



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

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

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 15333

The contribution was presented at JNCT 2015 :
<http://www.jnct2015.lcis.fr/>

To cite this version : Blanc Machado, Mathilde and Van den Bossche, Adrien and Vigouroux, Nadine and Vella, Frédéric and Val, Thierry *Contribution à la dynamique des protocoles d'accès au médium pour la performance et l'autonomie énergétique d'objets communicants sans fil basée sur l'interaction de la personne.* (2015) In: Journées Nationales des Communications Terrestres (JNCT 2015), 4 June 2015 - 5 June 2015 (Valence, France). (Unpublished)

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

Contribution à la dynamique des protocoles d'accès au médium pour la performance et l'autonomie énergétique d'objets communicants sans fil basée sur l'interaction de la personne

Mathilde BLANC MACHADO¹, Adrien VAN DEN BOSSCHE^{1,2},
Nadine VIGOUROUX^{1,3}, Frédéric VELLA^{1,3}, Thierry VAL^{1,2}

¹ IRIT – Institut de Recherche en Informatique de Toulouse, Université Fédérale de Toulouse, UMR CNRS 5505

² Equipe Ingénierie des Télécommunications et Réseaux (IRT)

³ Equipe Etude de L'Interaction Personne Système (ELIPSE)

^{1,2,3} Mathilde.Blanc-Machado@irit.fr

Abstract— Le présent travail a pour ambition de concevoir des nouveaux modes d'accès au médium (MAC) pour les réseaux de capteurs sans fil en rupture avec l'existant, grâce à des capacités d'auto adaptation dynamiques fortes en lien avec un ou plusieurs dispositifs d'Interaction Homme-Machine (IHM). Le contexte applicatif visé est celui des réseaux de capteurs et d'actionneurs « éphémères », c'est-à-dire déployés pour une durée limitée et sur une zone restreinte, dans le but d'assister une personne en perte d'autonomie dans ses activités quotidiennes, en fin de vie ou après une hospitalisation par exemple. Le réseau sans fil doit pouvoir être déployé avec un minimum de contraintes, notamment au niveau énergétique. L'approche visée consiste à piloter dynamiquement au plus juste les périodes de réveil et de sommeil des nœuds sans fil en se basant sur l'activité de la personne en interaction avec son environnement numérique ambiant, dans le but d'offrir une durée de vie élevée tout en respectant finement les contraintes temporelles acceptables pour les dispositifs permettant l'IHM avec l'habitat.

I. INTRODUCTION

Si les statistiques se maintiennent, un habitant sur trois sera âgé de 60 ans ou plus en 2050 contre un sur cinq en 2005 [1]. En vue de cette évolution démographique, la mise en place d'innovations technologiques (sûreté et économie d'énergie) pour le maintien à domicile de personnes âgées fragilisées s'avère être indispensable et soulève de nombreuses problématiques de recherche fondamentale. C'est dans ce contexte que les activités de recherche des équipes IRT et ELIPSE de l'IRIT s'inscrivent, mêlant Interaction Homme-Machine (IHM) et Protocoles pour les Réseaux de Capteurs Sans Fil (*Wireless Sensor Networks* (WSN)) et pour l'Internet des Objets (IoT). Ce projet se positionne dans la continuité de plusieurs travaux menés dans ce contexte [1][2][6][7][8] dont les projets SUIPAD (SUIvi comportemental de

Personnes A Domicile) et ECAMI (Etude de l'ACcessibilité dans une Maison Intelligente) pour lesquels un réseau de capteurs et d'actionneurs sans fil « éphémère » a été déployé dans un habitat, pour une durée limitée dans le temps et dans un espace restreint. Ce réseau permet de récupérer différentes données concernant les activités réalisées par la personne au sein de son habitat et amène ainsi à réfléchir à des solutions concernant l'autonomie énergétique des objets communicants utilisés tout en répondant au plus juste aux besoins de la personne dans son environnement numérique.

