

# Protocoles de communication faibles latences et faibles consommations à base de wake-up radio

Faycal Ait Aoudia, Matthieu Gautier et Olivier Berder

University de Rennes 1, IRISA

faycal.ait-aoudia@irisa.fr, matthieu.gautier@irisa.fr, olivier.berder@irisa.fr

**Abstract**—La durée de vie est une caractéristique importante des réseaux de capteurs. La communication étant généralement la tâche la plus gourmande en énergie, de nombreux protocoles de communication ont été proposés afin de réduire les communications, ils reposent majoritairement sur le concept du réveil périodique des nœuds. Toutefois, ces dernières années, de nouveaux types de récepteurs Ultra Low Power (ULP), appelés wake-up radios, sont apparus. Ces dispositifs permettent l'écoute en continu du canal de communication tout en ayant une consommation d'énergie au moins un ordre de grandeur inférieure à celle des émetteurs-récepteurs typiques. La wake-up radio ne peut réveiller le reste du système qu'en cas de besoin, minimisant ainsi l'écoute inutile. Dans cette étude, nous présentons une expérimentation et une étude analytique qui permettent le dimensionnement des protocoles de communication utilisant les wake-up radios.

## I. INTRODUCTION

Les réseaux de capteurs sans fil permettent de nombreuses applications comme le monitoring de bâtiments, le transport intelligent ou la surveillance médicale, mais malheureusement la faible quantité d'énergie qu'ils peuvent embarquer limite leur durée de vie. Une approche prometteuse pour palier ce problème est l'utilisation des wake-up radios [1]. Chaque nœud est équipé d'une radio secondaire très faible consommation permettant l'écoute en continu du canal et ainsi la mise en veille des autres éléments du nœud. Les wake-up radios sont ensuite en mesure de réveiller le système complet en envoyant des interruptions quand elles reçoivent une balise de réveil, appelée Wake-up Beacon (WuB). Cette approche permet une communication parfaitement asynchrone, minimisant ainsi l'écoute du canal qui est une des principales sources de gaspillage d'énergie. De plus, les nouvelles wake-up radios intègrent des capacités de calcul permettant de traiter les données contenues dans le WuB. Ces capacités de calcul permettent notamment un décodage d'adresses afin que seul un destinataire soit réveillé par le WuB.

Pour exploiter pleinement cette technologie, de nouveaux protocoles de communication doivent être conçus et optimisés [2]. Dans ce papier, nous évaluons expérimentalement et analytiquement les avantages de l'utilisation de la wake-up radio dans les réseaux de capteurs bas débit. Pour atteindre cet objectif, un protocole utilisant la wake-up radio a été implémenté sur une plateforme matérielle. La communication est initiée par l'émetteur et intègre un accusé de réception. Le protocole PW-MAC [3] a également été implémenté afin de permettre une comparaison avec une approche traditionnelle.

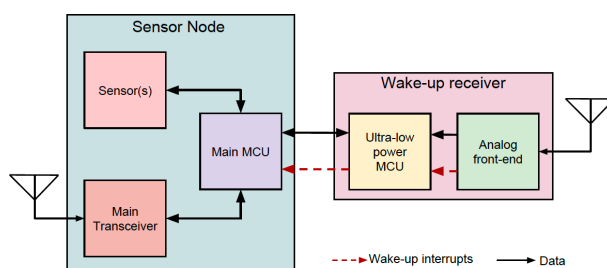


Fig. 1. Architecture d'un nœud équipé d'une wake-up radio.

Ce protocole asynchrone cible l'efficacité énergétique en se basant sur l'approche traditionnelle de réveil périodique du nœud qui initie la communication (l'émetteur dans notre cas). Des mesures de consommation énergétique ont été réalisées et intégrées dans un modèle analytique permettant de discuter les avantages de l'utilisation des wake-up radios.

