ÉNERGIE ET RADIOSCIENCES

Co-conception hardware / software pour la minimisation de la consommation d'un nœud de capteur dans un réseau zigbee

F. Itoua Engoti*, **R. Quéré****, **M. Lalande*****

* XLIM – CNRS, UMR 7252, frankitoua@yahoo.fr

** XLIM – CNRS, UMR 7252, raymond.quere@xlim.fr

*** XLIM – CNRS, UMR 7252, michele.lalande @xlim.fr

Mots clés — Réseaux de capteurs, basse consommation, Co-conception hardware/software.

Sensor networks, low-power consumption, hardware / software co-design.

Résumés

Dans cet article nous proposons une contribution à la minimisation de la consommation d'un nœud de capteur à travers une Co-conception hardware / software pour un réseau zigbee. Cette étude permet la prise en compte de quelques paramètres matériels et logiciels avant la mise en place d'un réseau zigbee.

In this paper, we propose a new methodology to minimize the power consumption of a sensor node in the ZigBee network through a hardware/software co-design. This method require some of the additional hardware and software settings before accomplishing the setup of ZigBee network.

INTRODUCTION

Les progrès réalisés dans le domaine de la micro-électronique permettent de réduire sans cesse la consommation des nœuds des réseaux de capteurs sans fils. Cependant l'architecture du réseau, sa topologie, son mode opératoire et la nature des données à mesurer restent des paramètres cruciaux pour maximiser la durée de vie des nœuds du réseau. Le protocole « Zigbee » est réputé pour sa faible consommation et la robustesse de la transmission. De plus la disponibilité de nombreux dispositifs basés sur ce protocole permet le déploiement d'un réseau à moindre coût. Nous avons choisi un matériel disponible en « open source » [www.libelium.com/products/waspmote/] pour implémenter un réseau de surveillance d'un bâtiment universitaire.

L'objectif à atteindre porte donc sur l'augmentation de la durée de vie du réseau de capteurs. L'optimisation de la durée de vie d'un nœud ne signifie pas seulement l'ajout d'un organe de récupération d'énergie ou d'une optimisation inter-couches, elle s'appuie sur la prise en compte de la Co-conception matériel et logiciel du nœud. Dans cette communication nous proposons une optimisation conjointe des parties matérielle et logicielle d'un nœud de capteurs pour maximiser sa durée de vie au sein du réseau considéré.

1. LE RÉSEAU MEDYBAT:

Le réseau déployé a pour objet le diagnostic énergétique dynamique d'un bâtiment public pour sa modélisation énergétique. Les données recueillies constituent les entrées d'un modèle thermique dynamique développé par une équipe de thermiciens du Génie Civil. Le réseau est implanté dans un bâtiment d'enseignement de 3 étages dont la structure est représentée à la Figure 1. Le réseau comprend 50 nœuds répartis sur les 3 étages et chaque nœud gère en moyenne 3 capteurs qui sont soit des capteurs de mesure soit des capteurs d'évènements. Certains « End Devices (ED) » dorment et se réveillent juste quand ils ont des données (température, humidité, luminosité et le niveau de batterie) à envoyer après une période définie (nœud synchrone). D'autres (nœud asynchrone) font les même mesures tout en surveillant les changements d'états de certains capteurs (présence, ouvertures de portes, de fenêtres, …).

Le réseau ayant principalement une fonction de supervision, il est déployé suivant une structure en étoile [1]. Le coordinateur est alimenté électriquement, et en écoute permanente du canal. Le protocole ZigBee s'appuie sur ce standard IEEE 802.15.4 pour les couches physique et liaison. Pour des raisons de flexibilité de programmation, notre réseau fonctionne avec le standard IEEE 802.15.4 dans la bande 2,4 GHz ; c'est-à-dire que les programmes de gestion des nœuds sont implémentés juste au-dessus de la couche MAC du protocole. L'architecture du réseau étant en étoile il n'était pas nécessaire d'implémenter la « pile » Zigbee permettant le routage du réseau maillé. Par ailleurs, on a choisi le mode « Non Beacon » [2] du protocole 802.15.4 qui permet plus de flexibilité dans les gestions des algorithmes de communication des données.

