



## Plateforme de mesure de la consommation énergétique dédiée aux objets communicants

Florin Doru HUTU, Guillaume SALAGNAC, Kevin MARQUET et Tanguy RISSET

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

Mots clés (*en français et en anglais*) : consommation énergétique, internet des objets; energy consumption, internet of things.

### 1. Introduction

On parle de plus en plus de l'internet des objets (IdO ou IoT pour « internet of things ») comme la prochaine révolution dans l'univers des télécommunications. D'ici 2030, il est prévu que d'innombrables objets communicants seront déployés et, de ce fait, il devient primordial d'optimiser leur consommation énergétique tout en cherchant des sources d'énergie alternatives [1].

La recherche dans ce domaine a déjà proposé des solutions permettant l'optimisation de la consommation énergétique des objets communicants. Une des solutions possibles est l'utilisation des technologies moins gourmandes en énergie comme les RF-MEMS. En effet, l'utilisation de cette technologie dans les transceivers radio, apporte la reconfigurabilité nécessaire à l'adaptation aux différents standards de communication mais aussi une diminution de la consommation énergétique comparée aux technologies « classiques » comme par exemple le BiCMOS. Une autre solution envisagée est d'éteindre l'alimentation d'une partie voir de l'ensemble de l'objet communicant pendant les périodes d'inactivité. Dans le cadre de l'IoT, la partie la plus énergivore d'un objet communicant est le front-end radio et plus particulièrement l'amplificateur de puissance. Des solutions pour accroître l'efficacité énergétique en proposant des classes d'amplification avec un rendement particulièrement élevés sont proposées dans la littérature.

Avant même d'optimiser la consommation énergétique, une étape cruciale est l'extraction des modèles fiables de consommation et pour ce faire, des moyens de mesure précis doivent être mis en place. Dans ce contexte, ce papier est consacré à la présentation d'une plateforme de mesure de la consommation énergétique dédiée à la caractérisation des objets communicants. Cette plateforme permet de mesurer simultanément la consommation de plusieurs blocs fonctionnels ce qui permet une étude énergétique détaillée. La méthode utilisée pour faire la mesure de la puissance consommée est la V-I-T (« Voltage-Intensity-Time ») et un exemple de caractérisation d'un front-end radio analogique permettra de valider le fonctionnement de la plateforme est donné. De plus, un deuxième exemple de mesure de la consommation d'un microcontrôleur qui effectue des cycles d'effacement et d'écriture de la mémoire flash permet de mettre en évidence des variations de la consommation suivant les données écrites.

### 2. Description de la plateforme de mesure de la consommation

Il existe deux principales méthodes de mesure de la consommation énergétique dans le cadre des objets communicants. Une des méthodes, appelée V-I-T consiste à utiliser un shunt de mesure placé en série entre la source d'alimentation et l'objet communicant. La chute de tension aux bornes du shunt est numérisée par un convertisseur analogique numérique et donne l'information du courant consommé. Cette méthode est appropriée pour des faibles variations du courant consommé et dans le cas contraire, la méthode  $\Delta E$  est plus efficace. En effet, dans les cas où il existe une forte variation du courant consommé, par exemple le passage de l'état veille à l'état transmission d'un front-end radio, la méthode V-I-T demanderait des convertisseurs analogiques numériques à très forte dynamique.

Avec la méthode  $\Delta E$ , l'énergie consommée est mesurée comme la tension aux bornes d'un condensateur chargé par le courant consommé dans une unité de temps.

La plateforme présentée dans ce papier est réalisée en utilisant la méthode V-I-T, similaire à celles présentés dans la littérature scientifique [2]. Pour chacun des huit canaux, la différence de potentiel aux bornes des huit résistances de précision est amplifiée en utilisant des amplificateurs d'instrumentation différentiels. Les sorties de ces huit amplificateurs sont acquises en utilisant la carte d'acquisition National Instruments PXI 5105 qui est capable d'assurer une résolution de 12 bits sur les 8 canaux, avec une bande passante de 60 MHz. Grâce au logiciel LabVIEW, un instrument virtuel a été créé, permettant de piloter la vitesse d'acquisition, le nombre d'échantillons, la dynamique des numériseurs ainsi que le déclenchement de la mesure.

