



**HAL**  
open science

## Méthode d'estimation pour l'interrogation et la lecture sans fil de capteurs passifs

Dominique Henry, Hervé Aubert, Patrick Pons

► **To cite this version:**

Dominique Henry, Hervé Aubert, Patrick Pons. Méthode d'estimation pour l'interrogation et la lecture sans fil de capteurs passifs. Journées Nationales Microondes, May 2017, Saint Malo, France. 3p. hal-01570724

**HAL Id: hal-01570724**

**<https://laas.hal.science/hal-01570724>**

Submitted on 31 Jul 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Méthode d'estimation pour l'interrogation et la lecture sans fil de capteurs passifs

D. Henry, H. Aubert, P.Pons

LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, INPT, UPS, Toulouse, France

**Résumé** – Ce papier décrit une méthode générale d'estimation pour l'interrogation sans fil de capteurs passifs (sans batterie ni circuits intégrés). On illustre cette méthode par l'interrogation, avec un radar FM-CW fonctionnant à 24GHz, d'une charge variable située 5.5m. En définissant des estimateurs appropriés, on obtient une sensibilité comprise entre 0.2 et 0.3 dB/Ω pour des modèles linéaires avec un écart de  $\pm 0.005$ dB.

### 1. Introduction

Avec la popularisation de l'Internet des Objets, recueillir à distance les informations provenant d'un capteur (température, humidité, pression...) est désormais chose courante, et fait même partie de la vie quotidienne. Le plus souvent ces capteurs sont alimentés par batterie (réseaux classiques type Bluetooth, ZigBee...), ou bien sans batterie ni circuit intégré, mais interrogeables sur de courtes portées (tags RFID « *champ proche* » classiques). En revanche, l'interrogation sans fil à longue distance de capteurs passifs [1-2] (sans batterie ni circuit intégré) reste un vrai défi technologique. Les capteurs passifs sont des candidats idéaux pour des mesures de grandeurs physiques dans des conditions extrêmes là où des circuits intégrés seraient détériorés (à très haute température [3], pression ou même radioactivité). L'intervention de l'homme doit alors être limitée et le capteur interrogeable à distance.

Plusieurs technologies existent permettant l'interrogation de capteurs passifs. La technologie RFID (Radio-Frequency Identification) reste la plus répandue, permettant à la fois l'interrogation et la lecture des tags passifs à la manière d'un code-barres. Cependant les normes en vigueur limitent les puissances d'émission et ne permettent pas d'atteindre des longues distances d'interrogation. La technologie SAW [4] (Surface Acoustic Wave) est aussi une possibilité, mais la perte d'énergie lors du passage des ondes électromagnétiques aux ondes acoustiques est critique pour des interrogations à longue portée.

Dans ce papier est proposée une technique d'interrogation sans fil de capteurs passifs utilisant un radar FM-CW (Frequency-Modulated Continuous-Wave) fonctionnant à 24GHz. Après une description [1] rapide de cette technique en première partie, une approche nouvelle utilisant une analyse statistique est développée en seconde partie. Cette analyse permet d'estimer la

grandeur physique issue d'un capteur passif en améliorant la précision des mesures.

### 2. Description de la méthode de balayage

Afin de procéder à une interrogation à distance et une localisation de capteurs passifs, un radar FMCW fonctionnant à une fréquence centrale de 23.8 GHz est utilisé. Ce dernier génère un signal de modulation triangulaire en fréquence (*chirp*) autour de cette fréquence centrale. Le temps de montée de la rampe de modulation est  $T=1$ ms et la bande de modulation  $B=2$ GHz. La bande de modulation  $B$  est un paramètre primordial pour la localisation des tags passifs car il est directement lié à la résolution en profondeur  $d=c/2B$  [5] du radar. Dans le cas présent,  $d=7.5$ cm où  $c=3.10^8$ m.s<sup>-1</sup> désigne la vitesse de la lumière dans l'air. L'analyse du temps de retard entre le signal transmis et reçu permet d'obtenir le spectre de battement, outil fondamental pour analyser le niveau d'écho en fonction de la distance d'interrogation.

Le radar est bistatique et possède donc deux antennes différentes en transmission et en réception. En transmission est connectée une antenne parabolique avec un angle d'ouverture de 2° et un gain de 33.5dBi. Cela permet d'obtenir la résolution angulaire la plus fine possible dans une direction donnée. En réception se trouvent deux antennes en réseau de 1x5 patchs d'un gain de 8.6dBi avec respectivement 60° et 25° d'angles d'ouverture en azimut et en élévation. La puissance en sortie du radar est de 20 dBm (100mW).

Les antennes sont solidaires d'une tourelle mécanique contrôlée automatiquement par ordinateur. Les pas angulaires de la tourelle sont de 1° en azimut et en élévation, le but étant d'interroger le niveau d'écho du capteur passif non pas en un seul point, mais sur un ensemble de points répartis dans un volume (et donc numériquement sous la forme de voxels contenant chacun une valeur d'écho).

