



**HAL**  
open science

## Système coopératif radiofréquence de positionnement latéral d'un véhicule sur la chaussée

Ibrahim Mohsen, Emmanuel Géron, Thierry Ditchi, Stéphane Holé

► **To cite this version:**

Ibrahim Mohsen, Emmanuel Géron, Thierry Ditchi, Stéphane Holé. Système coopératif radiofréquence de positionnement latéral d'un véhicule sur la chaussée. XIXèmes Journées Nationales Micro-ondes, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01395489

**HAL Id: hal-01395489**

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01395489v1>

Submitted on 16 Nov 2016

**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.

## Système coopératif radiofréquence de positionnement latéral d'un véhicule sur la chaussée

Ibrahim Mohsen, Emmanuel Géron, Thierry Ditchi, Stéphane Holé

Sorbonne Universités, UMPC Univ Paris 6, PSL Research University, ESPCI-ParisTech

CNRS, LPEM, UMR 8213, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris - France

ibrahim.mohsen@espci.fr

### Résumé

Ce papier présente un système coopératif radiofréquence d'estimation du positionnement latéral du véhicule par rapport aux bandes blanches de la chaussée. Le système utilise la réponse fréquentielle des transpondeurs passifs double fréquences intégrés dans les bandes blanches interrogés par un module hyperfréquence embarqué dans le véhicule. Les premiers résultats des mesures faites dans une chambre anéchoïde donnent une localisation avec une précision de  $\pm 1$  cm.

### 1. Introduction

Les systèmes d'aide à la conduite sont de plus en plus fréquents pour améliorer la sécurité routière et pour diminuer le nombre d'accidents. Leur cause principale est la sortie de route suite à un manque de vigilance du conducteur. Plusieurs systèmes ont été développés pour alerter le conducteur dans de telles situations. Des systèmes optiques utilisent le traitement d'image pour déterminer la position des bandes blanches de la chaussée [1]. Mais leur efficacité diminue dans certaines conditions telles que la pluie, la neige et le brouillard. D'autres systèmes intègrent, en plus des caméras, des cartes routières 3D et un positionnement GPS pour améliorer la précision de la détermination de la trajectoire [2-3].

Enfin des systèmes, dits coopératifs, utilisent une communication entre le véhicule et l'infrastructure au travers de capteurs intégrés dans la chaussée. Dans [4], un système composé d'un dispositif embarqué dans le véhicule localise la bande magnétique déposée sur la chaussée. Le magnétisme utilisé dans ce système le rend moins sensible aux conditions climatiques précédentes. Par contre, le champ magnétique décroissant rapidement avec la distance, la bande doit être déposée au centre de la chaussée. Ses propriétés optiques différentes du revêtement standard peuvent alors perturber les conducteurs.

Dans ce papier, on présente un nombre important d'améliorations sur un système coopératif développé au LPEM [5-6]. Il est composé de deux parties : un module RF embarqué dans le véhicule et des transpondeurs électromagnétiques passifs intégrés dans les bandes

blanches de la route. Le but de ce système est de calculer la distance latérale entre le véhicule et les bandes blanches par une interaction électromagnétique entre ces deux parties. Le système décrit dans [6] permet de déterminer la variation de la distance latérale avec une bonne précision. Une extension de ce système permettant de calculer la distance latérale absolue est présentée dans cet article.

Le détail et le fonctionnement du système sont décrits dans la section 2. La section 3 est dédiée à la méthode de calcul de la distance absolue. Les résultats sont présentés dans la section 4.

### 2. Description du système coopératif

La figure 1 présente les deux parties du système :

a) Les transpondeurs passifs intégrés dans les bandes blanches de la route sont composés d'une antenne demi-onde associée à deux résonateurs à onde de surface SAW (Surface Acoustic Wave) dont les fréquences centrales sont 868.3 MHz et 915 MHz. Leur facteur de qualité vaut environ 4000. Ces résonateurs ajoutent une signature au signal réfléchi par le transpondeur, ce qui permet de le distinguer des autres signaux parasites superposés au signal reçu.

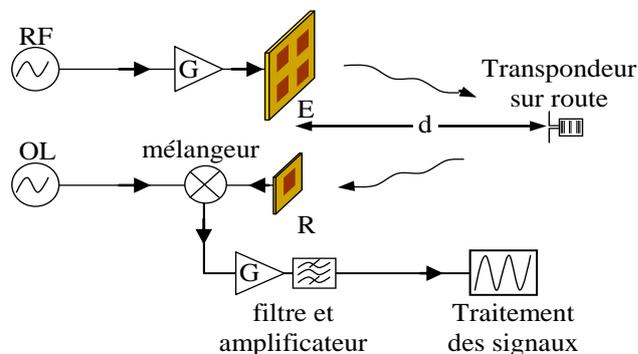


Figure 1. Schéma du système.

b) Le module RF embarqué dans le véhicule comporte une antenne d'émission et une antenne de réception montées sur le côté du véhicule. Les deux

antennes sont en technologie planaire pour faciliter leur intégration dans le véhicule. Le signal émis est généré à l'aide d'une source RF amplifiée de 10 dBm. Le signal réfléchi par le transpondeur et reçu par le système est mélangé avec un oscillateur local (OL) décalé de 10 kHz par rapport à la source RF, afin d'abaisser sa fréquence en sortie de mélangeur. Le signal est filtré pour ne garder que sa composante basse fréquence à 10 kHz, amplifié, et enfin numérisé pour être traité par un ordinateur. Le signal émis balaye les deux gammes de fréquences [867.5-869.5] MHz et [914-916] MHz avec un pas de 20 kHz.

