



HAL
open science

Imagerie Radar 3D en onde millimétrique pour la détection et la lecture des capteurs passifs et sans puce

Dominique Henry, Hervé Aubert, Patrick Pons

► To cite this version:

Dominique Henry, Hervé Aubert, Patrick Pons. Imagerie Radar 3D en onde millimétrique pour la détection et la lecture des capteurs passifs et sans puce. Journées Nationales Microondes (JNM), Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01237676

HAL Id: hal-01237676

<https://hal.science/hal-01237676>

Submitted on 3 Dec 2015

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.

Imagerie Radar 3D en onde millimétrique pour la détection et la lecture des capteurs passifs et sans puce

Dominique Henry^{1,2}, Hervé Aubert^{1,2}, Patrick Pons¹

¹CNRS; LAAS; 7 av. du colonel Roche, 31077 Toulouse, France

²University of Toulouse; UPS, INSA, INP, ISAE; LAAS; F-31077 Toulouse, France
dhenry@laas.fr, aubert@laas.fr, ppons@laas.fr

Résumé

Cette communication traite de la détection et de la lecture à distance de capteurs passifs à l'aide d'un système radar FMCW millimétrique. Avec une résolution en profondeur de quelques centimètres et une résolution angulaire de l'ordre du degré, il est possible de localiser et d'interroger des capteurs démunis de batterie en réalisant une cartographie des échos radar en azimut, élévation et profondeur issus des modes de diffusion de structure et d'antenne des capteurs.

1. Introduction

Lorsque l'on veut mesurer des données issues de capteurs dans des environnements potentiellement dangereux ou difficiles d'accès, l'intervention de l'homme doit être la moins fréquente possible. Il est alors préférable d'avoir recours à des capteurs passifs avec une certaine robustesse et interrogeables sans fil sur plusieurs dizaines de mètres. Les précédentes études menées au LAAS-CNRS ont montré la possibilité d'identifier et de recueillir des données issues de capteurs passifs (i.e., sans batterie) et sans puces (ou circuit intégré) en utilisant un radar FMCW en onde millimétrique. Les positions des capteurs étaient connues et l'interrogation s'effectuait dans une direction donnée [1].

En réalisant un balayage du lobe principal de l'antenne émettrice du radar nous montrons ici qu'il est possible d'interroger plusieurs capteurs distribués dans une scène et de déterminer leurs positions. Ce balayage est réalisé par la rotation de l'antenne émettrice en azimut et en élévation afin d'obtenir une cartographie en 3D des multiples échos radar issus des capteurs.

2. Principes de mesure

Un capteur passif, sans puce, sans fil et interrogeable à distance peut être réalisé en connectant à une antenne une longueur de ligne chargée par une résistance dont la valeur dépend de la grandeur physique à mesurer. Cette grandeur peut être, par exemple, la pression [2], la température [3][4] ou la contrainte [5]. Il est possible de la mesurer en interrogeant le capteur par une onde millimétrique continue et modulée en fréquence (FMCW) à l'aide d'un radar [1]. L'écho

électromagnétique du capteur combine un mode de diffusion dit de *structure* qui est dû à la rétrodiffusion du champ électromagnétique incident par l'antenne du capteur et d'un mode dit d'*antenne* qui résulte de la réflexion du champ électromagnétique sur la résistance de charge. La ligne de transmission placée entre l'antenne et la résistance permet de retarder l'arrivée du mode d'antenne par rapport à celle du mode de structure. Dans nos précédentes études [1] le radar FMCW millimétrique est utilisé lorsque la position des capteurs est connue. Le lobe principal très étroit de l'antenne d'émission du radar est alors pointé dans la direction du capteur et à partir des fluctuations mesurées de l'écho radar du capteur les variations de la grandeur physique d'intérêt sont déduites. Nous montrons dans cette communication qu'il n'est pas nécessaire de connaître *a priori* la position des capteurs pour effectuer cette mesure.