L'instrument virtuel permet le déclenchement d'une routine de calibrage interne de la carte d'acquisition PXI 5105 mais aussi de mesurer avec précision, avant même d'effectuer la mesure du courant, la tension de repos en sortie des amplificateurs d'instrumentation. A partir de la mesure de la tension en sortie de l'amplificateur d'instrumentation  $V_{mesure}$ , la puissance consommée  $P_{consommée}$  peut être calculée comme :

$$P_{consommée} = \frac{V_{DC} \cdot V_{mesure}}{G \cdot R_{shunt}} [1]$$

où  $V_{DC}$  est la tension d'alimentation,  $G$  est le gain de l'amplificateur d'instrumentation et  $R_{shunt}$  est la résistance traversée par le courant à mesurer.

Afin de quantifier l'erreur de mesure, le multimètre de précision Fluke 8846a a été utilisé. L'erreur relative entre la mesure du courant effectuée avec le multimètre et celle réalisée sur chacun des huit canaux de la plateforme proposée, reste inférieure à 1%.

### 3. Mesures de la consommation du front-end radio MAX2830

La mesure de la consommation énergétique du front-end radio MAX 2830 [3] de Maxim a permis de valider le fonctionnement de la plateforme. Le front-end MAX2830 est un transceiver analogique à conversion directe, capable de traiter des signaux de la bande ISM de 2.4 à 2.5 GHz et une bande passante assez large pour pouvoir être compatible avec les normes 802.11b/g. Comme l'on peut remarquer sur la partie gauche de la figure 1, une carte d'évaluation de ce front-end radio a été configurée comme récepteur et a été utilisée comme cible pour la mesure de la puissance consommée au niveau de l'alimentation du front-end. Le générateur ESG4432C a été utilisé pour générer des signaux aléatoires dans différents types de modulation BPSK, QPSK, nQAM. Deux numériseurs E1439 couplés avec le logiciel VSA d'Agilent sont utilisés pour démoduler les signaux  $I_{BB}$  et  $Q_{BB}$  en bande de base en sortie de la carte d'évaluation. Le signal de trigger généré par l'ESG4432C peut être utilisé pour synchroniser la mesure avec la génération des signaux et ainsi, il existe la possibilité de corrélérer la mesure avec la qualité de la communication.

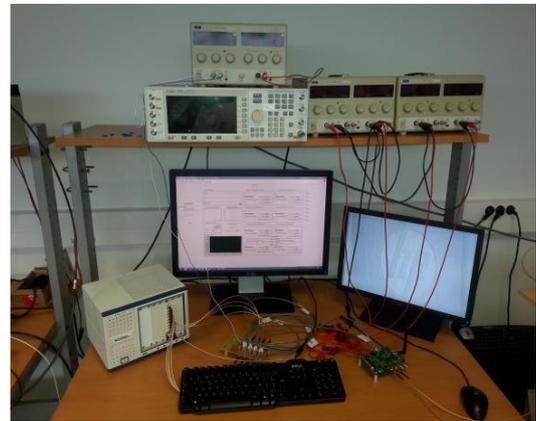
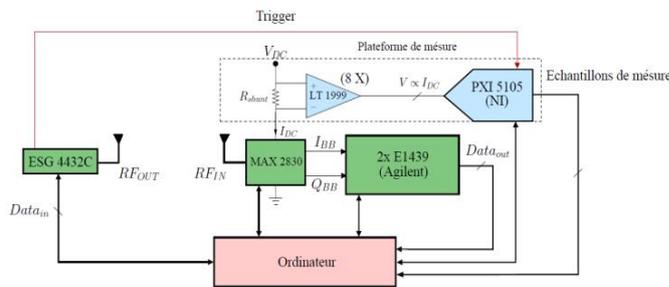


Figure 1 Synoptique de la plateforme de mesure de la consommation (gauche) et image de la plateforme utilisée pour la mesure de la consommation du front-end Max2830

Le tableau suivant présente la consommation du front-end Max2830 pendant la réception des signaux modulés QPSK et 16QAM. Pour chaque type de modulation, le récepteur a été paramétré de façon à ce que la qualité de réception reste convenable, c'est-à-dire l'erreur sur la constellation reçue étant inférieure à 10%. La fréquence porteuse a été fixée à 2.45 GHz et chaque valeur est obtenue comme une moyenne sur 1000 mesures.

