ÉNERGIE ET RADIOSCIENCES

Récepteur de type « wake-up » radio à identification par empreinte fréquentielle

Florin Doru HUTU, Guillaume VILLEMAUD, Jean-Marie GORCE

Univ Lyon, INSA Lyon, Inria, CITI, F-69621 Villeurbanne, France

Mots clés *(en français et en anglais)* : Radiocommunications faible consommation, internet des objets; ultra-low power consumption radio communications, internet of things.

1. Introduction

Depuis quelques années nous assistons à l'émergence des objets connectés (IoT) dans une multitude d'activités humaines tels que le transport, la domotique, la santé, etc. Il est envisagé que d'ici quelques années, tout objet de la vie courante va échanger une certaine quantité d'information en utilisant une liaison radio qui, dans la plupart des scénarios envisagées, sera faite de manière sporadique. De plus, les ressources énergétiques des objets connectés seront limitées, la plupart seront alimentées par batteries et déployés dans des endroits inaccessibles. C'est pour ces raisons que l'optimisation de la consommation énergétique est primordiale afin d'assurer une durée de vie raisonnable pour les capteurs et de diminuer l'empreinte énergétique de ces objets [1].

A tous les niveaux, des stratégies sont étudiées afin d'optimiser la consommation énergétique. Ainsi, l'augmentation de l'efficacité énergétique de l'amplificateur de puissance, la brique la plus énergivore de la chaine de transmission est envisagée par la proposition des classes d'amplification à haut rendement [2]. A plus haut niveau, des moyens qui permettent l'extinction complète ou partielle des front-ends radio pendant les périodes d'inactivités sont étudiées. Architectures matérielles et logicielles tels que le LEAP (Low Power Aware Processing) capables de surveiller les ressources énergétiques sont mises en place afin de planifier la consommation de différents sous-systèmes en fonction des besoins. A des niveaux encore plus élevés, des protocoles d'accès au medium de communication (MAC), sont proposés afin d'optimiser de manière globale l'énergie consommée par le réseau formé des objets communicants.

D'un autre coté, en parallèle avec tous ces efforts de réduire la consommation énergétique des objets communicants, on assiste à une augmentation de l'efficacité des moyens de récupération d'énergie ambiante. Ainsi, suivant l'application envisagée, plusieurs types d'énergie peuvent être récupères avec une efficacité relativement grande : énergie vibratoire, énergie provenant des ondes électromagnétiques, solaire, thermique, etc. Ainsi, il devient possible de concevoir des objets communicants qui seront alimentés grâce à l'énergie ambiante.

Dans ce contexte, l'objectif de ce papier est de présenter une stratégie de réduction de l'énergie consommée par le front end radio en état de veille. Plus précisément, les performances d'un récepteur de type « wake-up radio » quasi passif [3] et qui utilise une empreinte fréquentielle afin de cibler l'objet à réveiller, seront présentés.

2. Description de l'architecture de récepteur proposée

Afin de réduire la consommation d'énergie due à la partie radio, deux stratégies sont utilisés. La première consiste à éteindre les front-ends radio et de les réveiller périodiquement afin de scruter le canal après une communication qui lui est destiné. Globalement, cette stratégie n'est pas optimale vu que la retransmission des paquets peut avoir lieu avant que la communication aboutisse. Une autre stratégie consiste à ajouter un récepteur auxiliaire (wake-up radio), ultra faible consommation qui pilote l'extinction et l'allumage du front end principal, plus énergivore.

Généralement, les récepteurs proposés dans la littérature scientifique utilisent la modulation OOK (On-Off Keying) afin de transmettre l'identifiant de l'objet à réveiller. L'emploi de ce type de modulation permet d'utiliser une structure passive (détecteur d'enveloppe) afin de démoduler le signal reçu, ce qui emmène à des consommations énergétiques de l'ordre de µW pour des sensibilités autour de -50 dBm. Le signal démodulé est par la suite comparé avec l'identifiant contenu dans la mémoire d'un microcontrôleur qui déclenche l'alimentation du front end principal si les deux signaux sont identiques.