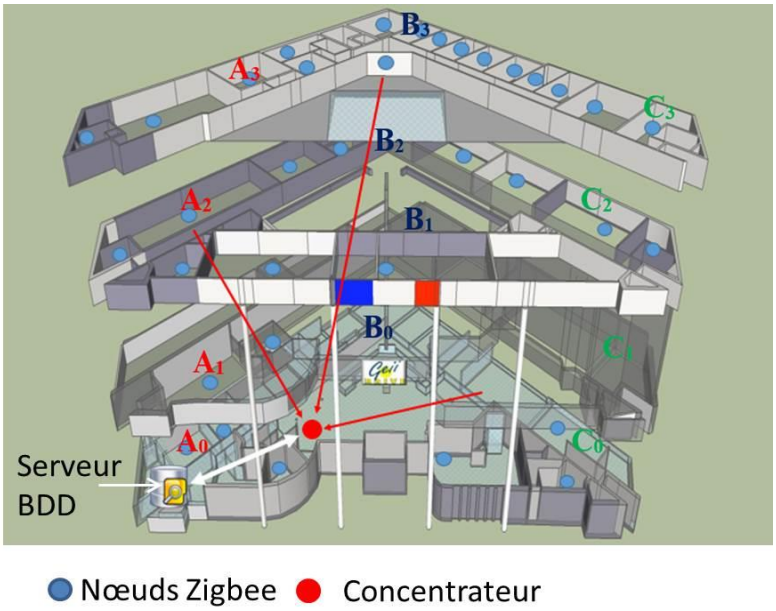

Figure 1: Architecture du réseau "MEDYBAT » implanté dans un bâtiment d'enseignement sur 3 étages. Le réseau est organisé en étoile autour d'un concentrateur (point rouge) lié à un serveur de Base de Données.

2. LES EFFETS DU CANAL:

La disposition des bornes WIFI, l'utilisation des connexions Bluetooth et le déplacement des personnes dans le bâtiment engendrent un encombrement et des perturbations au niveau du canal de propagation [3] qui peuvent générer des retransmissions du niveau d'un nœud. De plus, la coupure des liaisons directes entre les nœuds et la station de base (SB) par des obstacles occasionne une variation du RSSI (Received Signal Strength Indication). Nous avons mené une expérience entre deux nœuds à 5 m de distance en lien direct. Le déplacement d'une personne dans cet environnement a causé une variation de 8 dB.

Ne possédant pas les modélisations des canaux dans le bâtiment pour pouvoir diminuer le risque des retransmissions dû à l'affaiblissement du signal, nous effectuons des mesures de bruit sur les 12 canaux disponibles dans le Xbee S1 pro avec un logiciel dédié. Le canal ayant le moins de bruit est sélectionné comme canal de transmission. Pour s'assurer de la bonne communication entre les nœuds et la station de base et avoir un modèle statique du canal, nous mesurons le RSSI des nœuds An, Bn, Cn ($0 \leq n \leq 3$) du rez de chaussée aux 3 étages du bâtiment. La position de chaque nœud est indiquée dans la Figure 1.

La Figure 2 nous montre que le RSSI reçu sur la SB lorsque les nœuds An, Bn, Cn émettent avec une puissance de 18dBm. La puissance reçue est supérieure à la sensibilité de la SB qui est de -100dbm pour chaque étage du bâtiment.

Nous vérifions le rapport RSSI et TEP (taux d'erreur paquet) en vérifiant les trames reçues à la SB pendant une semaine pour chaque nœud. Chaque nœud envoie une trame toutes les 30 minutes. Avec le temps d'exécution du code, nous estimons 329 le nombre de trames transmises par semaine.