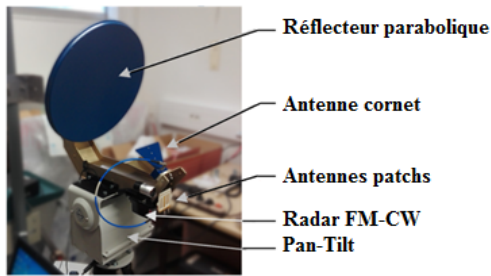


Figure 1. Système radar monté sur une plateforme mécanique

### 3. Estimation de la valeur d'écho d'un capteur passif interrogé à 5.5m

Afin d'illustrer la méthode d'estimation, on dispose d'une charge variable connectée à une antenne dont l'impédance varie entre  $0\Omega$  et  $50\Omega$ . La désadaptation d'impédance entre l'antenne et la charge engendre un niveau d'écho comparable à celui d'un capteur passif modifié par une grandeur physique. L'antenne et la charge variable sont connectées via une ligne à retard de 1.2m de longueur permettant de séparer le mode de structure (antenne) du mode de détection (capteur) [6]. Le niveau d'écho du mode de détection est directement lié à la valeur de la grandeur physique à mesurer. Une interrogation d'un capteur passif de température a été développée en utilisant ce principe [1].

Le capteur est placé à 5.5m du radar (Figure 2) et l'on procède à un balayage de l'antenne parabolique entre  $-10^\circ$  et  $+10^\circ$ , en azimut et en élévation, avec un pas de  $2^\circ$ . Cela implique l'enregistrement de 121 spectres de battement, chacun dans une direction d'interrogation différente. Afin d'estimer la valeur de la grandeur physique (ici l'impédance de la charge variable), on définit différents estimateurs. Ces estimateurs sont calculés à partir des niveaux d'écho des voxels constituant le volume d'étude. Différents estimateurs peuvent-être définis : (a)  $e_{Max}$  la valeur maximale de des échos du volume (ne concerne donc qu'un seul voxel), (b)  $e_A$  la moyenne arithmétique sur l'ensemble du volume, (c)  $e_W$  la moyenne pondérée sur l'ensemble du volume, et (d)  $e_S$  un estimateur dépendant de la fonction de distribution statistique sur l'ensemble du volume. Pour calculer  $e_S$ , on définit une fonction de distribution modélisée par une loi normale:

$$\phi(x) = \frac{K}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left\{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

dans laquelle  $K$  représente le facteur d'échelle,  $\sigma$  l'écart-type et  $\mu$  l'espérance. Pour chaque valeur d'impédance, une analyse paramétrique est appliquée afin de trouver le modèle de loi normale optimale. Ce modèle est ensuite confronté aux échantillons de mesures dans un test de Kolmogorov-Smirnov [7]. Si ce test est un échec (une valeur-p strictement inférieure à 0.9), alors il est réitéré dans un intervalle de niveau d'écho plus restreint jusqu'au succès (une valeur-p supérieure à 0.9).

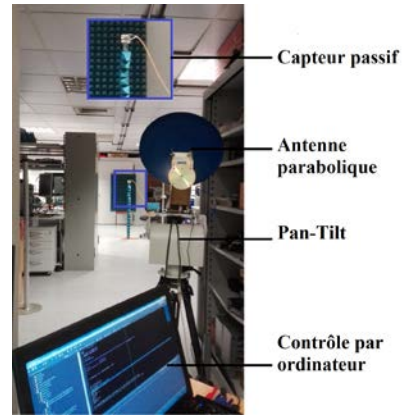
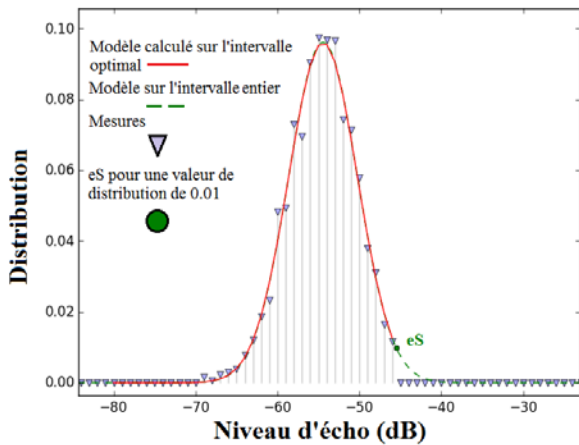


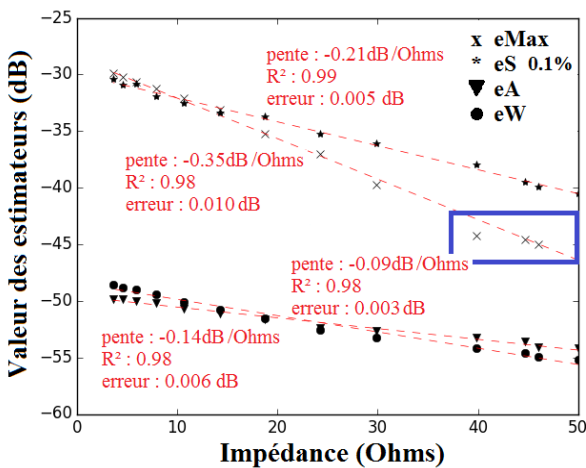
Figure 2. Interrogation du capteur passif situé à 5.5m

