez-vous unique et parallèle en terme de nombre de canaux et de débit ; d'après leur étude et en considérant que tous les nœuds sont équipés d'une seule interface radio, ils déduisent que, les protocoles de rendez-vous parallèles tels que McMAC et SSCH sont plus performant que les protocoles de rendez-vous unique puisqu'ils éliminent le goulot d'étranglement du canal de contrôle.

Dans [7], El Fatni et al. proposent deux solutions MAC multi-canal afin de pallier au problème de goulot d'étranglement du canal de contrôle. L'un des protocoles est appelé PSP-MAC (Parallel Split Phase multi-channel MAC) qui exploite le split phase en appliquant le parallélisme pendant la phase de contrôle. L'objectif principal est d'exploiter tous les canaux durant cette phase. Le deuxième protocole proposé est PCD-MAC (Parallel Control and Data transfer multi-channel MAC), il exploite le concept du rendez-vous multiple et du canal de contrôle dédié. Ce protocole exclut le concept de deux phases par cycle. Malheureusement, ces deux propositions ne prennent pas en compte les topologies multi-saut.

3. INTERETS DE L'APPROCHE MULTI-CANAL PAR RAPPORT AU MONO-CANAL

Dans une transmission mono-canal, le canal de transmission de données est une ressource partagée entre plusieurs nœuds dans une même zone de portée de communication. Les nœuds vont alors concourir pour accéder à cette ressource ; par conséquent, des collisions pourront parfois se produire, affectant ainsi le débit et le délai. Lorsque plusieurs canaux sont utilisés, les transmissions concurrentes dans la même zone de portée peuvent se dérouler parallèlement sur les différents canaux disponibles, ce qui améliore donc les performances en termes de débit et du délai. Comme le montre la figure 1, les trois transmissions se produisent simultanément sur les trois canaux et dans un seul slot de temps, ce qui augmente trois fois le débit par rapport au système mono-canal et, réduit aussi le délai de deux slots de temps.

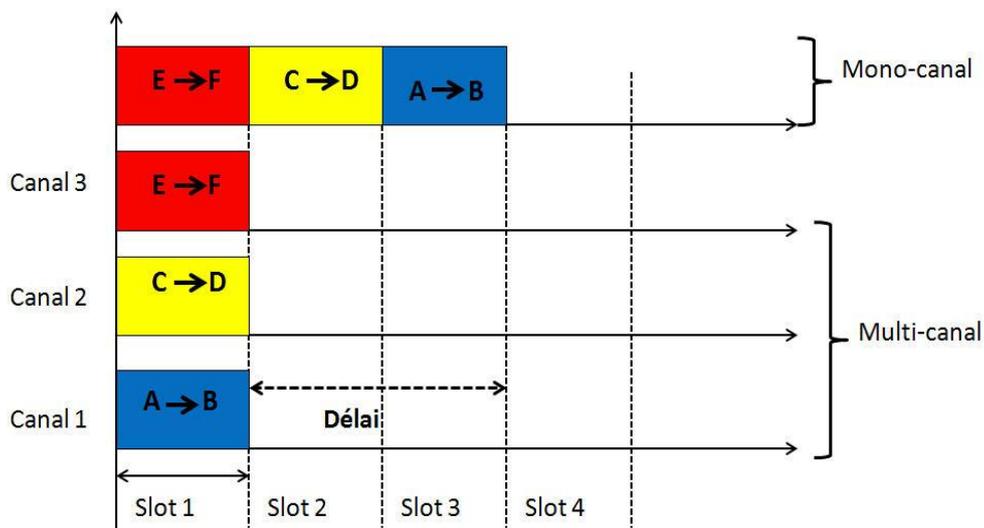


Figure 1 : intérêt d'un système multi-canal par rapport à un système mono-canal

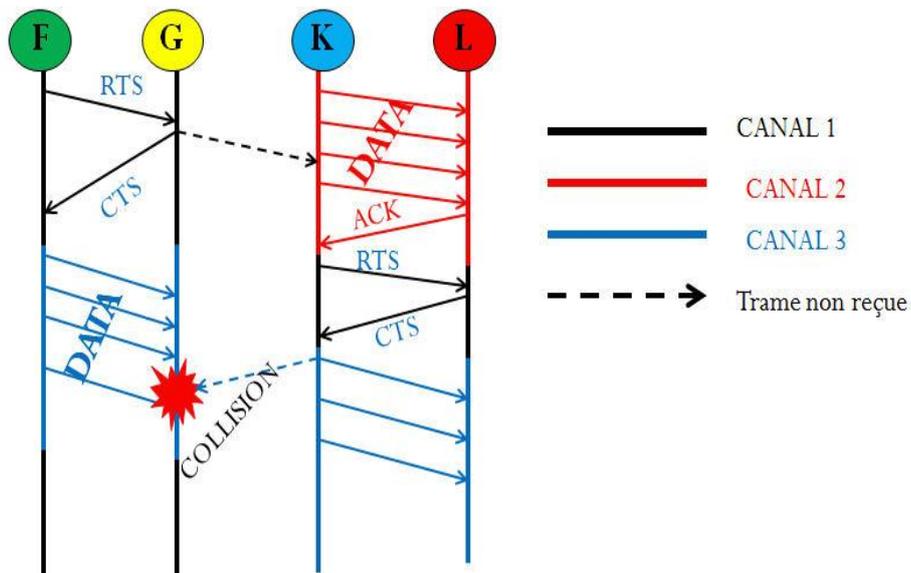
4. LES PROBLEMES MULTI-CANAL

Les méthodes d'accès multi-canal sont confrontées à plusieurs défis majeures, dont certains sont quasiment les mêmes que leurs homologues mono-canal, comme par exemple le problème du terminal caché, ou le goulot d'étranglement du canal de contrôle ; d'autres par contre sont propre au contexte multi-canal, tels que la surdité, le problème de diffusion (broadcast) et la partition logique.

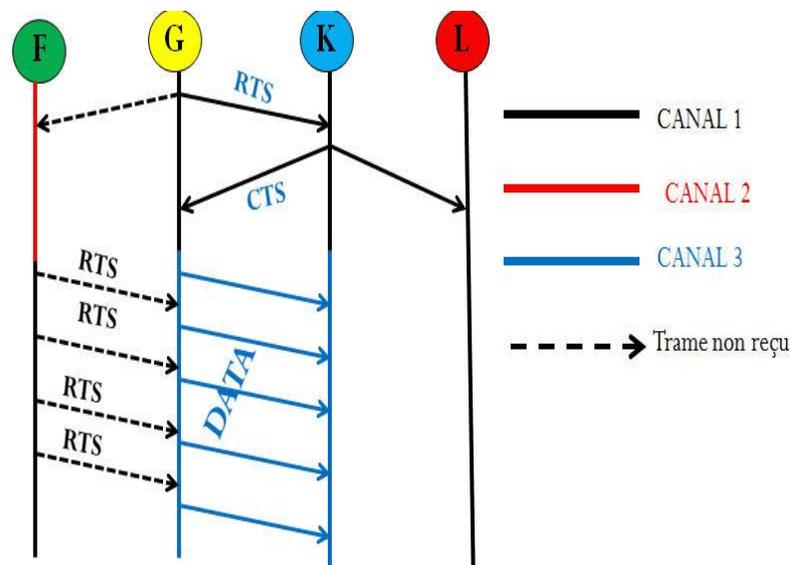
La grande difficulté pour l'accès multi-canal porte sur le choix du canal à utiliser et le partage des canaux disponibles par les nœuds dans un contexte repartitionné. Dans le contexte multi-canal, pour qu'un nœud transmette des données, il doit nécessairement connaître le canal sur lequel son récepteur est prêt à recevoir les données envoyées [7]. Par conséquent les protocoles MAC multi-canal nécessitent un autre mécanisme qui va se charger de l'allocation des canaux, c'est-à-dire de décider quel canal sera utilisé par tels nœuds est à tel moment. Ce mécanisme a pour rôle principal de mettre en place des méthodes pour le choix d'un canal par les nœuds. Ainsi, l'émetteur et le récepteur doivent se trouver finalement sur le même canal et en même temps pour les transmissions des données. C'est ce que nous appelons l'établissement des rendez-vous par les nœuds.

Le problème du terminal caché [1] [3] [7] [9] se produit très souvent lors que les nœuds sont équipés d'une seule interface radio, ce qui entraîne un manque d'information sur l'état de certains canaux. Ceci provoquera des collisions au niveau des récepteurs.

Comme on peut le remarquer sur la figure 2 (a), après avoir échangé des trames des contrôles RTS et CTS sur le canal 1 (canal de contrôle par défaut), les nœuds K et L décident d'utiliser le canal 2 ; au même moment F et G décident d'utiliser le canal 3. K et L ne sont pas conscients du choix de canal de F et G, et décident d'utiliser le canal 2, provoquent alors une collision au niveau du récepteur G.



(a) Problème du terminal caché



(b) Problème de surdité

Figure 2 : problèmes multi-canal du terminal caché et de surdité

Le problème de surdité [1 ; 3 ; 7 ; 9] survient par manque d'informations du canal sur lequel se trouve le nœud destinataire. Ainsi, la trame de contrôle sur le canal de contrôle rate sa destination, occupée sur un autre canal. Ce problème peut se voir sur la figure 2 (b). Après avoir échangé des trames de contrôle sur le canal 1, G et K commutent sur le canal 2 pour transmettre des données. N'ayant pas d'information sur le fait que le nœud G est en activité sur le canal 2, le nœud F envoie plusieurs trames de contrôle RTS à G sur le canal 1 (canal de contrôle par défaut) mais ne reçoit aucune réponse de la part de G ; par conséquent F conclut à tort que le lien entre F et G est rompu et abandonne la transmission de données par la suite. Ces trames émises surchargent le canal de contrôle inutilement.

Le problème de partition logique est un autre cas qui se manifeste lorsqu'une partie du réseau s'isole des autres nœuds par manque d'informations sur l'utilisation des canaux [7 ; 10].