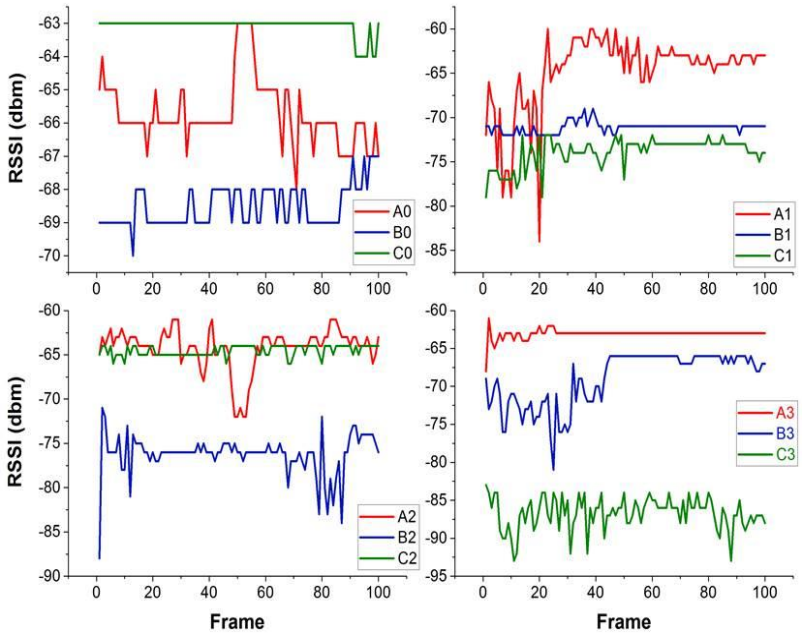

Figure 2: RSSI des nœuds An, Bn, Cn à la SB.

Nous avons remarqué que lors que le RSSI est supérieur à -70dbm, le risque de perte de paquets est très faible (<0,3% TEP). On peut alors baisser la puissance d'émission pour économiser l'énergie de la batterie.

3. NŒUD DE CAPTEUR (END DEVICE):

Nous pouvons définir deux types d'algorithmes de programmation des nœuds grâce aux différents modes de fonctionnement et à nos besoins en termes d'application.

- Nœuds Synchrones:

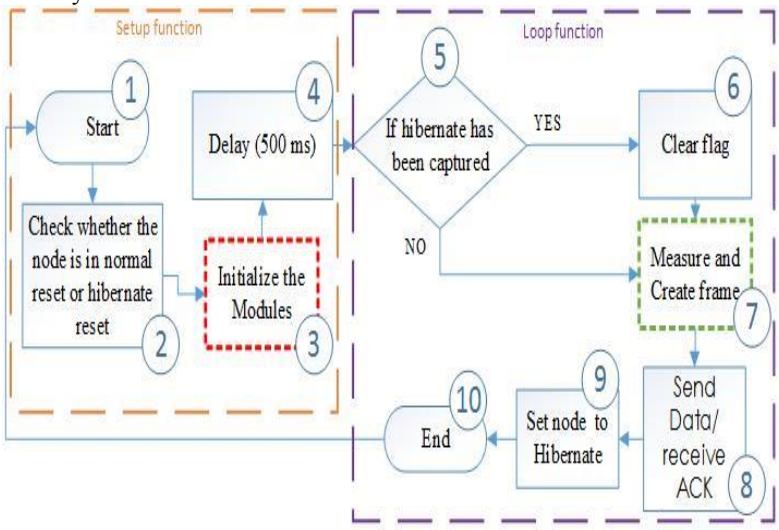

Figure 3: Algorithme synchrone

Détaillé dans la Figure 3, les nœuds synchrones reviennent à la fonction Setup du code à leur réveil. Ils exécutent donc les mêmes états à chaque cycle.

- Nœuds Asynchrones :

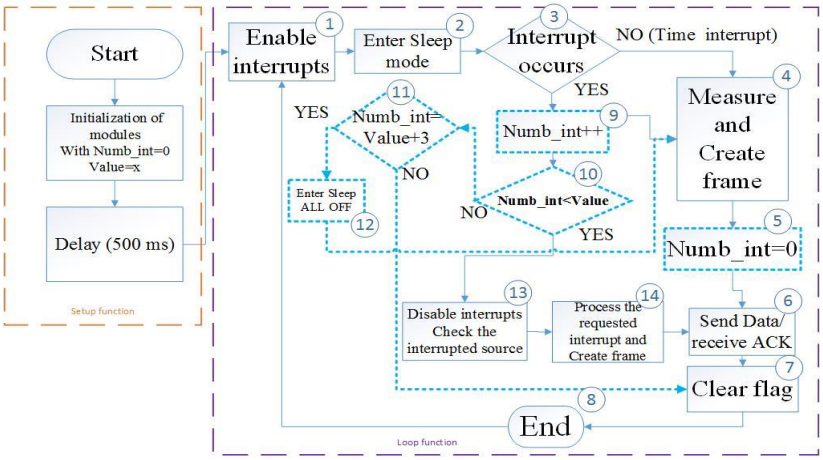

Figure 4: Algorithme asynchrone

Ce sont des nœuds qui peuvent rentrer facilement dans une boucle si l'interruption est en continu (Figure 4).