	1Msaps	5Msaps	7.5Msaps
QPSK	71.24	71.25	71.26
16QAM	71.26	71.26	71.26

Tableau 1 Consommation de puissance en mW du front-end Max2830 pour différents valeur de modulation et débit de données reçus

Comme il peut être remarqué, la consommation du front-end radio MAX2830 configuré en réception reste quasi constante, les faibles variations pourront être considérées comme provenant du bruit de mesure.

Un autre exemple de mesure de la consommation énergétique, réalisée à l'aide de cette plateforme, est la mesure de la consommation d'un microcontrôleur de la série MSP430 en train d'effectuer des cycles d'écriture-effacement de la mémoire flash. Une étape d'effacement de la mémoire est précédée par cinq cycles d'écriture, chaque cycle correspondant à l'écriture des valeurs binaires croissantes.

Un autre exemple de mesure de la consommation énergétique, présenté sur la figure 2, est la mesure de la consommation d'un microcontrôleur de la série MSP430 en train d'effectuer des cycles d'écriture-effacement de la mémoire flash. Une étape d'effacement de la mémoire est précédée par cinq cycles d'écriture, chaque cycle correspondant à l'écriture des valeurs binaires croissantes.

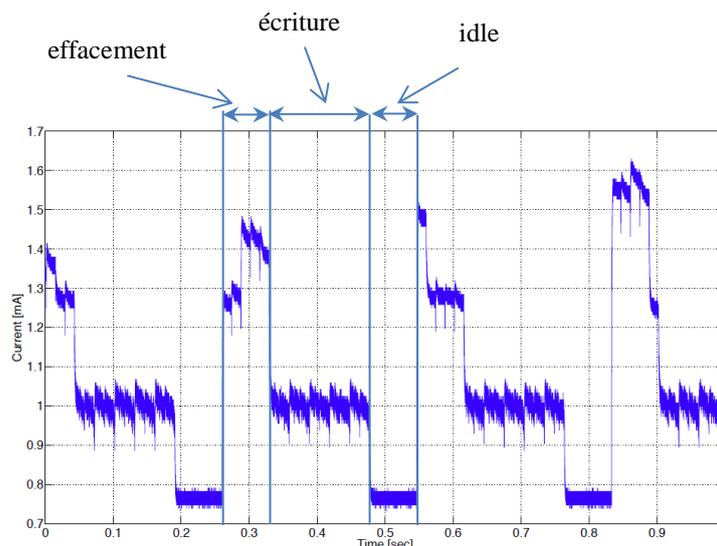


Figure 2 Courant consommé par un microcontrôleur MSP 430FG4618 en train d'effectuer des cycles d'écriture et d'effacement de la mémoire flash

#### 4. Conclusion

Ce papier présente le développement d'une plateforme de mesure de la consommation énergétique conçue pour extraire des profils de consommation pour les objets communicants. Le fonctionnement de la plateforme a été validé en calculant l'erreur relative de mesure par rapport à un multimètre du commerce. Une campagne de mesures ayant comme cible le front-end radio Max2830 a été effectuée afin d'observer la variation de la consommation suivant différents paramètres tel que le type de modulation utilisé et le débit. L'avantage principal de cette plateforme est son bas coût, comparé à des instruments de mesure commerciaux. L'inconvénient principal reste la faible dynamique des courants mesurés ce qui la rend inutilisable pour des scénarios avec des fortes variations du courant mesuré. Afin de contourner ce problème, il est envisagé de remplacer les amplificateurs d'instrumentation avec des amplificateurs à gain non linéaire.

#### Références bibliographiques

- 1- *More Data, Less Energy: Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices*, Agence internationale de l'énergie, 2014.
- 2- *An Accurate Instruction-Level Energy Estimation Model and Tool for Embedded Systems*, M. Bazzaz et al., IEEE Trans. on instrumentation and measurements, vol 62, no 7, juillet 2013.
- 3- *Maxim, Max2830 Industry's 2.4GHz to 2.5 GHz 802.11g/b RF Transceiver, PA and Rx/Tx/Antenna Diversity Switch*, april 2008 : <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX2830.pdf>