La diffusion est une activité importante dans les réseaux Ad-hoc [3 ; 10 ; 11], surtout lorsqu'il faut diffuser une trame pour coordonner tous les nœuds dans une même zone de portée. Cette activité de diffusion est assez simple dans une méthode d'accès mono-canal puisque tous les nœuds écoutent sur le même canal. Cependant, dans un contexte multi-canal, ce phénomène est souvent complexe du fait que les nœuds commutent sur différents canaux pour transmettre ou recevoir des données, par conséquent, ils peuvent manquer facilement une trame de diffusion (qui généralement n'est pas acquittée donc non sécurisée et ainsi définitivement perdue pour eux).

Dans [11], pour résoudre ce problème, les auteurs utilisent une technique de diffusion d'une balise sur le canal de contrôle. Tous les nœuds qui ont reçu cette balise doivent attendre sur ce canal pour recevoir une trame de diffusion, même si le nœud a déjà négocié un autre canal (rendez-vous) pour transmettre des données.

Pour trouver des solutions aux différents problèmes multi-canal que nous venons d'évoquer, la plupart des recherches ont proposé quatre approches principales, mais plusieurs n'ont abordé le problème que dans un contexte mono-saut.

5. LES DIFFERENTES APPROCHES PROPOSEES

Le canal de contrôle dédié [1 ; 3 ; 4 ; 12] est un protocole de rendez-vous unique, chaque nœud est muni d'une interface de contrôle et d'une interface de données. L'interface de contrôle est fixée de façon permanente sur un canal commun (appelé canal de contrôle) pour l'échange des trames de contrôle. L'interface de données peut basculer entre les canaux restants (appelés canaux de données) pour la transmission de données. L'idée principale du protocole est d'isoler les trames de contrôle de celles de données en affectant un canal fixe pour échanger des trames de contrôle RTS et CTS, et pour éviter ainsi les interférences entre les trames de contrôle et les paquets de données. Plusieurs travaux considèrent le protocole multi-interface, alors qu'El Fatni et al. [12] le considèrent parmi les protocoles mono-interfaces multi-canal.

Le principe de fonctionnement du protocole est le suivant : lorsqu'une paire de nœuds A et B veut échanger des données, l'émetteur A envoie une trame RTS qui contient une liste des canaux libres dans sa zone de portée sur le canal de contrôle. Le récepteur B choisit un canal libre commun parmi les canaux de la liste envoyés par A en répondant par une trame CTS, qui comprend le canal sélectionné pour le transfert de données. A et B

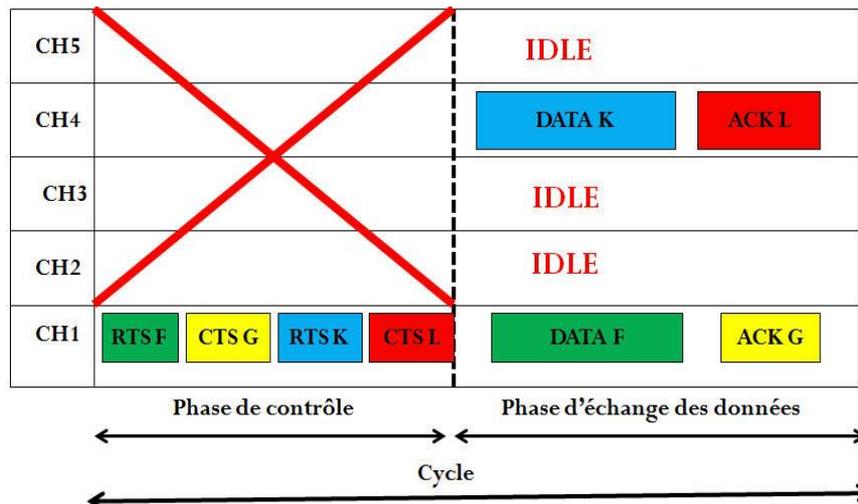


Figure 4 : principe de fonctionnement de *split phase*

Au début de chaque cycle qui commence par une phase de contrôle, tous les nœuds commutent sur un canal commun, le canal de contrôle ou canal de rendez-vous. On remarque ici que les nœuds F/G et K/L tentent de conclure des rendez-vous en échangeant des trames de contrôle RTC/CTS pendant la phase de contrôle sur le canal CH1 (le canal de contrôle par défaut). Les nœuds F et K incluent une liste des canaux préférés ou PCL (Preferable Channel List) quand ils envoient les trames de contrôle RTS. Les nœuds G et L sélectionnent chacun un canal de la liste de leur émetteur en renvoyant un CTS. D'après la figure 4 par exemple, à partir des trames RTS et CTS, le voisin de G, soit le nœud K, sait que CH1 sera occupé pendant la phase d'échange de données suivante. Par conséquent, lorsque le nœud K envoie un RTS au nœud L, il n'inclut pas le canal CH1 dans sa liste des canaux préférés, mais plutôt, il sélectionne un autre canal disponible, comme on le voit sur la figure, le canal CH4. Dans le cas où l'émetteur et le récepteur ne trouvent pas un canal commun, la négociation d'un canal sera alors reporté au prochain cycle [12]. Lorsqu'un nœud est inactif pendant la phase de contrôle, il restera inactif pendant la seconde phase de données [12].

L'avantage de cette approche, puisque les nœuds échangent des listes des canaux, est de permettre d'atténuer le problème multi-canal du terminal caché et de la surdité. Par comparaison au protocole du canal de contrôle dédié, ce protocole exploite tous les canaux y compris le canal de contrôle pendant la phase de données. Mais son principal inconvénient est qu'une synchronisation entre les nœuds est nécessaire. De plus, le protocole n'exploite pas tous les canaux disponibles pendant la phase de contrôle, un seul canal de contrôle est utilisé pendant cette phase, donc en cas de forte charge de trafic, il devient un goulot d'étranglement. On remarque aussi qu'au cours de cette phase, une bande passante importante est gaspillée. Dans [12], le pourcentage de la bande passante gaspillé est calculé comme

suit : soient L_{cycle} : la longueur du cycle ; L_{cp} : la longueur de la phase de contrôle ; N : le nombre de canaux disponibles ; Prc : le pourcentage de la bande passante gaspillée pendant chaque cycle, est alors :

$$Prc = \frac{N - 1}{N} * \frac{L_{cp}}{L_{cycle}} * 100$$

Il est également complexe d'estimer la longueur appropriée de la phase de contrôle, par contre celle de la phase de donnée dépend du nombre de négociations établies dans la phase précédente. Une petite longueur est la source de goulot d'étranglement, bien évidemment une longueur plus large est un gaspillage de la bande passante [12]. Ainsi, la longueur de la phase de contrôle reste principalement le paramètre le plus délicat de cette approche.

Une autre approche de protocole MAC basé sur le rendez-vous unique est le saut commun [1] [3] [4] [12]. Les nœuds sont équipés d'une seule interface et le temps est divisé en intervalles de temps ou slots. Chaque slot est égal au moins à la durée nécessaire pour échanger une trame de contrôle. Tous les nœuds suivent une séquence commune de saut à travers tous les canaux et de manière synchrone. Le but principal de cette approche est d'exploiter tous les canaux des données. Ainsi, les nœuds qui veulent échanger des données arrêtent de sauter de canal en canal et restent sur le même pour transmettre après l'échange des trames de contrôles RTS/CTS ; tandis que les autres nœuds continuent de suivre la séquence de saut. Après avoir fini leur transmission, les nœuds se resynchronisent avec les autres et continuent de suivre la séquence de saut commune.

Par comparaison avec les approches précédentes, le protocole de saut commun permet d'exploiter tous les canaux des données d'où son avantage mais, l'inconvénient majeur est qu'il nécessite un strict mécanisme de synchronisation.

Contrairement au saut commun, le protocole de saut indépendant permet plusieurs rendez-vous simultanément sur les différents canaux. Les nœuds sont équipés d'une seule interface et commutent sur les canaux en fonction de leurs propres séquences. Le temps est composé en séquences de cycle et chaque cycle est divisé en plusieurs slots de temps. Les nœuds itèrent alors sur leurs propre séquence de saut et se chevauchent au moins pendant un slot de temps par cycle, ce qui leur permet d'échanger et d'apprendre leurs séquences les uns des autres. Dans [5], pour éviter la partition du réseau, on exige que les nœuds sautent sur un canal prédéterminé après avoir itéré par tous les canaux de leurs propres séquences. Tel n'est pas le cas du protocole proposé dans [6] pour lequel les nœuds se chevauchent au cours de leurs séquences de sauts où chaque nœud annonce sa séquence de saut.

Pour le protocole SSCH (Slotted Seeded Channel Hopping) [1] [3] [4] [5], lorsqu'un nœud veut émettre, il attend jusqu'à ce que sa séquence corresponde à celle de son récepteur, le transfert sera effectué alors sur des sauts successifs à la séquence du récepteur. Comme on le voit sur la figure 5, les nœuds F et G suivent chacun leur propre séquence, indiquée sur le cercle en pointillé noir. Sur le cercle en pointillé vert, on voit que les deux nœuds F et G sautent sur le canal CH3. À l'instant t6, le nœud G commence à suivre les séquences de F pour lui transmettre des données. Le transfert de données sera alors effectué sur des sauts successifs de la séquence du récepteur F.

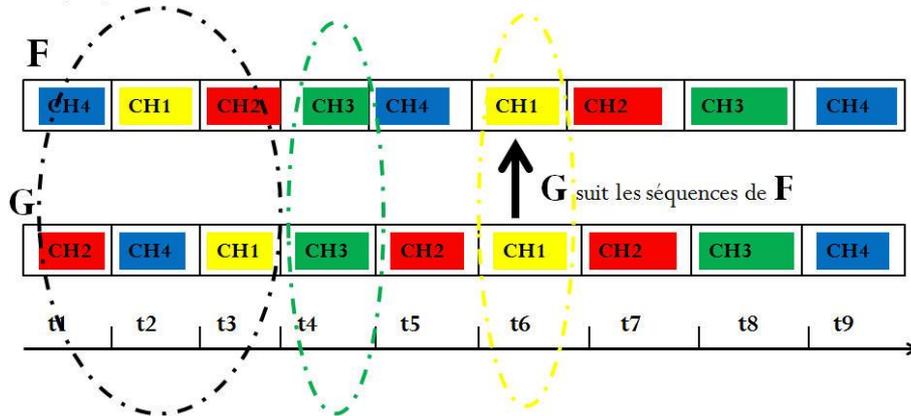


Figure 5 : principe de fonctionnement du protocole de saut indépendant (exemple du SSCH)

Le protocole McMAC (Parallel Rendezvous Multi-Channel MAC Protocol) [1] [3] [4] [6], apporte quelques corrections sur le principe de fonctionnement de SSCH afin d'éliminer le délai d'attente causé par le nœud émetteur. Pour McMAC, comme le nœud connaît déjà les séquences du récepteur, il saute sur le canal de la séquence de sauts du récepteur, et le transfert de données est entièrement réalisé sur ce canal.