La première partie de ce papier présentera la problématique identifiée et son contexte applicatif. Dans une seconde partie, nous proposerons un premier état de l'art des travaux dans le domaine. Dans une troisième partie, nous détaillerons les pistes envisagées, combinant à la fois des compétences dans le domaine des réseaux de capteurs sans fil et dans celui de l'IHM, pour parvenir à l'objectif fixé, avant de conclure.

II. PROBLEMATIQUE

Le réseau, déployé lors des précédents travaux, a pour fonction la collecte d'informations issues de capteurs et le transport des informations liées aux interactions de l'utilisateur sur son environnement, ainsi que le déploiement simple d'actionneurs, pour améliorer le maintien à domicile d'une personne en perte d'autonomie. Les nœuds communicants sans fil permettent par les :

- capteurs, d'acquérir la connaissance de l'activité d'une personne (comportement, déplacement, agissements...),
- interfaces de commande, d'observer les interactions de l'utilisateur avec son environnement,
- actionneurs, de déclencher des actions sur l'environnement de cette personne (ouverture des portes, fenêtres, réglage de la température, ...).

La problématique porte ainsi sur la question de comment optimiser les mécanismes protocolaires réseaux pour répondre aux deux contraintes antinomiques, à savoir une autonomie énergétique des nœuds sans fil suffisante et une réactivité du réseau face à l'utilisateur en interaction.

III. ETUDE DE L'EXISTANT

Dans le champs disciplinaire associé à ce projet, il est généralement considéré un nombre important de nœuds autonomes, c'est-à-dire alimentés par piles ou batteries, et déployés avec des objectifs de durées de vie pouvant atteindre des mois ou des années [3]. Comme il est difficilement envisageable de procéder à une maintenance de la source d'énergie au cours de la vie du réseau « éphémère », il est nécessaire, pour atteindre de telles autonomies énergétiques, d'intégrer des mécanismes aux protocoles permettant une mise en veille automatique du nœud. En état de veille, le nœud ne peut ni transmettre, ni recevoir de message : au niveau du protocole, il convient donc de mettre en œuvre des stratégies de « rendez-vous » [12] pour fixer le prochain réveil avant la mise en sommeil, en collaboration et en adéquation avec les autres nœuds du réseau, parfois à portée radio directe, mais aussi à plusieurs sauts. Dans la littérature, la technique de rendez-vous a largement été étudiée ces dernières années [13][14][15]. Certaines technologies implémentant ces techniques sont d'ores et déjà disponibles sur le marché, notamment *Bluetooth Low Energy* (BLE) et *Zigbee*. La très grande majorité des contributions scientifiques actuelles reposent sur une hypothèse statique qui est, soit d'ordre topologique (A), soit d'ordre temporel (B).

A. Hypothèse statique topologique

Certains nœuds sont considérés comme alimentés par une source énergétique non épuisable, et n'implémentent par conséquent aucun mécanisme de mise en veille [12]. Le réveil des nœuds contraints peut alors être asynchrone sans difficulté en termes de protocole puisqu'un nœud voisin non contraint énergétiquement est toujours disponible sans synchronisation particulière. C'est par exemple le cas de Zigbee en mode sans *beacon* (*no beacon mode*), BLE ou Wifi. Dans ce cas, le déploiement doit tenir compte de cette contrainte : il doit toujours y avoir un élément non contraint énergétiquement dans la zone de portée de tout nœud du réseau, ce qui est une contrainte de déploiement forte et parfois impossible à réaliser suivant la disposition et la taille de la zone.

B. Hypothèse statique temporelle

Ici, tous les nœuds sont contraints énergétiquement ; les nœuds négocient alors par des protocoles spécifiques des rendez-vous périodiques pendant lesquels les nœuds peuvent s'échanger des messages avant de se rendormir [4] jusqu'au réveil suivant. Plusieurs stratégies peuvent être mises en œuvre : centralisée ou répartie, déterministe ou *best-effort*, etc. [16][17][18][19]. Dans tous les cas, si un nœud veut recevoir un message, il doit se réveiller lui-même et attendre également le réveil de la source, ce qui entraîne inévitablement une latence directement dépendante de la périodicité des réveils. Plus l'autonomie énergétique des nœuds attendue est forte, plus la période entre deux réveils doit être grande, mais plus la latence est importante. Cependant, les périodes de rendez-vous étant statiques, il y a bien moins de contraintes topologiques sur le déploiement qui peut être multi-saut, même en présence de nœuds tous autonomes énergétiquement. La plupart des solutions implémentent donc des cycles réguliers, dont la période est déterminée lors de l'installation, en fonction de l'application visée et des délais acceptables. C'est par exemple le cas de Zigbee en mode *beacon* avec des topologies maillées ou en arbre.