Dans ce cadre, dans un souci de réduction au maximum de la consommation, les auteurs de ce papier ont proposés un récepteur qui utilise un signal de type OFDM afin de créer une empreinte fréquentielle, unique pour chaque objet du réseau. Plus précisément, l'empreinte fréquentielle est formée en transmettant ou pas des données aléatoires sur un groupe de sous porteuses. La transmission de données est codée par **1** logique et le non transmission par **0** logique. Pour des contraintes matérielles, notamment liées au facteur de qualité des filtres utilisés par la suite, le nombre total des sous porteuses du signal OFDM a été considéré divisé en quatre groups ($I_1 I_2 I_3 I_4$), formaient ainsi 14 identifiants possibles. Comme expliqué en [3], parmi ces 14 identifiants, uniquement 6 d'entre eux sont viables.

Comme peut être remarqué sur la figure 1, le signal reçu par l'antenne est divisé et appliqué à deux bancs des filtres. Le filtre sur la voie directe ($D_1 D_2 D_3 D_4$) a le gabarit fréquentiel identique à l'identifiant et celui présent sur la voie complémentaire ($C_1 C_2 C_3 C_4$), l'opposé du celui présent sur la voie directe. Deux niveaux de tension continue sont obtenus en sortie de deux détecteurs de puissance placés en sortie des filtres directs et complémentaires. Ces tensions sont soustraites l'une de l'autre et le résultat est comparé à une tension de seuil, grâce à un trigger de Schmidt. Si l'identifiant est reçu, la tension en sortie du trigger bascule à l'état haut ce qui permet l'allumage du front end principal.

La complémentarité des deux filtres permet de s'affranchir des réveils intempestifs déclenchés par des signaux OFDM présents dans la bande.

Afin de valider l'architecture du récepteur proposée, un démonstrateur avec des composants « sur étagère » a été réalisé. La fréquence de travail est de 915 MHz et la bande passante choisie de 40 MHz; cette bande étant divisée en quatre sous bandes identiques. Un diviseur de puissance avec des pertes d'insertion inférieures à 1dB a été utilisé pour acheminer le signal d'antenne vers deux filtres à cavité qui forment le code de la voie directe $D_1D_2D_3D_4 = 1100$ et celui de la voie complémentaire : $C_1C_2C_3C_4 = 0011$. Ainsi, la bande à -3dB du filtre sur la voie directe est du 895 à 915 MHz et pour le filtre sur la voie complémentaire, la bande s'étend du 915 MHz jusqu'à 935 MHz. L'atténuation hors bande des deux filtres est mesurée à -50dB.

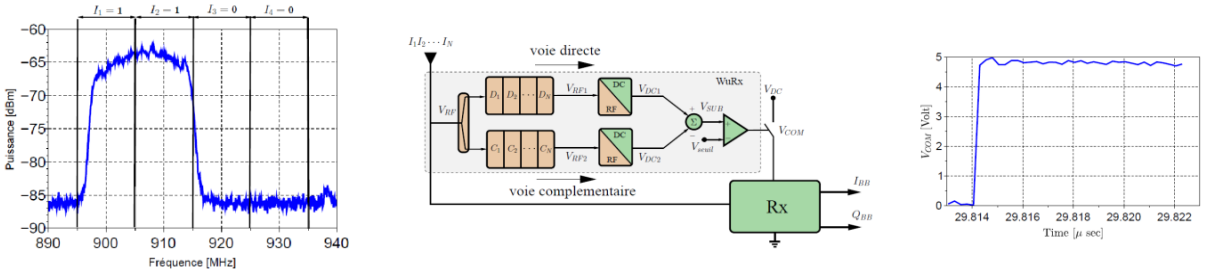

Figure 1 Architecture du récepteur "wake-up radio" à empreinte fréquentielle (milieu), l'identifiant 1100 reçu (gauche) et le signal en sortie du trigger (droite)

L'antenne utilisée est une antenne omnidirectionnelle avec un gain de 2 dBi. Comme détecteurs de puissance, deux cartes d'évaluation du circuit AD8362 ont été utilisées. Le AD8362 d'Analog Device est un détecteur de puissance large bande, pouvant être utilisé à partir de 50Hz et jusqu'à 3.8GHz et qui a une plage dynamique de 65dB. La sensibilité est de -52 dBm, proche de la valeur qui aurait un détecteur de puissance passif, construit autour de la diode HSMS2850.