Les protocoles de rendez-vous parallèles ont l'avantage d'éliminer le problème potentiel de goulot d'étranglement des approches précédentes avec une seule interface radio en permettant plusieurs rendez-vous sur différents canaux disponibles. Mais le principal inconvénient de ces protocoles est le délai de commutation pour le saut du canal. De plus, chaque nœud nécessite des mécanismes de synchronisation pour suivre la séquence de sauts des autres. La plupart des protocoles étudiés et présentés ne prennent pas en compte les aspects multi-saut et fonctionnement correctement pour la plupart uniquement dans une topologie très théorique où tout nœud est à portée de tout autre nœud.

6. CONCLUSION

Nous avons effectué une première étude bibliographique des protocoles d'accès multi-canal existants, ce qui nous a permis d'identifier les lacunes des uns et les avantages des autres, sur lesquelles, nous pourrions nous baser dans nos futurs travaux.

Nous remarquons que certes, les protocoles des méthodes d'accès MAC multi-canal ont considérablement amélioré le débit et réduit le délai, mais ces derniers ont aussi suscité d'autres problèmes. Certains sont classiques aux méthodes d'accès MAC monocanal, à savoir le problème multi-canal du nœud caché, le goulot d'étranglement... D'autres par contre sont inhérents aux MAC multi-canal, tel que le problème de surdité, le délai de commutation du canal et la diffusion (broadcast). Le problème de goulot d'étranglement a été en quelque sorte résolu mais avec un surcout radio à ne pas négliger.

Nous avons aussi remarqué que la plupart des méthodes d'accès multi-canal qui ont été proposées traitent principalement uniquement le cas des réseaux mono-saut.

Il est donc primordiale pour nous de proposer une méthode d'accès multi-canal adaptée à une topologie multi-saut, qui passe à l'échelle, que l'on pourra également prototyper et simuler afin de vérifier ses performances.

7. REFERENCES

- [1] Jeng, A. A. K., Jan, R. H., Li, C. Y., & Chen, C. (2011). Release-time-based multi-channel MAC protocol for wireless mesh networks. *Computer Networks*, 55(9), 2176-2195.
- [2] Ali, A., Huiqiang, W., Hongwu, L., & Chen, X. (2014). A Survey of MAC Protocols Design Strategies and Techniques in Wireless Ad Hoc Networks. *Journal of Communications*, 9(1).
- [3] Crichigno, J., Wu, M. Y., & Shu, W. (2008). Protocols and architectures for channel assignment in wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks*, 6(7), 1051-1077.
- [4] Mo, J., So, H. S., & Walrand, J. (2008). Comparison of multichannel MAC protocols. *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, 7(1), 50-65.
- [5] Bahl, P., Chandra, R., & Dunagan, J. (2004, September). SSCH: slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 ad-hoc wireless networks. In *Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking* (pp. 216-230). ACM.
- [6] So, W., Walrand, J., & Mo, J. (2007, March). McMAC: a parallel rendezvous multi-channel MAC protocol. In *Wireless Communications and Networking Conference, 2007. WCNC 2007. IEEE* (pp. 334-339). IEEE.
- [7] El Fatni, A., & Juanole, G. (2012, August). Split Phase Multi-channel MAC Protocols-Formal Specification and Analysis. In *Modeling, Analysis &*

Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS), 2012 IEEE 20th International Symposium on (pp. 485-488). IEEE.

[8] Jovanovic, M. D., Djordjevic, G. L., Nikolic, G. S., & Petrovic, B. D. (2011, October). Multi-channel Media Access Control for Wireless Sensor Networks: A survey. In Telecommunication in Modern Satellite Cable and Broadcasting Services (TELSIKS), 2011 10th International Conference on (Vol. 2, pp. 741-744). IEEE.

[9] So, J., & Vaidya, N. H. (2004, May). Multi-channel mac for ad hoc networks: handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver. In Proceedings of the 5th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing (pp. 222-233). ACM.

[10] Wang, M., Ci, L., Zhan, P., & Xu, Y. (2008, August). Multi-channel MAC protocols in wireless ad hoc and sensor networks. In Computing, Communication, Control, and Management, 2008. CCCM'08. ISECS International Colloquium on (Vol. 2, pp. 562-566). IEEE.

[11] Chen, J., & Chen, Y. D. (2004, June). AMNP: Ad hoc multichannel negotiation protocol for multihop mobile wireless networks. In Communications, 2004 IEEE International Conference on (Vol. 6, pp. 3607-3612). IEEE.

[12] El Fatni, A. (2013). Modélisation, analyse et conception de protocoles MAC multi-canaux dans les réseaux sans fil (Doctoral dissertation, Toulouse 2).

Approche déclarative pour le monitoring des bâtiments intelligents

Manel CHARFI[#], Yann GRIPAY[#], Nicolas FOURTY*,
Denis GENON-CATALOT* et Jean-Marc PETIT[#]

[#] Laboratoire LIRIS, INSA-Lyon, Université de Lyon – CINRS (F)

* Laboratoire LCIS, IUT de Valence, Université de Grenoble (F)

[#]prenom.nom@liris.cnrs.fr, *prenom.nom@lcis.grenoble-inp.fr

Résumé : Les bâtiments intelligents ouvrent des perspectives dans de nombreux domaines qui intéressent aussi bien les particuliers que les professionnels : confort, aide à la personne, télémédecine, sécurité... Au-delà de l'apport de fonctionnalités qui renouvelleront l'occupation de l'habitat, les bâtiments intelligents du futur devront répondre à deux enjeux. Le premier concerne leur utilisabilité : la maison doit rester simple à utiliser, s'adapter aux usages de ses occupants et tenir compte de leurs préférences du moment. Le second concerne la consommation en énergie du bâtiment et la durée de vie de son instrumentation. Concernant ce second point, une approche possible est de chercher à optimiser la manière dont les capteurs et les actionneurs sont sollicités pour réaliser les fonctions attendues par l'utilisateur, de sorte à minimiser leur consommation en énergie et à prolonger leur durée de vie.

Notre objectif consiste à répondre conjointement à ces deux enjeux, et à concevoir une architecture de monitoring d'un bâtiment intelligent permettant de réduire sa consommation énergétique tout en tenant compte des usagers et de leurs usages. Pour ce faire, nous adoptons une approche déclarative qui fournit une vue logique et abstraite des ressources du bâtiment et dans laquelle les optimisations nécessaires sont à la charge du système et non des développeurs d'applications.

1. CONTEXTE

L'avancée continue des techniques de communication et le développement des réseaux filaires et sans-fils permettent d'envisager les bâtiments dits "intelligents" comme une réponse possible aux enjeux sociétaux liés au bien-être des occupants et à la consommation énergétique, et plus globalement au développement durable, dans le secteur du bâtiment. Cette évolution se manifeste notamment par l'apparition de nombreux projets dans ce domaine, parmi lesquels plusieurs se sont intéressés à la réduction de la consommation des bâtiments (énergie primaire, fluides...).

L'enjeu est de pouvoir pleinement exploiter les données issues des systèmes de contrôle des bâtiments intelligents afin de fournir des services de qualité aux occupants et aux gestionnaires des bâtiments. Ces bâtiments, instrumentés par de nombreux capteurs et actionneurs, peuvent être vus comme des environnements dynamiques distribués. Ils nécessitent une couche applicative qui masque la complexité du système et qui simplifie les interactions du développeur d'applications (de monitoring, de services aux occupants) avec les différents composants autonomes distribués de ce système.

Notre proposition consiste à représenter le monitoring d'un bâtiment intelligent à l'aide d'une approche déclarative, comme SQL pour les bases de données, où l'optimisation est confiée au système au lieu d'être de la responsabilité du développeur, à la différence des approches impératives (programmation avec Java, C/C++...). Le développeur pourra alors exprimer le résultat qu'il veut obtenir (le quoi) sans avoir à se soucier de la façon dont le système le réalisera (le comment). Ce travail est une collaboration entre le LIRIS³ de l'université de Lyon et le LCIS⁴ de l'université de Grenoble dans le cadre d'un projet financé par l'ARC6 de la Région Rhône-Alpes. Des expérimentations sont prévues, tout d'abord sur les plateformes SoCQ4Home⁵ et MARBRE du LIRIS, avant le passage à l'échelle dans le cadre de la réhabilitation thermique d'une centaine d'habitats individuels (partenariat LCIS/DREAL⁶).

2. CARACTERISTIQUES DES BATIMENTS INTELLIGENTS

Le but majeur des bâtiments intelligents est de faciliter et de rendre confortable la vie quotidienne des occupants en assurant l'adaptation de l'environnement en fonction des besoins des utilisateurs. Ces bâtiments visent aussi la supervision et l'aide à la personne (âgée, handicapée, malade) en veillant à l'état de santé des personnes, ou en repérant les événements singuliers et les états de problème des personnes. Ils sont aussi utiles pour veiller à la sécurité du bâtiment et de ses occupants. Toutes ces fonctionnalités possibles s'accompagnent généralement d'une démarche visant à économiser et réduire la consommation d'énergie du bâtiment en question. Cette réduction peut être le résultat d'une bonne gestion de l'éclairage, en allumant ou éteignant les lampes en fonction de la luminosité externe et de l'occupation des pièces, ou du chauffage, en l'ajustant selon les températures externes et internes du bâtiment. Pour ce faire on utilise des capteurs (de température, de luminosité, de présence...)

³ Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information, <https://liris.cnrs.fr/>.

⁴ Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes, <http://lcis.grenoble-inp.fr/le-laboratoire/>.

⁵ Service-oriented Continuous Queries for Smart Buildings, <http://liris.cnrs.fr/socq4home/site/home>.