IV. METHODOLOGIE

L'originalité de cette thèse est de proposer une méthode d'accès au médium hautement dynamique pour permettre l'optimisation de la fréquence de réveil de chaque nœud ou groupe de nœuds, en vue de gagner en autonomie énergétique. Par rapport aux travaux de la communauté scientifique, nous prévoyons de baser la dynamique du réseau sur l'activité de la personne pour obtenir des gains énergétiques substantiels et parvenir à des autonomies de plusieurs mois dans des scénarii où les dispositifs actuels ne dépassent pas deux ou trois semaines. Alors que la plupart des travaux actuels s'appuient sur une auto-configuration des nœuds reposant sur l'approche temporellement statique (cycles réguliers alternant activité/veille), nous prévoyons ici de reconfigurer le protocole MAC de tout ou partie du réseau en adoptant comme ordre d'idée temporel, la durée d'interprétation d'une Interaction Homme-Machine (IHM). En effet, le temps pour réaliser une IHM (planification, réalisation et retour perceptif de l'interaction) peut être considéré comme « lent » comparé aux temps de réaction du réseau ; pour des questions d'acceptabilité et de satisfaction d'IHM par une personne dans un environnement ambiant, la latence imposée par le réseau impliqué dans le système global ne doit pas perturber la réactivité de l'IHM : la latence doit donc être suffisamment faible pour être négligeable. Cependant, une latence plus importante pour le réseau, favorisant l'économie d'énergie, mais transparente pour l'utilisateur, car systématiquement inférieure au temps de l'interaction, peut être judicieusement et dynamiquement prévue pour gagner en autonomie : le réseau est alors volontairement plus lent, mais dans des proportions imperceptibles par l'utilisateur, donc acceptables.

Nous estimons qu'il y a ici une problématique de recherche originale et innovante, pour optimiser les mécanismes dynamiques de veille en fonction d'une activité humaine, compte tenu :

1. de la variabilité de l'activité de la personne : la personne n'est pas systématiquement active : elle peut être absente de son

domicile ou endormie. Ainsi, pendant ces périodes d'activités réduites ou inexistantes, les nœuds du réseau sont peu sollicités et peuvent profiter de larges plages de sommeil pour économiser fortement leur énergie. A l'inverse, suite à la détection d'une activité plus importante de la personne, le réseau doit être plus réactif et les protocoles inventés dans cette thèse devront être capables de réduire dynamiquement les durées de sommeil des nœuds concernés,

2. de la lenteur possible de l'interaction par rapport à la rapidité du réseau : le réseau étant très rapide (par exemple [1], 4 ms pour se réveiller, se synchroniser, émettre une donnée, recevoir un acquittement et se rendormir) et le temps de l'interaction étant variable et dépendant de la modalité de l'interaction, le réseau peut être artificiellement ralenti. Il serait d'autant plus intéressant de profiter de cette lenteur pour, par exemple, prendre le temps de réveiller proactivement un groupe de nœuds potentiellement concernés par l'interaction à venir, pour les rendormir ensuite s'ils ne sont finalement pas concernés, ce que nous saurons une fois la compréhension de l'interaction totalement aboutie.

Des stratégies de groupes et de reparamétrages dynamiques peuvent alors être avantageusement mises en œuvre pour parvenir à des autonomies accrues.