Le radar FMCW génère ici un *chirp* ou signal modulé en fréquence sur une bande de fréquence $\Delta f = 2\text{GHz}$ centrée à 24GHz. La puissance émise est de 23.24 dBm. Le radar possède une résolution théorique en profondeur donnée par $c/2\Delta f$ où c désigne la célérité de la lumière dans le milieu de propagation considéré [6]. Les mesures s'effectuant dans l'air, la résolution en profondeur du signal est donc de 7.5cm. La résolution angulaire en azimut et en élévation est déterminée par l'angle d'ouverture (1 degré en azimut et en élévation) du lobe principal de l'antenne parabolique d'émission du radar (gain 34 dBi). Le signal rétrodiffusé par les éléments de la scène est reçu par un réseau d'antennes plaquées dont le lobe principal présente des angles d'ouverture de 80 degrés en azimut et de 24 degrés en élévation (gain 9dBi). La rotation de l'antenne parabolique est contrôlée par ordinateur et synchronisée avec l'émission du chirp issu du radar. Une illustration du système de mesure est présentée sur la figure 1. Les spectres de battement en fréquence pour les signaux en quadratures I et Q, obtenus par transformée de Fourier en sortie du mélangeur du radar FMCW, permettent la mesure du niveau de puissance du signal reçu dans différentes directions de la scène balayée par le faisceau très directif de l'antenne émettrice.

On dispose de trois capteurs (antenne + longueur de ligne + résistance variable) situés à une distance $D = 4\text{m}$

du radar, tout en tenant compte de la longueur du câble effective de 60cm entre le radar et l'antenne parabolique. Les antennes des capteurs sont des antennes cornets ayant un gain de 20 dBi à 24GHz et sont disposées comme indiqué sur la figure 2.

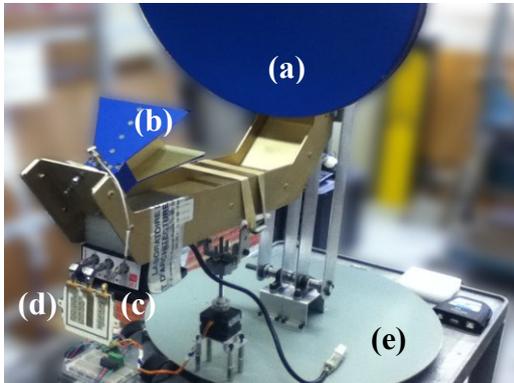


Figure 1. Système de mesure avec : (a) Réflecteur parabolique, (b) antenne cornet Vivaldi, (c) radar FMCW, (d) réseau d'antennes plaquées et (e) plateforme tournante (balayage mécanique).

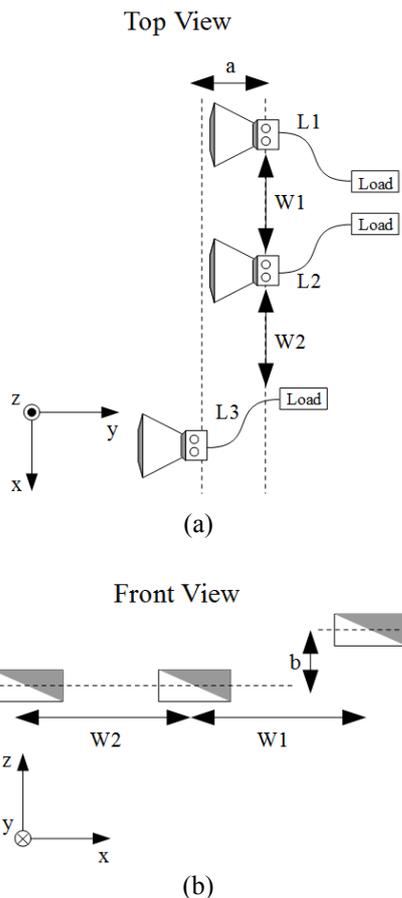


Figure 2. Positions des 3 capteurs dans la scène : (a) vue de haut et (b) vue de face