⁶ Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement.

et des actionneurs (alarme, mise en marche/arrêt du chauffage...). Par exemple, pour la gestion de l'éclairage, on peut détecter si une pièce est inoccupée (avec un capteur de présence) et si la lumière provenant de l'extérieur est suffisante (avec un capteur de luminosité), afin d'éteindre les lampes qui ne servent pas à un instant donné, au moyen de l'actionneur permettant l'extinction des lampes de la pièce. Ainsi, un bâtiment intelligent peut être vu comme un système informatique essentiellement composé de capteurs, actionneurs, passerelles de communication et ordinateurs de contrôle. Il s'agit donc d'un système distribué, dans lequel les composants sont interconnectés par des liens filaires ou sans fils, et qui comporte des intergiciels permettant la communication des différents composants. Ce système regroupe des sources d'informations hétérogènes qui peuvent être sous forme de données, de flux de données (envoi périodique des données des capteurs) et/ou de services (actionneurs). Ainsi une première question est : comment abstraire ces sources hétérogènes de données et leurs interactions afin de représenter au mieux un tel système dynamique distribué ? Cette représentation devra être à la fois simple et exhaustive, afin d'être facile à implémenter et de répondre aux exigences liées au fonctionnement des bâtiments intelligents (réaction en temps réel, adéquation des résultats aux besoins des usagers, QoS...).

Partant de l'idée qu'une pièce peut comporter au-delà de 5 capteurs (température, humidité, CO₂, luminosité, microphone, présence, caméra...) et actionneurs, on pourra avoir, à l'échelle d'un bâtiment, des centaines voire des milliers de capteurs/actionneurs. Notre système devra donc être économe lui-même en énergie afin d'assurer l'autonomie des capteurs/actionneurs tout en conservant l'objectif de garantir le confort et la sécurité de l'utilisateur.

3. ETAT DE L'ART : BATIMENTS INTELLIGENTS

3.1.CONTEXTE

L'avancée des techniques de communication et des réseaux filaires et sans-fils a permis l'apparition de nombreux dispositifs réseau basse tension et de nouveaux services visant à automatiser les tâches journalières des utilisateurs. Parmi les nombreux projets qui ont vu le jour grâce à cette avancée, on peut citer Adaptive House⁷ (University of Colorado), Carnegie Mellon's Intelligent Workspace⁸, ADREAM⁹, Maison intelligente de Blagnac¹⁰, HOMES¹¹... Ces bâtiments intelligents visent essentiellement à

⁷ <http://www.cs.colorado.edu/~mozer/adaptive-house>

⁸ <http://www.cmu.edu/homepage/innovation/2007/spring/intelligent-workplace.shtml>

⁹ <http://www.laas.fr/1-32329-Le-batiment-intelligent-Adream-instrumente-et-econome-en-energie.php>

¹⁰ http://mi.iut-blagnac.fr/?page_id=45

faciliter la vie quotidienne de leurs occupants, par exemple en assurant le confort de l'utilisateur (ouverture et fermeture des fenêtres, contrôle des équipements électroniques...). Cette facilitation peut être étendue jusqu'à l'aide à la personne, l'accompagnement et la surveillance des personnes. Les bâtiments intelligents pour l'aide à la personne présentent un intérêt croissant pour de nombreux pays, en raison du vieillissement des populations. Une exigence principale de ce type d'applications est la détection des humains et de leurs activités. Un suivi de la position et des activités des occupants a ainsi été mis en œuvre, afin de détecter les déplacements et les chutes dans [7] et [3]. D'autres travaux se sont intéressés à l'économie de l'énergie et la réduction de la consommation des bâtiments en se focalisant sur la gestion de l'éclairage [2], les CVC (systèmes de chauffage, ventilation et climatisation) [4], la réduction de la consommation des composants du système [1].

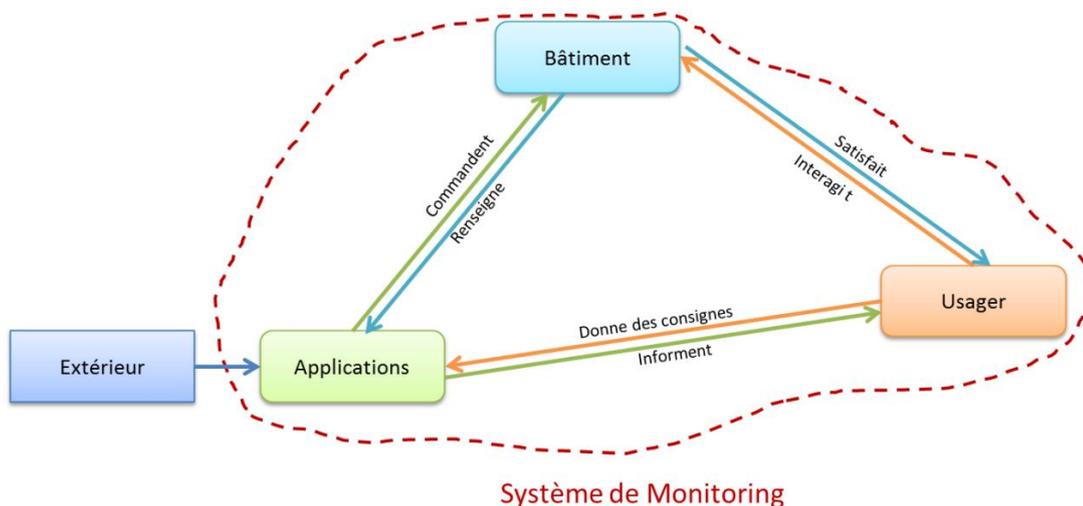


Figure 1 : Les interactions entre l'utilisateur, les applications et le bâtiment dans une architecture de monitoring.

3.2.POSITIONNEMENT

Nous souhaitons concevoir une architecture de monitoring d'un bâtiment intelligent ayant pour objectif de réduire la consommation d'énergie en prenant en compte l'utilisateur et ses usages. Cette architecture prévoira différentes interactions entre l'utilisateur, les applications et le bâtiment (voir la figure 1). Par exemple le paramétrage du système de chauffage prendra à la fois en compte les préférences des utilisateurs présents dans le bâtiment et la température extérieure et intérieure.

¹¹ <http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/fr/presse/dossiers/projet-homes.page>

Le bâtiment, vu comme un environnement dynamique distribué, nécessite une couche applicative permettant de masquer la complexité du système et de simplifier autant le travail du développeur d'applications (de monitoring et de services aux occupants) que l'utilisation des différents composants autonomes de ce système. Parmi les intergiciels actuels des bâtiments intelligents, nous pouvons citer OpenHAB¹², EnergyWise¹³, SCUBA¹⁴. Ceux-ci n'exploitent pas encore automatiquement les résultats des mesures dans le but de s'adapter au bâtiment et aux usagers et n'assurent pas une intégration dynamique des capteurs/actionneurs dans le système.

Afin de combler ce manque, nous envisageons de concevoir une architecture de monitoring mettant en œuvre une approche déclarative.

4. APPROCHE DECLARATIVE

4.1.PRINCIPE

Le principal objectif d'une approche déclarative est de permettre au développeur d'exprimer ce qu'il veut obtenir sans avoir à se soucier de la manière dont le système aura à le réaliser. Ainsi l'optimisation sera confiée au système plutôt qu'au développeur, à la différence de la programmation impérative (Java, C/C++...). Cela lui permet de présenter ses besoins au système sous forme de requêtes et d'obtenir les résultats sans se préoccuper de la manière dont ils ont été construits. Une telle approche fournit une vue logique et abstraite des ressources et permet de représenter l'environnement avec des données classiques, des flux de données et des services (fonctionnalités). Les différents capteurs du bâtiment seront alors vus comme des sources de données, et les différents actionneurs comme des services, que le système pourra découvrir dynamiquement. Les applications seront exprimées sous la forme de requêtes complexes (à la manière de SQL : SELECT... FROM... WHERE...) que le système se chargera d'exécuter de manière « optimale » du point de vue énergétique.

4.2.ARCHITECTURE

Ainsi, à l'aide d'une approche déclarative, le bâtiment intelligent peut être envisagé suivant l'architecture multicouches présentée sur la figure 2. Chaque couche fournit à la couche immédiatement supérieure les primitives de contrôle nécessaires pour interagir avec elle. Les deux premières couches, à savoir la couche physique (1) et la couche logique (2)

¹² <http://www.openhab.org/>

¹³ http://www.cisco.com/web/FR/about_cisco/EnergyWise/CiscoEnergyWise.html

¹⁴ <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/blog/smart-self-organisingcooperative-building-scuba-project>

des capteurs, sont responsables de la gestion des capteurs et de leurs interconnexions. La couche intergiciel (3) (middleware) permet de représenter les capteurs aux couches supérieures en tant que services et effectue la découverte de ces services. Nous avons intégré le framework OSGi pour gérer les interactions avec notre réseau de capteurs EnOcean. La modularité d’OSGi a facilité le développement des couches supérieures, sous forme de bundle OSGi. De plus, la notion de services, enregistrés par un bundle puis découverts et utilisés par d’autres, est au cœur de ce framework. La découverte de services est alors effectuée grâce à une technique similaire à UPnP [6] qui permet une découverte dynamique des périphériques disponibles, par multicast. Notre travail s’intéresse plus particulièrement aux couches (4) et (5) qui intègrent le framework SoCQ [5], que nous allons présenter dans la section IV-C. La couche (4) se charge de définir l’environnement selon une vue orientée données. La couche requête (5) est responsable de l’optimisation et l’exécution des requêtes, surveille les données et déclenche les actions. Ces requêtes proviennent de la couche application (6) ; elles représentent les besoins des usagers.