## II. PROTOCOLE MAC UTILISANT LA WAKE-UP RADIO

La partie de droite de la Fig. 1 montre l'architecture de la wake-up radio qui est composée de deux blocs principaux, un front-end analogique et un micro-contrôleur (MCU) Ultra-Low Power (ULP). Seul le front-end radio est toujours éveillé, tandis que le micro-contrôleur est réveillé par le front-end uniquement lorsqu'une balise de réveil (WuB) est détectée. La Fig. 2 montre les différentes étapes de réception d'un WuB. Lorsque la balise est reçue, le front-end analogique réveille le micro-contrôleur ULP intégré dans la wake-up radio. Ce micro-contrôleur lit les bits de données entrants et les traite (pour détecter une adresse par exemple). Si nécessaire, le micro-contrôleur ULP réveille le micro-contrôleur principal du nœud qui peut alors utiliser l'émetteur-récepteur principal et poursuivre le processus de communication.

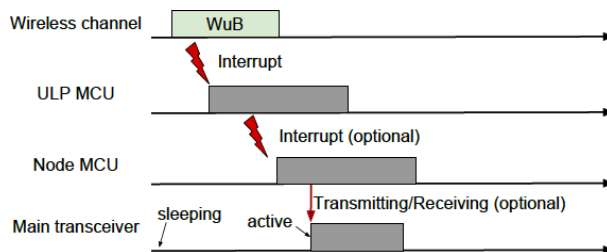


Fig. 2. Étapes de réception d'un WuB.

Dans cette étude, la wake-up radio de [4] est utilisée et évaluée dans un réseau complet. Cette wake-up radio reçoit des données modulées en OOK (On-Off Keying) à 1 kbps dans la bande 868 MHz. Dans ces conditions, sa sensibilité est mesurée à  $-55$  dBm. Le micro-contrôleur ULP intégré dans la wake-up radio est un PIC12LF1552 de Microchip. La consommation mesurée est de  $1,83 \mu\text{W}$  en mode d'écoute continue et de  $284 \mu\text{W}$  quand le micro-contrôleur ULP est éveillé pour traiter les données reçues.

### III. LATENCE ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Afin d'évaluer notre protocole utilisant la wake-radio, nous le comparons à PW-MAC. La Figure 3 montre une mesure de la puissance consommée par un nœud utilisant PW-MAC. Le nœud réveille périodiquement la radio afin de recevoir des balises du protocole. Ceci induit une écoute inutile quand aucun paquet n'est reçu et gaspille donc de l'énergie. Par contre, lorsque la wake-up radio est utilisée, le nœud se réveille que lorsqu'il a besoin de recevoir ou d'envoyer un paquet comme le montre la Figure 4. L'écoute inutile est donc éliminée.

A partir de ces mesures expérimentales, les avantages de la wake-up radio par rapport à PW-MAC ont été évalués analytiquement en termes de consommation d'énergie et de latence pour les valeurs de l'intervalle de réveil de PW-MAC allant de 50 ms à 2 s. La Figure 5 montre les résultats pour nœud qui reçoit en moyenne 1 paquet par seconde, génère en local des paquets au même rythme et transmet tous les paquets.

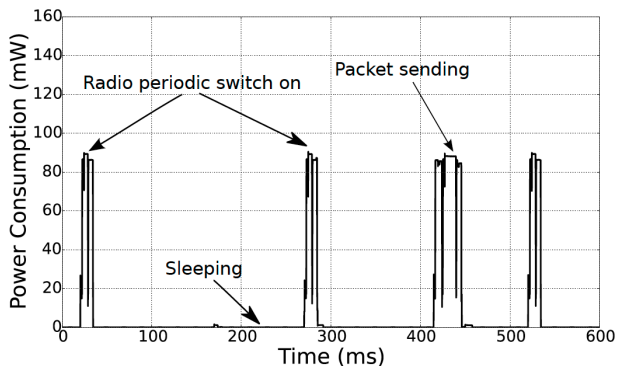


Fig. 3. Transmission d'un paquet avec PW-MAC (pour un intervalle de réveil de 250 ms).