Le soustracteur a été réalisé en utilisant l'amplificateur opérationnel ISL28194 d'Analog Devices qui a une consommation de 300 nA et une densité du bruit de 265 nV/$\sqrt{Hz}$. Comme trigger de Schmidt, le TS881 de ST Microelectronics a été employé. Le courant consommé par le comparateur est de 210 nA.

Pour générer l'identifiant, le générateur de signaux arbitraires ESG4438C couplé avec le logiciel ADS de Keysight ont été utilisés. Une antenne Horn avec un gain de 8dBi à 915MHz a été également utilisée. Le signal reçu à 5 mètres de l'antenne d'émission ainsi que la sortie du trigger sont présentés sur la figure 2. Comme peut être remarqué, la sortie du trigger passe de l'état bas à l'état haut en présence de l'identifiant $I_1I_2I_3I_4 = 1100$ pour lequel le démonstrateur a été conçu.

Malgré la complémentarité de deux bancs de filtres présents sur la voie directe et sur la voie complémentaire, la rejection en dehors de la bande n'est pas parfaite. Ceci a comme effet la présence en sortie du soustracteur d'une tension continue différente de zéro quand d'autres identifiants (différents de $I_1I_2I_3I_4 = 1100$) sont reçus. Pour éviter le déclanchement du trigger dans ces cas de figure, la tension V_{seuil} a été réglée à 1 volt, ce qui implique la diminution de la sensibilité du récepteur à -47 dBm.

Le tableau 1 montre la portée de la communication en fonction de différents types de milieux de propagation. La portée mesurée est bien en dessous des valeurs théoriques préconisés en [3]. Ceci est dû au déséquilibre des détecteurs de puissance utilisés sur la voie directe et complémentaire ainsi qu'à la superposition des bandes des filtres direct et complémentaire. Néanmoins, au détriment de la consommation, un amplificateur faible bruit pourra être utilisé afin d'augmenter la sensibilité et par conséquent la portée.

Environnement	Indoor	Indoor (mur entreposé)	Couloir	Espace libre
Portée	6 mètres	2.8 mètres	19 mètres	7.8 mètres

Tableau 1 La portée en fonction du milieu de propagation

En faisant abstraction de la consommation de deux détecteurs de puissance actifs, la consommation de puissance globale du démonstrateur présenté dans ce papier reste inférieure à 3 µW ce qui est comparable aux techniques présentées par l'état de l'art et basées sur la modulation OOK. Le temps de latence, défini comme le temps entre la réception du signal de réveil et le temps d'activation du front end principal, est bien inférieur à ceux présentées par les WuRx basés sur la modulation OOK, vu que le temps de traitement d'un éventuel microcontrôleur est éliminé.

3. Conclusion

Ce papier présente la validation expérimentale du principe d'un récepteur « wake-up radio » quasi passif. Le récepteur proposé permet d'identifier l'objet à réveiller en utilisant une empreinte fréquentielle façonné à partir d'un signal OFDM. L'utilisation de composants passifs, montré une diminution significative de la consommation énergétique, au détriment de la portée qui reste limitée à quelques mètres. Des techniques de récupération d'énergie pourront être utilisées afin d'assurer l'énergie nécessaire à l'alimentation des parties actives du récepteur proposé ainsi qu'à l'alimentation d'un amplificateur faible bruit qui augmenterait sa portée.

Références bibliographiques

1- *More Data, Less Energy: Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices*, Agence internationale de l'énergie, 2014.
2- *X-band 10 W MMIC High-Gain Power Amplifier with up to 60% PAE*; D. Sardin et al., IEEE EuMC conference, Octobre 2014.
3- *A new wake-up radio architecture for wireless sensor networks*; F. Hutu et al. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2014:177.