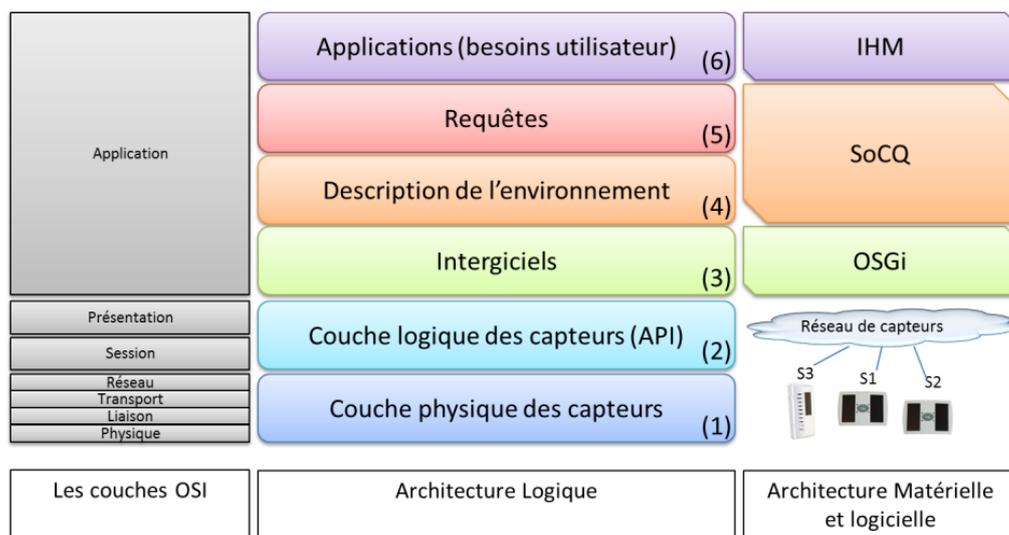


Figure 2 : Architecture abstraite pour le monitoring d’un bâtiment intelligent

4.3. LE FRAMEWORK SoCQ (SERVICE-ORIENTED CONTINUOUS QUERY)

1) *Présentation* : SoCQ [5] est un modèle de données (structure et langage) pour des environnements dynamiques distribués. SoCQ permet au développeur de manipuler essentiellement des services et des requêtes. Les services sont des entités logiques ou physiques de l’environnement dynamique distribué qui fournissent des méthodes et des flux de données. Un capteur de température d’une pièce sera donc présenté par un service,

contenant par exemple la méthode `getTemperature()` et permettant de connaître la température de la pièce en question. Quant aux requêtes, elles ressemblent aux opérations classiques de SQL. Les requêtes SoCQ permettent en outre la découverte de services (capteurs/actionneurs), les appels de méthodes (lecture capteur, contrôle actionneur) ainsi que les abonnements aux flux de données des capteurs (réception périodique des données fournies par un ou plusieurs capteurs).

2) *Principe d'une requête SoCQ* : Il s'agit en premier lieu de découvrir les services (capteurs) présents dans le système. Ensuite il suffit de s'abonner à un flux déterminé (température, luminosité) pour recevoir les données émises par le capteur correspondant. Il devient alors possible de consulter ces données, de les stocker, ou même de déclencher des actions particulières lors de la vérification de certaines conditions qui peuvent agréger plusieurs sources de données. Ce processus est illustré par la figure 3. Les capteurs sont connectés au réseau (étape (1)). Ils sont alors découverts par le système (étape (2)). Ce dernier peut ensuite s'abonner à leurs flux de données (étape (3)). Ainsi, si on veut connaître la luminosité et la position de la porte dans la chambre ch_1 , il suffit de s'abonner respectivement aux flux des capteurs S_1 et S_2 d'une part, et S_3 d'autre part. Ce qui permettra la réception des données émises par les capteurs concernés (étape (4)). Il devient alors possible de mettre en œuvre une application pour gérer l'éclairage en fonction de l'état de la porte (ouverte ou fermée), par exemple. Cette application sera représentée dans le système sous la forme d'une requête qu'il résoudra (étapes (5), (6) et (7)) et dont le résultat (étape (8)) sera le contrôle du système d'éclairage de la chambre.

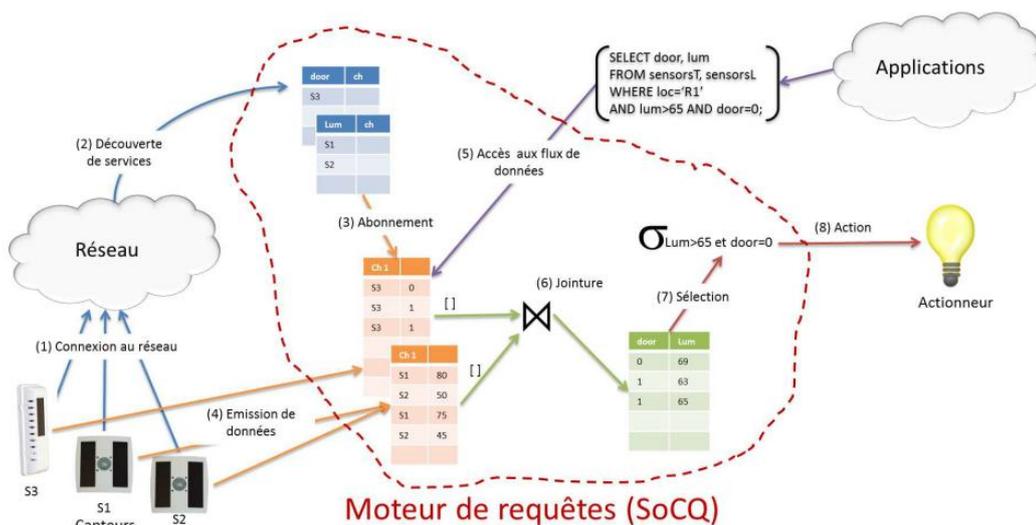


Figure 3 : Exemple d'exécution d'une requête SoCQ.

5. PROBLEMATIQUE DE THESE

Ce sujet de thèse va tenter de traiter la problématique d'une architecture de monitoring d'un bâtiment destiné à l'habitat ayant pour objectif de réduire la consommation d'énergie en prenant en compte les usagers et leurs usages. Cette architecture sera interactive avec les usagers, à travers des interfaces homme-machine adaptées, et se basera sur une approche déclarative afin de simplifier le développement des applications de contrôle. De nombreux challenges sont à relever. Dans le domaine des bases de données, il nous faut concevoir un modèle de coût reflétant la consommation énergétique de l'architecture de monitoring et étudier son impact sur le réseau de capteurs. Il faut aussi trouver les heuristiques adéquates pour l'optimisation des requêtes déclaratives venant des applications externes au système (les requêtes des développeurs) afin de ne pas surcharger les composants du système et de minimiser les échanges de données et les appels des fonctionnalités coûteuses, ce dans le but d'optimiser les temps d'exécutions et de réduire la consommation d'énergie.

Notre approche est destinée aux bâtiments intelligents, mais elle pourra être étendue à un contexte plus large, notamment le Web des objets. En effet, il est envisageable de ne pas se limiter à la gestion d'un seul bâtiment mais à celle des bâtiments constituant un lotissement d'habitation. Un moyen de réaliser cela peut passer par la connexion des bâtiments à gérer via le Web, afin de faciliter la gestion et l'historisation des données.

6. REFERENCES

- [1] Yuvraj Agarwal, Stefan Savage, and Rajesh Gupta. Sleepserver : A software-only approach for reducing the energy consumption of pcs within enterprise environments. In *Proceedings of the 2010 USENIX Conference on USENIX Annual Technical Conference, USENIXATC'10*, pages 22–22, Berkeley, CA, USA, 2010. USENIX Association.
- [2] Declan T. Delaney, Gregory M. P. O'Hare, and Antonio G. Ruzzelli. Evaluation of energy-efficiency in lighting systems using sensor networks. In *Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, BuildSys '09*, pages 61–66, New York, NY, USA, 2009. ACM.
- [3] Nicolas Fourty, Yoann Charlon, and Eric Campo. Embedded wireless system for pedestrian localization in indoor environments. *Sensors & Transducers (1726-5479)*, 2012.
- [4] Ge Gao and Kamin Whitehouse. The self-programming thermostat : Optimizing setback schedules based on home occupancy patterns. In *Proceedings of the First ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings, BuildSys '09*, pages 67–72, New York, NY, USA, 2009. ACM.

- [5] Yann Gripay, Frédérique Laforest, and Jean-Marc Petit. A simple (yet powerful) algebra for pervasive environments. In *EDBT*, pages 359–370, 2010.
- [6] Yann Gripay and Vasile-Marian Scuturici. Managing Distributed Service Environments : A Data-oriented Approach. In *UbiMob'10, 6èmes Journées Francophones Mobilité et Ubiquité*, pages 1–4, June 2010.
- [7] M Ogawa, R Suzuki, S Otake, T Izutsu, T Iwaya, and T Togawa. Longterm remote behavioral monitoring of the elderly using sensors installed in domestic houses. In *Engineering in Medicine and Biology, 2002. 24th Annual Conference and the Annual Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society EMBS/BMES Conference, 2002*. Proceedings of the Second Joint, volume 3, pages 1853–1854. IEEE, 2002.

La sécurité des ascenseurs avec des communications Ethernet-Based Real-Time

Ayoub SOURY, Denis GENON-CATALOT et Jean-Marc THIRIET
Université Grenoble Alpes - Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes
(LCIS) et GIPSA-LAB
{ayoub.soury, denis.genon-catalot}@lcis.grenoble-inp.fr
jean-marc.thiriet@gipsa-lab.grenoble-inp.fr

Résumé : l'évolution des systèmes de contrôle industriels tendent vers des infrastructures de plus en plus connectées, ce qui les rendent plus dépendantes de réseaux et de protocoles de communication utilisés. Plusieurs travaux existants se sont focalisés sur la fiabilité de ces systèmes et la robustesse de leurs modèles de contrôle en cas de pannes ou de dysfonctionnement. Ces travaux n'ont pas considéré l'aspect réseau qui est devenu un vecteur d'attaque important étant donné l'utilisation de protocoles de communication pour l'échange des informations entre les équipements. Les conséquences de ces attaques, parfois deviennent extrêmement dévastatrices. En effet, récemment ces réseaux sont devenus la cible de plusieurs attaques en exploitant des vulnérabilités présentes dans les couches logicielles ou protocolaires de leurs équipements. Dans le cadre de la nouvelle génération de commande de l'ascenseur, un cas de transition sera analysé à partir d'un composant électrique/électrotechnique au réseau de composants électroniques communiqués dans le cadre de la sécurité du système de déplacement d'un ascenseur. La proposition repose sur la sécurité des modules IP interconnectés entre eux, qui supportent un protocole temps réel industriel (Powerlink, EtherCat et Sercos). Cette proposition représente un des démonstrateurs du projet collaboratif avec un noyau déterministe sûr de fonctionnement par construction.