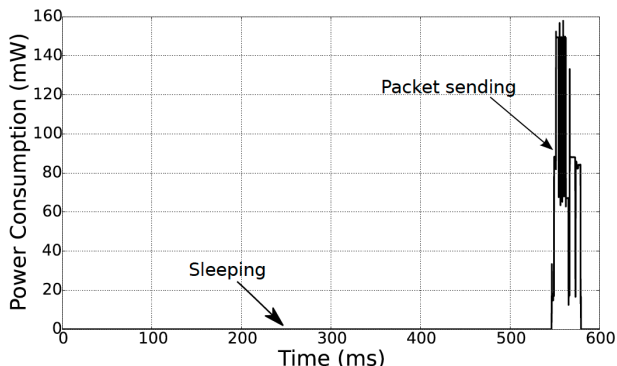


Fig. 4. Transmission d'un paquet avec la wake-up radio.

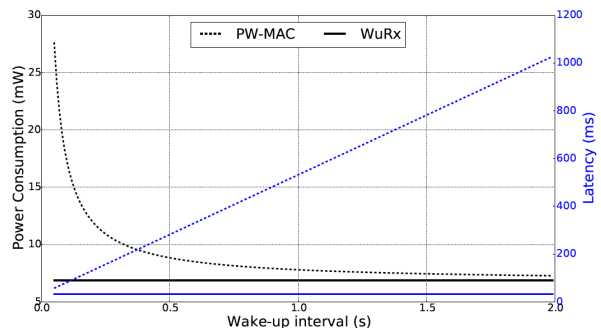


Fig. 5. Énergie consommée et latence.

Comme l'approche par wake-up radio ne nécessite pas de réveils périodiques, l'intervalle de réveil n'a pas d'influence sur ses performances, par contre il impacte fortement celles de PW-MAC.

La Figure 5 montre que même pour des valeurs élevées de l'intervalle de réveil (2 s), la puissance consommée par PW-MAC est encore supérieure à celle de la wake-up radio. Des valeurs faibles de l'intervalle de réveil (50 ms) conduisent à de faibles latences pour PW-MAC, proches de celles obtenues avec la wake-up radio, mais au prix d'une forte augmentation de la consommation d'énergie. Pour une valeur typique de l'intervalle de réveil de 250 ms, l'utilisation de la wake-up radio permet d'obtenir un gain en consommation d'énergie de 37,1 % et un gain en latence de 79% par rapport à PW-MAC.

### IV. CONCLUSION

Les résultats préliminaires présentés dans ce travail montrent les avantages des wake-up radios en termes de consommation d'énergie et de latence. Nous étendons actuellement notre modèle analytique et réalisons plus d'expérimentations afin d'évaluer les avantages potentiels des wake-up radios en fonction des paramètres tels que sa consommation d'énergie, le débit des nœuds, la taille des WuBs, l'intervalle de réveil des protocoles MAC traditionnels... L'objectif final de notre étude est de donner les outils pour la conception de protocoles utilisant des wake-up radios.

### REFERENCES

- [1] D. Spenza, M. Magno, S. Basagni, L. Benini, M. Paoli, and C. Petrioli, "Beyond duty cycling : Wake-up radio with selective awakenings for long-lived wireless sensing systems", in *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, April 2015.
- [2] F. Ait Aoudia, M. Gautier and O. Berder, "OPWUM : Opportunistic MAC Protocol Leveraging Wake-Up Receivers in WSNs", *Journal of Sensors*, 2016.
- [3] L. Tang, Y. Sun, O. Gurewitz, and D. Johnson, "PW-MAC : An energy efficient predictive-wakeup MAC protocol for wireless sensor networks", in *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, April 2011.
- [4] M. Magno and L. Benini, "An ultra low power high sensitivity wake-up radio receiver with addressing capability", in *IEEE 10th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, October 2014.