Enfin, méthodologiquement, l'équipe encadrante, constituée de spécialistes en réseau et en IHM, vise l'élaboration de modèles protocolaires théoriques basés sur des résultats d'expérimentation pour identifier les paramètres des différents processus à disposition (mise en veille des nœuds, stratégies de communication et leurs impacts énergétiques, etc.) et les métriques acceptables par l'IHM pour proposer un modèle pertinent et le plus proche possible de la réalité, ce qui constitue une originalité dans la communauté « réseaux ». Afin d'atteindre l'objectif fixé, nous nous appuyons sur :

- des travaux précédents (comme ceux présentés en [1][4][5][6]) menés dans l'équipe IRT de l'IRIT qui concerne l'ingénierie des protocoles d'accès au médium pour les réseaux de capteurs sans fil et l'Internet des Objets,
- des travaux précédents de l'équipe ELIPSE dans le cadre du projet ECAMI [7][8] sur l'interaction tactile et vocale,
- des outils d'ingénierie des protocoles comme par exemple : (i) pour la partie spécification et modélisation, les automates d'états finis ou, mieux les Réseaux de Pétri Temporisés (à définir au début de la thèse); (ii) pour la partie simulation, les simulateurs de réseaux tels que NS3, OPNET ou OMNET++... ; (iii) pour la partie *testbed* et prototypage réel, les plateformes telles que FIT/IoT Lab de l'INRIA et *OpenWiNo* [9] de l'IRIT.
- des outils : (i) d'observation et de modélisation de l'activité interactionnelle de la personne tels que ECSD [10] de l'IRIT ; (ii) des formalismes de descriptifs de traces [10] et d'interfaces [11].
- la Maison Intelligente de l'IUT de Blagnac (MIB) comme terrain d'expérimentation.

V. CONCLUSION

L'innovation en rupture de ce projet se situe à deux niveaux : il n'existe pas à ce jour de couche MAC qui s'adapte dynamiquement aux variations d'activités des personnes en interaction, afin d'optimiser les périodes de sommeil des nœuds sans fil, et donc, diminuer la consommation énergétique des nœuds autonomes du réseau de capteurs et d'actionneurs. La seconde rupture se situe elle, au niveau méthodologique, sur les aspects d'ingénierie des protocoles : la communauté scientifique est plutôt habituée à utiliser des méthodes théoriques, formelles et des outils de simulations pour valider les innovations protocolaires. Nous allons utiliser avantageusement nos compétences dans le domaine du *testbed* sur prototypes réels pour évaluer nos contributions en collant au plus près de la réalité.

Des tests réels, incluant l'IHM, sont prévus en fin de projet.

L'objectif final du travail est de démontrer la pertinence de la collaboration fine entre le réseau sans fil et l'IHM pour des gains énergétiques substantiels.