Mots clés : protocoles de communication, ascenseur, réseau de composants électroniques, sécurité des modules IP, Powerlink, EtherCat.

1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, la chaîne de sécurité d'un ascenseur repose sur des éléments électromécaniques reliés entre eux de façon filaire comme montre la Fig 1.

- o En s'appuyant sur les propriétés de ségrégation spatio-temporelle et déterminisme d'un noyau temps réel.
- Capacité à intégrer des fonctions tierces non critiques sans remettre en cause la certification des fonctions critiques.
- Héberger des fonctions critiques et non critiques sur le même microcontrôleur.
- Faire la preuve du système par construction et non pas par validation.

L'originalité de cette réalisation réside dans l'usage d'une solution logicielle innovante en l'occurrence Kron-OS de la société Krono-safe. Kron-OS se base sur un noyau déterministe. Ce noyau répond à l'IEC 880 (Safety System of Nuclear Power, RFS (Règles de sécurité françaises), DO-178B et la SAE [1]).

Notre modèle de communication doit répondre à son tour à l'IEC61508 d'ordre général, et la PESSRAL qui est la dérivée de l'IEC 61508 pour le domaine applicatif des ascenseurs en particulier. L'objectif est d'assurer la sécurité des personnes qui sont transportés. Le niveau de disponibilité du système est à mettre au second plan par rapport à la sécurité. Le démonstrateur ascenseur, est une partie de l'ADN4SE (Atelier de Développement et Noyau pour Systèmes Embarqués). Son objectif est de concevoir et développer les fonctions de sûreté d'un ascenseur par des systèmes électroniques. Ces derniers utilisent un noyau déterministe et ses outils associés en répondant aux normes de sécurité pour l'ascenseur afin d'arriver à la certification du produit. Les normes applicables pour la conception d'un système de sécurité pour ascenseur sont EN 81-1 (spécification des prescriptions de sécurité relatives à la conception et à l'installation des ascenseurs électriques) et PESSRAL (Programmable Electronic components and Systems in Safety Related Applications for Lifts) ISO22201 :2008 (norme relative aux systèmes électroniques programmables intégrés à la chaîne de sécurité d'un ascenseur).

2. IEC 61508 ET PESSRAL :

Pour minimiser les échecs (failures) et maintenir la sûreté de fonctionnement dans les systèmes électriques, électroniques et électroniques programmables à un niveau déterminé, l'IEC 61508 spécifie 4 niveaux d'intégrité de sécurité en matière de sûreté de fonctionnement

(SIL1, SIL2, SIL3, SIL4) [2] qui couvrent les fonctionnalités de sécurité du système et lui exige dès sa conception à répondre et satisfaire certains critères et conditions de sécurité. Pour notre domaine d'application (Lift), on va s'intéresser au niveau SIL3 de l'IEC 61508. Ce niveau est exigé par le noyau qui supporte cette solution. Pour atteindre ce niveau d'intégrité de sécurité, notre système doit répondre à un certain nombre d'exigence spécifique à l'application des ascenseurs comme il est indiqué dans la Table 1 et la Table 2.

Exigence	Mesure
EXI_PESSRALA1_01	Use of watchdog
EXI_PESSRALA1_02	Use of components only within their specifications
EXI_PESSRALA1_03	Defined safe state in the event of a power failure or reset
EXI_PESSRALA1_04	Defined safe shut-off state in case of over-voltage or under voltage0000000000
EXI_PESSRALA1_05	Use of only solid-state memories
EXI_PESSRALA1_06	Read/write test of variable data memory during boot procedure
EXI_PESSRALA1_07	Remote access only to informative data (e.g. statistics)
EXI_PESSRALA1_08	No possibility to change the program code, either automatically by the system or remote intervention
EXI_PESSRALA1_09	Test of program-code memory and fixed-data memory during boot procedure with a method at least equivalent to sum check

Table 1 : Exigences matérielles [3].

Programmable Electronic components and Systems in Safety Related Applications for Lifts, norme dérivée de l'IEC 61508, et propre à notre domaine d'application détaille ces exigences et les identifie en exigences métiers et exigences matérielles. Ces exigences sont décrites dans les deux tables ; Table 1 et Table 2.

Exigence	Mesure	IEC 61508
EXI_PESSARELA2_01	Program structure (i.e. modularity, data handling, interface definition) according to the state of the art (see IEC 61508-3)	X
EXI_PESSARELA2_02	During boot procedures a safe state of the lift shall be maintained	—
EXI_PESSARELA2_03	Limited use of interrupts; use of nested interrupts only if all possible sequences of interrupts are predictable	X
EXI_PESSARELA2_04	No triggering of watchdog by interrupt procedure except in combination with other program sequence conditions	X
EXI_PESSARELA2_05	No power-down procedures, such as saving of data, for safety related functions	—
EXI_PESSARELA2_06	Stack manager in the hardware and/or software with appropriate reaction procedure	X
EXI_PESSARELA2_07	Iteration loops shorter than system reaction time, e.g. by limiting the number of loops or checking execution time	—
EXI_PESSARELA2_08	Array pointer offset checks, if not included in the programming language used	X
EXI_PESSARELA2_09	Defined handling of exceptions (e.g. divisions by zero, overflow, variable range checking, etc.) that forces the system into a defined safe state	—
EXI_PESSARELA2_10	No recursive programming, except in well tried standard libraries, in approved operating systems, or in high-level language compilers. For these exceptions, separate stacks for separate tasks shall be provided and controlled by a memory management unit	X
EXI_PESSARELA2_11	Documentation of programming library interfaces and operating systems at least as complete as the user program itself	—

EXI_PESSARELA2_12	Plausibility checks on data relevant to safety functions, e.g. input patterns, input ranges, internal data	X
EXI_PESSARELA2_13	If any operational mode can be invoked for testing or validation purposes, normal operation of the lift shall not be possible until this mode has been terminated	X
EXI_PESSARELA2_14	Reach a safe state with due consideration to the system reaction time in a bus communication system with safety functions in case of loss of communication or a fault in a bus participant	X
EXI_PESSARELA2_15	No reconfiguration of the CPU-bus system, except during the boot procedure NOTE Periodical refresh of the CPU-bus system is not considered as being a reconfiguration.	X
EXI_PESSARELA2_16	No reconfiguration of I/O lines, except during the boot procedures NOTE Periodical refresh of the I/O configuration registers is not considered as a reconfiguration.	X

Table 2 : Exigences Software-Système [3].

3. LES APPROCHES REAL-TIME ETHERNET: RTE

Des nouveaux concepts de communication industriels commencent à évoluer après deux ans de la guerre de réseaux de terrain. L'IEC TC65 a lancé un nouveau projet de standardisation pour la communication industriel. Définir le real-time Ethernet dans l'industrie paraît une conséquence logique de l'introduction d'Ethernet dans 'industrial automation'. les chercheurs ne cessent de proposer des solutions pour les spécifications d'Ethernet, afin de répondre aux critères « temps-réel ». il y a ceux qui proposent des solutions pour la qualité de service, pour la synchronisation entre les dispositifs ou la modification du traitement de paquet [4]. On peut classer ces solutions à base d'Ethernet en 3 classes, en considérant le temps de réponse de chaque solution [4] comme montre la Fig 2.

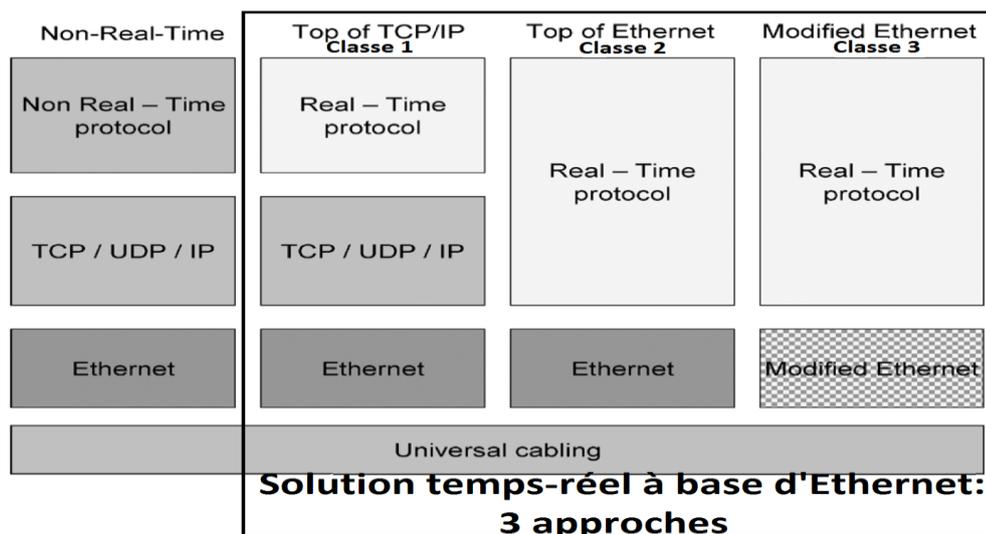


Figure 2 : Classification des Solutions RTE.

critères de fonctionnement des machines de la norme IEC 61508 appliquées aux métiers de l'ascenseur ont fait évoluer vers les spécifications PESSRAL. L'aspect innovant de ce projet collaboratif, outre le fait de démontrer, la portabilité du noyau Kron-OS dans des environnements embarqués contraints (STM32F2xx), est de pouvoir remplacer les éléments de la chaîne de sécurité (encore à contact électrique) par un réseau de terrain adapté pour l'ascenseur. L'article rappelle les critères nécessaires à atteindre lors du choix des protocoles pour garantir l'intégrité de la norme PESSRAL. La méthodologie mixée permet d'intégrer l'architecture de communication dans le développement afin d'en garantir les performances temporelles (sûreté de fonctionnement par construction). Notre contribution au projet va permettre d'effectuer une analyse de la chaîne de sécurité qu'il est impossible de diagnostiquer à ce jour (contact see). Cette stratégie autorisera la commande de déplacement de la cabine d'un ascenseur dans des conditions de sécurité bien identifiées ce qui simplifie grandement la manœuvre qu'aujourd'hui nécessite une intervention humaine localement. L'ensemble de ces travaux bénéficie du support financier du ministère de l'industrie sur des investissements d'avenir.