La consommation d'un nœud diffère selon l'algorithme sélectionné. Comme l'indique la Figure 5 en inscrivant certaines étapes de l'algorithme en dur sur le matériel ou en court-circuitant les sources d'interruption (value=3) à un rythme régulier, il est possible d'accroitre la durée de vie du nœud.

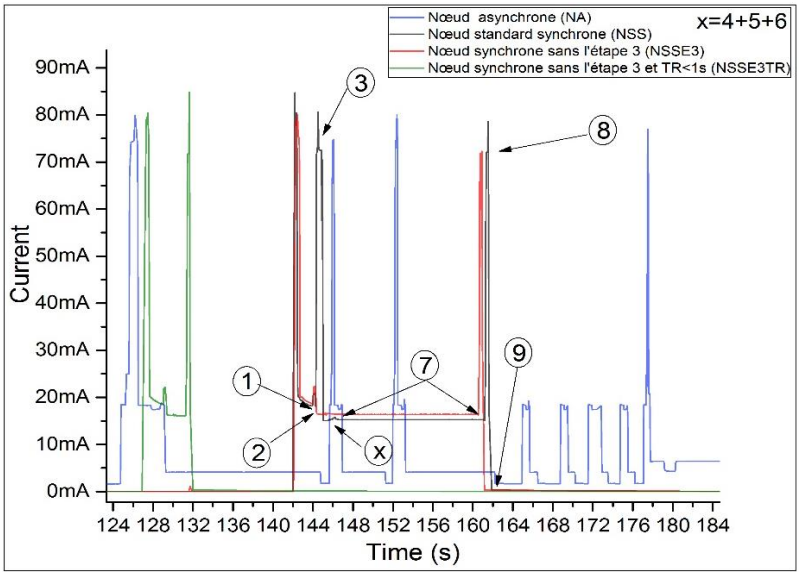

Figure 5: Consommation des nœuds.

Nous constatons dans deux de ces courbes (noire et rouge) une consommation constante pendant 15s liée au temps de réponse (TR) du capteur d'humidité. La courbe verte quant à elle représente le nœud avec les capteurs ayant un TR ≤ 1s. Dans le cas d'un nœud asynchrone (courbe bleue) la nécessité de capturer un évènement empêche une mise en hibernation complète du nœud. On utilise alors le mode « deep sleep » dont la consommation est de 55µA. Par ailleurs la consommation du capteur –ici un détecteur de présence à infrarouge- est non négligeable puisqu'elle est de 100µA. Il en résulte que ce type de capteur d'évènement est très énergivore et des solutions doivent être trouvées au niveau de la consommation du capteur lui-même.

A partir des résultats de consommation d'un cycle de chaque nœud, nous avons obtenu par extrapolation la durée de vie de chaque nœud. Nous avons tenu compte de la consommation du nœud en mode actif, en hibernation ainsi que l'autodécharge de la batterie. Le tableau 1 indique la durée de vie des nœuds. Il souligne le fait que pour l'application citée, le NSSE3TR est le moins consommateur d'énergie.

Nœud:	NA	NSS	NSSE3	NSSE3TR
Durée de vie	3 mois	13 mois	14 mois	21 mois

Tableau 1 Durée de vie des nœuds

Les données récoltées dans le réseau de capteurs viennent confirmer la tendance des résultats sur la durée de vie des nœuds du tableau 1 (NA, NSS, NSSE3) comme le met en évidence les figures 6 et 7.

Ces données représentent la charge de la batterie en pourcentage. Au déploiement du réseau (14/10/2014), le niveau de batterie était de 96% pour les nœuds synchrones NSS et NSSE3.