Les résistances (dont les valeurs dépendent de la grandeur physique d'intérêt) et les antennes sont connectées via des lignes de transmission de longueurs respectives $L1=1.2m$, $L2=90cm$ et $L3=24cm$. Les

capteurs sont espacés de $W1=19cm$, $W2=33cm$, $a=7cm$ et $b=10cm$ (voir Figure 2). Des balayages dans un secteur angulaire de 24 degrés en azimut avec un pas de 0.5 degré sont effectués pour différentes valeurs d'élévation. La figure 3 montre quatre coupes de l'image des échos électromagnétiques mesurés par le radar pour des élévations de 0 degré et de 2.1 degrés avec alternativement des résistances de 50Ω et des résistances nulles. Un seuillage est effectué et seul les niveaux d'échos supérieurs à -10dB sont visualisés. On détecte la présence des trois capteurs à une distance de 3.95m soit une erreur de position de 5cm cohérente avec la résolution en profondeur théorique du radar utilisé. Les échos dus aux modes d'antenne et de structure sont spatialement séparés de 1.4m, 1.0m et 34cm respectivement, soit une erreur maximale de 20cm s'expliquant aussi par les « largeurs » des échos de 40cm pour une dynamique de signal de 10dB. Ces distances mesurées permettent ainsi d'identifier les trois capteurs grâce à la « distance » entre les échos de structure et d'antenne.

On peut ainsi identifier les capteurs en associant une signature unique (ou *code-barres électromagnétique* [7]) à chacun d'eux. Cette signature pourrait être réalisée, par exemple, en utilisant une longueur de ligne spécifique à chaque capteur. En théorie ces longueurs devront être au minimum égales à la résolution en profondeur (soit 7.5cm) mais dépendent principalement en pratique de la répartition du niveau d'écho dans l'espace pour un seuil donné. Dans le cas des capteurs présents, les largeurs d'écho des modes d'antennes à un niveau de -4dB sont de 25cm. Cette largeur est la résolution minimale du code-barres électromagnétique pour ces capteurs à un seuil de -4dB. La figure 4 illustre la notion de ce code-barres électromagnétique.

Afin d'éviter que les modes d'antenne des différents capteurs ne se superposent pas, la densité maximale de capteurs par unité de surface à une distance donnée peut être estimée. Par exemple, à une distance de 4 mètres du radar, le nombre maximal théorique de capteurs détectables est de 190 capteurs par m^2 soit une densité volumique de plus de 2000 capteurs par m^3 . Cette valeur correspond aux nombres de cellules de résolution dans la scène. Par ailleurs un capteur peut être détecté à des distances allant jusqu'à 50 mètres mais à ces distances, la densité maximale de capteurs détectables est limitée à une dizaine de capteur par m^3 . Cette densité volumique de capteurs est contrainte par la dimension physique des antennes et par la dynamique pleine échelle finie de l'écho mesuré. En considérant comme dans ces mesures des modes de structure dont les largeurs d'écho occupent une surface de 40cm x 25cm x 25cm, c'est-à-dire $0.025m^3$, la densité volumique maximale de capteurs est donc de 40 capteurs/ m^3 .