5. REFERENCES

- [8] Chabrol, D., David, V., Aussaguès, C., Louise, S., & Daumas, F. (2005, November). Deterministic Distributed Safety-Critical Real-Time Systems within the Oasis Approach. In IASTED PDCS (pp. 260-268).
- [9] IEC 61508-2:2000, "Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety related systems" – Part 2:Requirements for electrical/electronic/programmable electronicsafety-related systems.
- [10] PESSRAL: 2008, "lifts-design and development of programmable electronic systems in safety related application for lifts (PESSRAL)".
- [11] Felser, M., & Sauter, T. (2004, September). Standardization of industrial ethernet-the next battlefield?. In Factory Communication Systems, 2004. Proceedings. 2004 IEEE International Workshop on (pp. 413-420).

Quels services pour favoriser le lancement des C-ITS ?

Martial CHEVREUIL – Directeur Innovation et Développement - Egis -
Martial.CHEVREUIL@egis.fr

Olivier SEGARD –Ingénieur d’Etudes - Télécom Ecole de Management -
olivier.segard@telecom-em.eu

Résumé : En 2017, les véhicules neufs des constructeurs nationaux devraient être équipés en série d’un boîtier permettant l’usage des systèmes coopératifs routiers. Les services possibles sont nombreux, de la sécurité routière au *m-commerce*, à destination des particuliers ou des organisations. Ils reposent également sur un équipement de l’infrastructure routière. Nous proposons au final d’examiner un scénario de déploiement moins conventionnel : favoriser l’équipement des véhicules avec l’usage de services de sécurité routière sur autoroutes et routes nationales.

Mots clés : Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS, systèmes coopératifs routiers, déploiement, services, lancement

1. INTRODUCTION

La Commission Européenne et les Etats Membres ont pour objectif zéro mort et zéro blessé grave en 2050. Pour l’atteindre, elle table sur le déploiement des « systèmes coopératifs routiers ». Comme l’atteste l’adoption par le Parlement Européen et le Conseil de l’Europe de la Directive ITS (août 2010). Ces nouveaux systèmes sont fondés sur un principe de *broadcasting* en continu. Des données diverses, dont de position, sont traitées afin de gérer les dynamiques des usagers inclus dans un réseau de proximité (alerte d’un freinage d’urgence, violation d’un feu de signalisation, piéton sur la voirie, ...).

La mise sur le marché des systèmes coopératifs routiers a été préparée en France par le projet SCORE@F. Au plan européen, par les cinq FOT (*Field Operational Tests*) fédérés sous le projet DRIVE C2X. Ces systèmes utilisent une technologie de communication locale sans fil, le « WAVE » (*Wireless Access to Vehicular Environment*), qui permet des échanges véhicule / infrastructure routière (V2I – I2V) et véhicule / véhicule (V2V). Ils empruntent des bandes de fréquences allouées par la Commission Européenne (5,855 - 5,905 Ghz), également ouvertes au développement d’applications dépassant le strict cadre de la sécurité routière. Les cas d’usage développés sont étendus à la mobilité durable (info trafic, itinéraire

recommandé, ...) et aux services (réservation d'une place de parking, point d'intérêt, ...).

Le présent travail a pour objectif général de mettre en perspective les catégories de services qui accompagneront le déploiement des systèmes coopératifs routiers, à partir des résultats du projet SCORE@F. Plus précisément, la problématique traitée est la suivante. Quelle(s) catégorie(s) de services proposer en phase de lancement, et pour quelle(s) infrastructure(s) routière(s) ?

2. ORIENTATIONS POUR DEPLOIEMENT DES C-ITS

Le déploiement des services C-ITS comprend fondamentalement deux unités technologiques :

- Les équipements embarqués (première ou deuxième montes).
- Les équipements de bord de route.

La première unité dépend essentiellement de la volonté des usagers de disposer des services, ainsi que des incitations qui peuvent être mises en place par les acteurs privés ou publics. Le cas des premiers systèmes de navigation (BMW et Philips Car Systems, ...) le rappelle ; « (...) l'histoire du déploiement de cette innovation s'est au contraire avérée lente et laborieuse. Les clients ne percevaient pas la valeur de cette innovation pour le prix significatif qu'elle représentait. » [2 ; p.152]. Une réglementation rendant obligatoire l'équipement embarqué n'est en effet pas envisageable à court et moyen terme : comme pour les autres équipements de sécurité de l'automobile (ceinture, feux de détresse, ...). Cette obligation ne peut intervenir qu'après un taux d'équipement suffisant des automobiles en circulation sur la base d'options.

La seconde unité dépend, pas uniquement mais fortement des gestionnaires de réseaux. Les UBR (Unités de Bord de Route) sont *a priori* mises en place sur le domaine public. Il est clair que sur ce point les apports potentiels pour la sécurité, vont jouer un grand rôle dans la décision d'investir ou non.

Les stratégies de déploiement des C-ITS sont multiples et peuvent être initialisées selon trois axes, trois catégories de services, différents, séparés ou combinés.

- L'axe sécurité routière.
- L'axe gestion du trafic routier.
- L'axe mobilité et confort.

Les objectifs sont sociétaux pour les deux premiers axes et commerciaux pour le troisième.

3. AXE SECURITE ROUTIERE¹⁵

Au plan national, l'enjeu principal de l'axe sécurité routière concerne les routes départementales avec les accidents de véhicules seuls. Le coût global pour la collectivité est de plus de 2 Mds €. Dans les applications « véhicule connecté », la lutte contre ce type d'accident passe par une communication V2I (rappel vitesse contextuelle, alerte si vitesse inadaptée par rapport au tracé ou à des zones de travaux, ...).

Si nous faisons l'hypothèse d'une UBR à 5000 €, installée en moyenne tous les 10 km (points accidentogènes, croisements, ...), soit 38 000 unités pour près de 380 000 km de routes départementales, le montant de l'investissement s'élève alors à 190 M€. Cela représente 10% du coût des accidents. Le « seuil de rentabilité » est donc obtenu pour 10% des accidents évités¹⁶. Cela devrait inciter les pouvoirs publics, les collectivités locales, à étudier plus précisément l'intérêt de cet investissement. Il est en effet peu probable que le secteur privé s'engage sur une voie de

¹⁵ Afin d'obtenir une estimation de l'apport potentiel des applications offertes par le « véhicule » connecté, il est nécessaire de disposer de données détaillées des circonstances d'accidents sur les différents réseaux, afin d'identifier ceux qui pourraient être évités. Ce type d'analyse a été entrepris à plusieurs reprises dans différents pays européens, et en France en particulier par l'IFSTTAR à partir des fichiers d'accidents. Ces analyses ont ensuite été utilisées dans des modèles économiques permettant d'évaluer et comparer différents scénarios de déploiement des systèmes. C'est en particulier ce qui a été développé dans le cadre de deux projets conduits dans le programme franco-allemand DEUFRAKO (en lien avec le PREDIT pour la France) :

- IVHW (InterVehicle Hazard Warning) – 2001/2003, pour les applications de sécurité basées sur la communication V2V.
- SafeMap (Cartes de navigation améliorées pour la sécurité) – 2005/2008.

Il n'a pas été prévu d'analyse détaillée d'accidentologie dans SCORE@F. Par contre, le rapport de l'Observatoire interministériel de sécurité routière sur les données 2011 [1] donne un certain nombre d'information sur les circonstances d'accidents, qui peuvent être utilisées pour mieux cibler les réseaux et les applications prioritaires pour le déploiement.

¹⁶ Il s'agit d'accidents potentiellement évitables. A savoir un maximum qui ne tient pas compte du taux d'équipement réel, de la performance de l'application, ni de la réaction du conducteur, ... Ce potentiel est à moduler avec des calculs plus développés, en faisant des hypothèses sur les taux d'équipement, de réception du message d'alerte par ex., de compréhension du message par rapport à l'environnement et de réaction adéquate.

déploiement volontaire soutenue, avec comme seule cible la sécurité routière.

Un autre enjeu important en termes de sécurité est l'alerte danger (collisions sur véhicules à l'arrêt, en chaîne, ...). Elle concerne surtout les autoroutes et les routes nationales (voies rapides). Ainsi, 60% des accidents corporels seraient « évitables » grâce à une alerte. L'enjeu sur les routes départementales est également important, mais c'est la longueur du réseau qui en est la cause (uniquement 15% des accidents corporels). Il concerne en particulier les routes départementales à fort trafic, dont les caractéristiques sont proches de celles des autoroutes ou voies rapides.

Dans ce cas, c'est la communication V2V qui est le bon support, et paradoxalement le besoin en UBR du point de vue de la sécurité, est moindre, compte-tenu de la densité du trafic sur ce type de voie. Le déploiement repose essentiellement sur l'équipement des véhicules.

4. AXE GESTION DU TRAFIC ROUTIER

Cet axe entre également dans la stratégie des autorités au niveau européen concernant les ITS ou C-ITS. Les heures perdues dans les encombrements se traduisent bien sûr en une perte économique. Mais la congestion est également responsable de l'augmentation des émissions de Gaz à Effet de Serre, et de nuisances variées (bruit, émissions de particules, ...), d'où le développement de politiques en faveur de transports plus respectueux de l'environnement.

Les principaux enjeux en matière de congestion concernent les réseaux urbains et périurbains, ainsi que les grands axes reliant les pôles économiques, généralement les autoroutes interurbaines.

Les véhicules connectés offrent de ce point de vue de nouveaux moyens pour gérer plus finement les déplacements : meilleure connaissance de la situation grâce à la remontée d'information à partir des véhicules, communication plus directe avec les usagers.

Cet axe est déjà en cours de développement avec une coopération mise en place entre les autorités et les fournisseurs d'information trafic : diffusion via RDS/TMC, Internet mobile, ... Les mêmes acteurs seraient bien placés pour améliorer le service actuel grâce aux nouvelles facilités offertes par le « véhicule connecté ».

5. AXE MOBILITE ET CONFORT

Cet axe concerne le développement de différents services à l'utilisateur. Il est soit en concurrence avec les services déjà offerts, soit au contraire en continuité avec ces services en apportant des améliorations considérables.

Logiquement, ces services concernent d'abord les réseaux les plus fréquentés : là où est le marché en termes de volume et certainement de besoins.