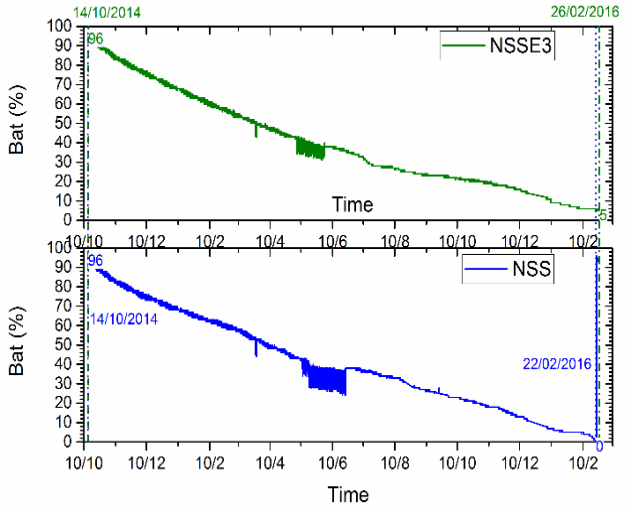

Figure 6: Consommation nœuds synchrones

La courbe bleue représente le niveau de batterie d'un NSS, qui a mis environ 16 mois (22/02/2016) à atteindre le niveau 0 %.

La courbe verte quant à elle représente le niveau de batterie d'un NSSE3, en date du 22/02/2016 le niveau de batterie du NSSE3 est encore 5 %. Ce qui confirme la tendance qu'on retrouve dans la taleau1.

La figure 7 représente la durée de vie d'un nœud asynchrone. Elle a été mesurée pour un NA ayant environ 88 % de niveau de batterie. Les résultats montrent que le NA a atteint son niveau 0% au-delà de 90 jours.

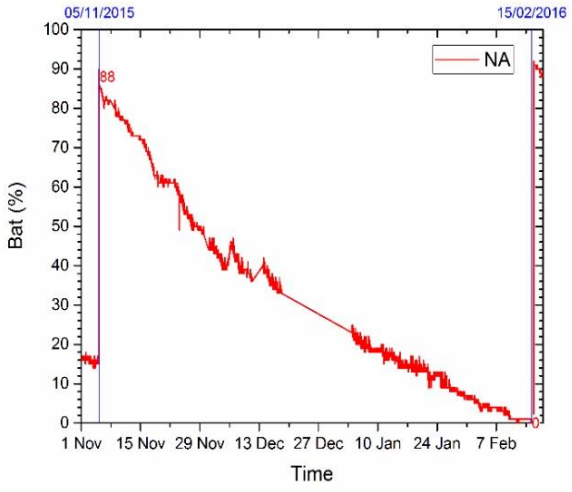

Figure 7: consommation nœud asynchrone

Les différences de résultats que l'on constate entre les mesures réelles et les résultats obtenus par extrapolation viennent du fait que l'autodécharge de la batterie n'est pas constante (les performances de fonctionnement de celle-ci dépendent en effet des variations de température).

4. CONCLUSION:

Dans ce document nous avons présenté une étude sur l'installation d'un réseau de capteurs pour la supervision d'un bâtiment. Nous avons optimisé deux types de nœuds en utilisant une Co-conception hardware/ software. Cette méthode optimisation nous a permis d'obtenir les durées de vie présentées dans la Figure 5. La suite de notre travail consistera à créer un nœud de capteur moins consommateur en énergie (en mode actif et sleep), intégrant un organe de récupération d'énergie (électromagnétique ou solaire) et la Co-conception hardware / software avec la gestion du canal dynamique. Par ailleurs on pourra mettre en œuvre des circuits de dernière génération dont la consommation intrinsèque est diminuée d'un facteur 5 par rapport au nœud utilisé dans ce travail.

5. REMERCIEMENTS:

Ce travail a été partiellement financé dans le cadre de la chaire « Systèmes Intégrés Sécurisés » du LABEX Σ-LIM.

Références bibliographiques:

[1] A. Darif, R. Saadane, and D. Aboutajdine, "Energy consumption of IR-UWB based WSN in a start topology," in 2014 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), 2014, pp. 663–667.

[2] A. Prince-Pike, "Power characterisation of a Zigbee wireless network in a real time monitoring application," Auckland University of Technology, 2009.

[3] A. Kara and H. L. Bertoni, "Effect of people moving near short-range indoor propagation links at 2.45 GHz," J. Commun. Netw., vol. 8, no. 3, pp. 286–289, Sep. 2006.