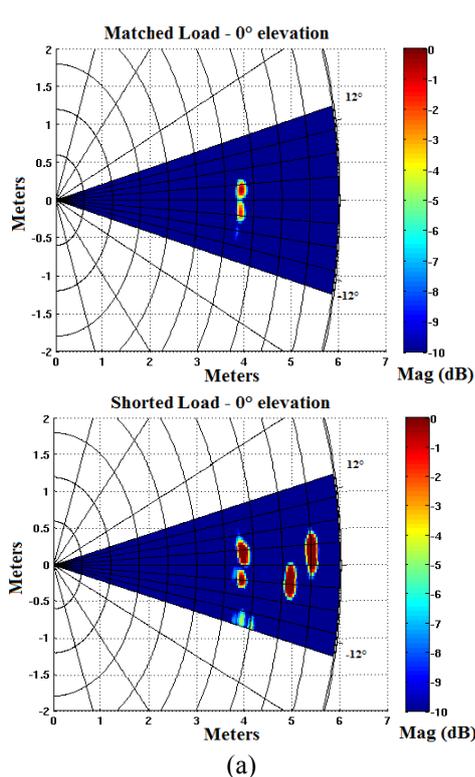


Figure 3. Coupes des échos radar pour différentes élévations : (a) 0° et (b) 2.1°, et pour des résistances de charge variables. Ces dernières dépendent de la grandeur physique d'intérêt

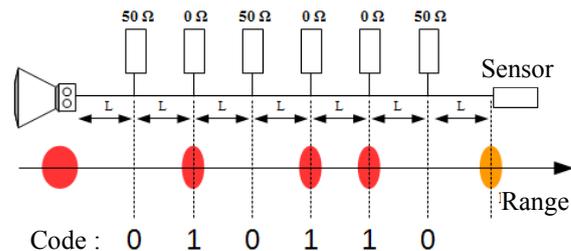


Figure 4. Schéma représentatif du code-barres électromagnétique

3. Conclusion

L'utilisation d'un radar FMCW à 24GHz et de 2GHz de bande de fréquence permet la localisation, l'identification et la lecture sans fil de plusieurs capteurs passifs et sans puce. La signature électromagnétique de ces capteurs permet d'estimer la densité volumique de capteurs détectables, ainsi que les paramètres limitant pour la conception d'un code-barres électromagnétique spécifique à chaque capteur.

4. Bibliographie

- [1] H. Aubert, F. Chebila, M. Jatlaoui, T. Thai, H. Hallil, A. Traille, S. Bouaziz, A. Rifai, P. Pons, P. Menini, M. Tentzeris, "Wireless Sensing and Identification based on RADAR Cross Sections Variability Measurement of Passive Electromagnetic Sensors," *Annals of Telecommunications*, Special Issue on Chipless RFID, Vol. 68, Issue 7-8, pp. 425-435, August 2013.
- [2] M. Jatlaoui, F. Chebila, P. Pons, H. Aubert, "Working Principle Description of the Wireless Passive EM Transduction Pressure Sensor," *European Physical Journal - Applied Physics*, Vol. 56, N°1, oct 2011
- [3] T. Thai, M. Jatlaoui, F. Chebila, H. Aubert, P. Pons, G. DeJean, M. Tentzeris, R. Plana, "Design and Development of a Novel Passive Wireless Ultrasensitive RF Temperature Transducer for Remote Sensing," *IEEE Sensor Journal*, Vol. 12, Issue 8, sept 2012, pp 2756-2766
- [4] T. Thai, M. Jatlaoui, H. Aubert, P. Pons, G. DeJean, M. Tentzeris, R. Plana, "A Novel Passive Wireless Ultrasensitive Temperature RF Transducer for Remote Sensing," *IEEE International Microwave Symposium, Anaheim, California, USA*, pp. 473-476, 23-28 May 2010
- [5] T. Thai T., H. Aubert, P. Pons, G. DeJean, M. Tentzeris, R. Plana, "Novel Design of a Highly Sensitive RF Strain Transducer for Passive and Remote Sensing in Two Dimensions," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Issue 3, March 2013, pp 1385-1396
- [6] S.O. Piper, "Receiver frequency resolution for range resolution in homodyne FMCW radar," *Telesystems Conference, 1993 'Commercial Applications and Dual-Use Technology', Conference Proceedings., National*, pp.169-173, 16-17 Jun 1993

[7] H. Aubert, P. Pons, F. Chebila, M. Jatlouï, *Measurement Device Comprising an Electromagnetic Diffuser*, Patent WO 2010/136388, May 29, 2009.