En résumé, si nous croisons les types de réseaux, leurs gestionnaires, avec les axes de déploiement, nous pouvons proposer quelques orientations sur le type d'applications et services entre les différents scénarios de déploiement envisagés.

	Autoroutes, routes nationales (Etat, concessionnaires d'autoroutes)	Routes départementales (Conseils Généraux)	Voies communales (Villes)
Sécurité routière	V2V (<i>alertes danger</i>) Priorité équipement des véhicules	V2I (<i>Vitesse contextuelle, intersections</i>) Investissement public requis ¹⁷	V2I (<i>Vitesse contextuelle, intersections</i>) Investissement public requis
Gestion de trafic	V2I Investissement public et partenariat	V2I Pour Conseils Généraux avec réseaux périurbains et/ou voies rapides	V2I Investissement public et partenariat grandes agglomérations
Mobilité et confort	V2I Investissement privé tous réseaux	V2I Investissement privé sélectif	V2I Investissement privé grandes agglomérations

Tableau 1 : orientations possibles pour le déploiement des C-ITS.

Ce tableau est bien entendu simplificateur. Toutefois, on peut en tirer les grandes orientations suivantes :

- L'utilisation des applications basées sur les communications V2I nécessitent soit un investissement public volontaire préalable, soit un partenariat public-privé.
- Les applications mobilité et confort peuvent inciter à des investissements privés.
- Mais dans tous les cas, le développement des services nécessite pour avoir un retour sur investissement, que le taux d'équipement des véhicules soit suffisant.

6. CONCLUSION

De façon contre-intuitive, si on se réfère aux recommandations issues des premiers projets portant sur les communications V2I et V2V, le

¹⁷ Voir toutefois le cas des voies rapides gérées par les Conseils Généraux, qui se rapproche du cas autoroute/route nationale.

scénario de déploiement optimal n'est-il pas de donner la priorité à l'équipement des véhicules ? Cela doit permettre très rapidement sur les réseaux très fréquentés, d'avoir une communication V2V assurée aux heures les plus fréquentées. Dans ce cas, la catégorie de services à privilégier pour le déploiement est la sécurité routière. Sachant, globalement, qu'elle ne ferait pas l'objet d'une facturation spécifique aux automobilistes ; à la différence des services de gestion de trafic, puis de mobilité et confort, qui pourraient respectivement avoir un prix « faible » et « moyen/élevé » (en fonction de la valeur perçue par le consommateur).

Même si l'enjeu en termes de sécurité n'est pas le plus important pour les autoroutes et les routes nationales, un taux d'équipement significatif des véhicules pourra justifier ensuite plus rapidement, tant auprès des acteurs publics que des acteurs privés, un investissement dans les infrastructures au sol, pour les réseaux moins fréquentés mais présentant un taux d'accidentologie plus élevé. Il s'agit principalement des réseaux départementaux à chaussée unique. Il conviendra d'identifier les zones et points à équiper en priorité en fonction de l'accidentologie.

Les équipements au sol pourront d'ailleurs certainement être mutualisés avec des équipements de sécurité existants, pour aider à leur déploiement : rappel dynamique de la vitesse limite, panneau d'alerte danger, radars pédagogiques, ...

7. REFERENCES

- [1] Observatoire interministériel de sécurité routière (ONISR), Direction de la sécurité et de la circulation routières (DSCR), La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2011, La Documentation Française, 2013.
- [2] Midler C., Maniak R. et R. Beaume, Réenchanter l'industrie par l'innovation : l'expérience des constructeurs automobiles, Dunod, 2012.

Révocation et renouvellement sécurisés de clés pour les RCSF

Ismail Mansour, Gérard Chalhoub, Pascal Lafourcade, et François Delobel
Université de Clermont, LIMOS, France

Résumé : Dans un réseau de capteurs sans fil (RCSF), une fois un mécanisme sécurisé pour les communications authentifiées mis en place, plusieurs situations peuvent arriver : un nœud peut quitter le réseau, un nouveau nœud peut rejoindre le réseau, un intrus pourrait essayer de rejoindre le réseau ou capturer un nœud. Il est donc important de révoquer et de renouveler les clés acquises par un nœud malveillant. Nous proposons des protocoles sécurisés pour la révocation et le renouvellement de clés des nœuds, utilisant la cryptographie à clé symétrique (AES) et la cryptographie des courbes elliptiques (ECC). Nous avons implémenté nos protocoles sur des cartes TelosB et comparé leur temps d'exécution.

Mots clés : Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS, systèmes coopératifs routiers, déploiement, services, lancement.

Vers une aide pour la qualification énergétique des bâtiments intelligents

Anthony Gelibert^{#*}, Sébastien Jean[#], Denis Genon-Catalot[#], Gérard Santailler^{*}
[#]Laboratoire de Conception et d'Intégration des Systèmes (CTSIS Team), Université de Grenoble, Valence, France

^{*}Nocosium, 2 rue Stalingrad, Vaulx-en-Velin, France

[#]{anthony.gelibert},{sebastien.jean},{denis.genon}@lcis.grenoble-inp.fr

^{*}{a.gelibert},{g.santailler}@nocosium.com

Résumé : L'évolution de nos sociétés modernes a introduit de nouveaux défis tel que la maîtrise énergétique. Actuellement des labels existent pour qualifier les bâtiments, néanmoins la situation peut encore être améliorée par des méthodes de conception innovantes et par un accompagnement spécifique lors de la vie du bâtiment, qui tirerait pleinement parti de l'intelligence déployée. Dans cette présentation, nous proposons d'appliquer une méthodologie d'aide à la qualification réglementaire d'environnements normés au contexte des bâtiments intelligents et des réglementations de consommation énergétique.

Réseaux radio cognitifs : concepts et challenges

Hanen IDOUDI

Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique (ENSI)
University of Manouba – RAMSIS Team, CRISTAL Lab.
hanen.idoudi@ensi.rnu.tn

Résumé : La radio cognitive est un paradigme proposé en réponse à la pénurie en spectre alloué aux technologies sans fil. En particulier, les bandes sans licence ont vu leur utilisation s'accroître drastiquement au cours de la dernière décennie grâce à la fulgurance avancée dans les technologies sans fil. Les réseaux radio cognitifs sont composés de dispositifs pouvant exploiter des ressources spectrales d'une manière opportuniste. Ainsi, un utilisateur radio cognitif secondaire a le droit d'occuper un canal pourvu d'arrêter son activité dès la détection d'un utilisateur primaire qui est licencié, donc, prioritaire pour l'exploitation du canal en question. Pour assurer un tel fonctionnement, des mécanismes spécifiques de détection de spectre libre, de changement optimal de canal et d'ordonnancement des communications ont été proposés pour les réseaux radio cognitifs. Dans cet exposé, nous aborderons les aspects de base décrivant le fonctionnement, l'architecture et les applications de la radio cognitive ainsi que la normalisation. Nous introduirons également les défis actuels auxquels sont confrontés les réseaux radio cognitifs et en particulier, les réseaux de capteurs cognitifs.

Mots clés : radio cognitive, normalisation des réseaux sans fil radio cognitifs, architecture, réseaux de capteurs cognitifs.

WiNo : une plateforme d'émulation et de prototypage rapide pour l'ingénierie des protocoles dans les réseaux de capteurs sans fil

Adrien VAN DEN BOSSCHE
Laboratoire IRIT-IRT IUT Blagnac UT2
vandenbo@irit.fr

Résumé : Aujourd'hui, les besoins en réseaux de capteurs sans fil sont grandissants et les technologies en pleine évolution. On assiste notamment à une explosion du nombre de couches physiques immatérielles différentes et une évolution du paradigme de l'Internet des Objets où cette hétérogénéité dans les couches basses est désormais assumée. Les besoins en ingénierie des protocoles sur les couches supérieures demeurent cependant importants : au niveau MAC, il convient d'optimiser les protocoles d'accès au médium pour coller au mieux aux caractéristiques de chaque couche PHY, et dans les niveaux supérieurs, les problématiques inhérentes ne sont pas définitivement réglées (économie d'énergie sur tout ou partie du réseau, auto-configuration, sécurité, convergence avec IP, services supplémentaires comme la synchronisation ou la localisation...). Pour seconder les simulateurs de protocoles qui ne peuvent raisonnablement suivre face à cette diversité des couches PHY, le prototypage réel devient aujourd'hui une alternative intéressante. La possibilité de mettre à l'épreuve les protocoles en environnements maîtrisés ou réels permet l'obtention de performances pragmatiques ; l'accessibilité du matériel permet le déploiement de vrais capteurs, produisant des trafics réels ; la réduction des coûts rend envisageable l'évaluation des performances en passage à l'échelle. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer de plateformes réelles aussi versatiles qu'un logiciel de simulation réseau, permettant la confrontation de plusieurs protocoles à tout niveau de l'empilement, y compris la couche PHY. La plateforme présentée, WiNo, s'inscrit dans cette démarche, suffisamment ouverte pour satisfaire le chercheur, mais également suffisamment aboutie pour l'évaluation des performances en environnement réel et faciliter le transfert de technologie.

Mots clés : prototypage réel, ingénierie des protocoles, testbed, WSN.

Comment les méthodes formelles peuvent-elles nous aider à sécuriser les Réseaux de Capteurs Sans Fil ?

Pascal LAFOURCADE

Professeur sur contrat à l'UdA, HDR - Chaire industrielle sur la confiance numérique

LIMOS - UMR 6158

pascal.lafourcade@udamail.fr

Résumé : Assurer la sécurité d'un protocole de communication n'est pas une tâche facile. Malgré la vigilance des auteurs, de nombreuses failles sont découvertes sur plusieurs protocoles. La complexité de l'analyse des protocoles de communication dépasse largement les capacités humaines, car il faut considérer tous les scénarios possibles. Il est donc important d'utiliser des outils automatiques permettant de prouver la sécurité des protocoles cryptographiques. Dans un premier temps un algorithme de routage sûr probabiliste résilient SR3 (Secure Random Resilient Routing algorithm) sera présenté. Ensuite, un résultat de réduction de topologie sera donné pour montrer qu'il suffit de vérifier 5 de topologies pour montrer la sécurité d'un algorithme de routage. Enfin un tour d'horizon des outils de vérification de protocoles cryptographiques existants sera fait.