À partir de valeurs discrètes obtenues en mesure, on définit une fonction d'extrapolation sur un intervalle de niveaux d'échos continus. On choisit l'estimateur  $e_S$  comme étant le niveau d'écho d'une valeur de distribution  $s$  telle que  $\phi(e_S)=s$ . Cet estimateur pour  $s=1\%$ , est représenté sur la Figure 3 pour une valeur d'impédance de  $46\Omega$ .  $e_S$  peut potentiellement prendre n'importe quelle valeur sur l'intervalle de définition de  $\phi$ , représentée par la courbe verte en pointillés et rouge. La portion rouge de la courbe représente l'intervalle dans lequel le test de Kolmogorov-Smirnov entre  $\phi$  et les valeurs mesurées (triangles gris) a été effectué avec réussite.

Les valeurs des différents estimateurs, dont  $e_S$  pour  $s=0.1\%$ , sont tracées en fonction de l'impédance du capteur passif interrogé (Figure 4). Les estimateurs  $e_A$  et  $e_W$  ont une bonne linéarité mais des sensibilités plutôt faibles ( $<0.15\text{dB}/\Omega$ ). On remarque que  $e_{Max}$  possède sans surprise la meilleure dynamique ( $0.35\text{dB}/\Omega$ ), mais ne conserve pas sa linéarité sur l'ensemble des valeurs d'impédance (rectangle bleu). Ce phénomène est dû : (a) à des niveaux maximum d'écho plus faibles pour ces valeurs d'impédances ( $> 40\Omega$ ) et (b) la présence probable d'échos parasites (appelés *clutters*) dans le volume d'étude. En revanche, l'estimateur  $e_S$  possède une bonne dynamique ( $0.21\text{dB}/\Omega$ ) tout en conservant une bonne linéarité avec une erreur sur le modèle linéaire de  $\pm 0.005\text{dB}$ . Il est donc possible, en construisant une fonction de distribution continue, d'outrepasser les effets indésirables de *clutters* et de non-linéarité. En poussant le modèle à ses limites (valeur de  $s$  tendant vers zéro), on obtient une dynamique de  $0.31\text{dB}$  et une erreur de  $\pm 0.007\text{dB}$  pour une valeur  $s$  de  $10^{-7}\%$ .



**Figure 3. Distribution statistique des valeurs d'écho du capteur passif pour une valeur d'impédance de 46Ω.**



**Figure 4. Comportement des différents estimateurs en fonction de l'impédance du capteur passif interrogé à 5.5m.**

#### 4. Conclusion

L'analyse statistique des niveaux d'écho d'un capteur passif interrogé à une distance de 5.5m a montré qu'il était possible d'améliorer la linéarité et la sensibilité de la réponse du capteur en définissant des estimateurs appropriés. En modélisant par une loi normale la répartition des niveaux d'écho dans un volume d'étude pertinent, la sensibilité du capteur varie, en fonction des estimateurs, entre 0.2 dB/Ω et 0.3dB/Ω sur l'ensemble de la plage d'impédance [0Ω-50Ω] avec un écart de linéarité de ±0.005dB.

#### Références

- [1] D. Henry, H. Aubert and P. Pons, "3D scanning and sensing technique for the detection and remote reading of a passive temperature sensor," *2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, San Francisco, CA, 2016, pp. 1-4.
- [2] J. G. D. Hester and M. M. Tentzeris, "Inkjet-Printed Flexible mm-Wave Van-Atta Reflectarrays: A Solution for Ultralong-Range Dense Multitag and Multisensing Chipless RFID Implementations for IoT Smart Skins,"

- in *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 64, no. 12, pp. 4763-4773, Dec. 2016.
- [3] Q. Tan; T. Luo; T. Wei; J. Liu; L. Lin; J. Xiong, "A Wireless Passive Pressure and Temperature Sensor via a Dual LC Resonant Circuit in Harsh Environments," in *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. PP, no.99, pp.1-6
- [4] Klaffenbock, M.; Schuster, S.; Scheibelhofer, S.; Stelzer, A., "Model-Based Identification Method for Pulse Position Coded Surface Acoustic Wave Identification Tags," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.63, no.10, pp.2405-2413, Oct. 2014
- [5] S.O. Piper, "Receiver frequency resolution for range resolution in homodyne FMCW radar," *Telesystems Conference: Commercial Applications and Dual-Use Technology*, 16-17 June 1993, pp.169-173
- [6] Harrington, Roger F., "Theory of loaded scatterers," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol.111, no.4, pp.617-623, April 1964
- [7] Massey, F. J. "The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit." *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 46, No. 253, 1951, pp. 68–78