REFERENCES

- [1] Eric Campo, Adrien Van den Bossche, Nadine Vigouroux, Frédéric Vella, Xavier Daran, Edyta Osuch, Jean-Claude Marquié, Isabelle Etcheverry, Pierre Rumeau. *Déploiement et expérimentation d'un système socio-technique pour la surveillance des activités comportementales de personnes en perte d'autonomie dans un habitat intelligent*. Workshop - Alzheimer, Approche pluridisciplinaire - De la recherche clinique aux avancées technologiques, Toulouse, France, 25/01/2013, 2013.
- [2] Nadine Vigouroux, Adrien Van den Bossche, Frédéric Vella, Eric Campo, Mathilde Blanc Machado, Thierry Val. *MIOZ : a Wizard of Oz platform to design ambient technologies (poster)*. Dans : Recherche en Imagerie et Technologies pour la Santé (RITS 2015), Dourdan, 25/03/2015-27/03/2015, Frédérique Frouin, Véronique Mignonney, Catherine Marque (Eds.), IEEE French Section, p. 168-169, 2015.
- [3] Nicolas Fourty, Adrien Van den Bossche, Thierry 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, Vol. 1, juin 2012.
- [4] Juan Lu, Adrien Van den Bossche, Eric Campo. *Enabling Guaranteed Beacon and Data Slots in Multi-hop Mesh Sensor Networks for Home Health Monitoring*. International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC 2012), Venice, Italy, 24/06/12-29/06/12.
- [5] Adrien Van den Bossche, Thierry Val, Rejane Dalce. *SISP: a lightweight Synchronization Protocol for Wireless Sensor Networks*. IEEE Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2011), Toulouse, 05/09/11-09/09/11.
- [6] Adrien Van den Bossche, Eric Campo, Nadine Vigouroux, Frédéric Vella. *Réseau de capteurs sans fil distribués pour le monitoring des activités de vie au sein d'une maison intelligente*. Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UbiMob 2014), Sophia Antipolis, 05/06/14-06/06/14, 2014.
- [7] Frédéric Vella, Nadine Vigouroux, Adrien Van den Bossche, Eric Campo, Blandine Boudet, Pierre Rumeau. *Etude de l'Accessibilité de l'interaction dans une Maison Intelligente par des personnes fragilisées pour une meilleure autonomie à domicile*. Journées Annuelles de la Société Française de Gériatrie et Gérontologie (JASFGG 2013), Paris, France, 08/10/13-10/10/13, Springer, p. 176, 2013.
- [8] Adrien Van den Bossche, Frédéric Vella. *Une plateforme d'expérimentation pour les systèmes d'interaction destinés aux personnes en situations de handicap*. Journées francophones Mobilité et Ubiquité (UbiMob 2013), Nancy, France, 05/06/13-06/06/13, Kent State University, juin 2013.
- [9] Adrien Van den Bossche, Thierry 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, 05/06/13-06/06/13, INRIA, juin 2013.
- [10] Frédéric Vella, Damien Sauzin, Nadine Vigouroux. *An evaluation tool the subject / the pointing device pair (regular paper)*. Dans : International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics,

- San Francisco, 21/07/2012-25/07/2012, Taylor & Francis Group, p. 559-568, 2012.
- [11] Frédéric Vella, Nadine Vigouroux. Une représentation générique des claviers virtuels pour une comparaison de leur utilisabilité (short paper). Dans : Ergo IA, <http://www.ergoia.estia.fr/>, 13/10/2010-15/10/2010, ACM, (support électronique), octobre 2010.
- [12] Lin, E.-Y.A; Rabaey, J.M.; Wolisz, A, *Power-efficient rendez-vous schemes for dense wireless sensor networks*, IEEE International Conference on Communications, vol.7, no., pp.3769,3776 Vol.7, 20-24 June 2004
- [13] O. Sentieys, O. Berder, P. Quemerais and M. Cartron, *Wake-up Interval Optimization for Sensor Networks with Rendez-vous Schemes*, Workshop on Design and Architectures for Signal and Image Processing (DASIP), 2007.
- [14] E.Y Lin, J. Rabaey, S. Wiethoelter, and A. Wolitz. *Receiver Initiated Rendez-vous Schemes for Sensor Networks*. In Proc. of IEEE Globecom, 2005.
- [15] E.Y. Lin, J. Rabaey, A. Wolisz. *Power-Efficient Rendez-vous Schemes for Dense Wireless Sensor Networks*. In IEEE International Conference on Communications ICC, 2004.
- [16] Barnawi Abdulaziz, Y. (2012). *Adaptive tdma slot assignment using request aggregation in wireless sensor networks*. 3rd International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT), vol 10, p78 85.
- [17] Gherairi, S., Ouni, S., and Kamoun, F. (2009). *Sleep/wakeup and tdma scheduling access protocols in sensor network : A survey*. In International Conference of Wireless Networks, ICWN09, vol 2, pp625-631, LAS Vegas USA.
- [18] Dae-Suk, Y., Park, S.-S., Choi, S. S., and Park, S. H. (2008). *Dynamic s-mac protocol for wireless sensor networks based on network trace states*. 14th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC).
- [19] Heidemann, J., Wei, Y., and Estrin, D. (2002). *An energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks*. In The 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM), volume 3, page 1567-1576, New York, NY, USA.
- [20] Isabelle Robert-Bobée, division Enquêtes et études démographiques, *Projections de population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050*, INSEE, n°1089 juillet 2006.