La figure 2 représente le signal BF mesuré pour une émission autour de 868.3 MHz pour trois distances différentes entre le transpondeur et les antennes d'émission-réception. La signature ajoutée par le résonateur SAW apparaît clairement sous la forme d'une boucle en polaire sur le signal mesuré à chaque distance. Notons qu'une mesure correspond à un balayage en fréquence de largeur de 2 MHz autour de deux fréquences de résonance centrales.

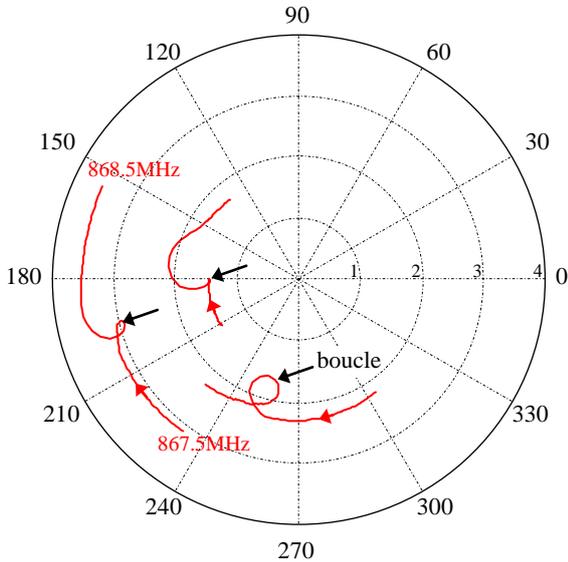


Figure 2. Exemples de Signaux BF obtenus pour trois distances.

### 3. Calcul de la distance absolue

Le principe du calcul de la distance absolue est basé sur la détermination du déphasage entre le signal émis et le signal reçu dû à la propagation aller-retour des ondes électromagnétique entre le transpondeur et les antennes d'émission-réception. Ce déphasage varie en fonction de la distance  $d$  selon :

$$\varphi = -\frac{2\pi(2d)f}{c} = -\frac{2\pi(2d)}{\lambda} \quad (1)$$

Dans [6], le système dispose d'un seul résonateur à la fréquence centrale de  $f_1 = 868.3$  MHz. Comme la phase est donnée à  $2\pi$  près et que la longueur d'onde à cette fréquence ( $\lambda_1 = 34.5$  cm) est inférieure à la largeur des voies de circulation, le système ne peut déterminer la distance qu'à un nombre de  $\lambda_1$  près.

#### 3.a. Méthode de calcul

Pour lever l'indétermination sur le nombre de longueur d'onde contenu dans la distance absolue, un second résonateur SAW à la fréquence centrale de  $f_2 = 915$  MHz est introduit.

Considérons les deux déphasages  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$  correspondant respectivement aux deux fréquences centrales  $f_1$  et  $f_2$ . La différence entre ces deux déphasages vaut :

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{-2\pi(2d)F}{c} \quad (2)$$

avec  $F = f_2 - f_1 = 46.7$  MHz.

Cette différence de déphasage correspond au déphasage de propagation d'un signal de fréquence  $F = 46.7$  MHz. La longueur d'onde à cette fréquence basse est égale à  $\lambda_F = 6.424$  m. Comme la distance mesurée correspond au trajet aller-retour du signal émis,  $\Delta\varphi$  a une périodicité en terme de longueur d'onde de  $\lambda_F/2 = 3.212$  m =  $d_{\max}$ , où  $d_{\max}$  est la plus grande distance mesurable sans se tromper de nombre de longueur d'onde. Celle-ci est maintenant compatible avec la portée maximale recherchée pour le système. Ce système est ainsi valide dans le cas des voies larges d'autoroutes. La distance absolue grossièrement estimée est donnée par :

$$2d = \begin{cases} -\frac{\Delta\varphi \cdot c}{2\pi F} & \text{si } (\varphi_2 - \varphi_1) < 0 \\ \frac{(-\Delta\varphi + 2\pi)c}{2\pi F} & \text{si } (\varphi_2 - \varphi_1) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Cette valeur calculée de  $d$  servira de base dans la suite pour un calcul plus précis.

Afin de calculer les déphasages  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$  aux fréquences centrales des deux résonateurs SAW, il faut séparer la réponse du transpondeur du signal mesuré et ensuite extraire les déphasages. Les déphasages extraits peuvent être erronés. Cette erreur est plus grande sur une longueur d'onde de  $\lambda_F = 6.424$  m que sur une longueur d'onde de  $\lambda_1 = 34.5$  cm ou  $\lambda_2 = 32.8$  cm. Pour cette raison, le calcul précédant de la distance absolue ne sert qu'à calculer les nombres  $n_1$  et  $n_2$  de longueur d'onde  $\lambda_1$  et  $\lambda_2$  contenu respectivement dans la distance  $2d$ . Pour calculer  $n_i$ , on utilise la valeur de  $2\widehat{d}$  calculée avec l'équation (3) :

$$n_i = \text{arrondi} \left( \frac{2\widehat{d}}{\lambda_i} + \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) \quad i = 1,2 \quad (4)$$

Cette distance s'écrit alors en fonction de  $\varphi_1$  ou  $\varphi_2$  de la façon suivante :

$$2d = \lambda_i \left( n_i - \frac{\varphi_i}{2\pi} \right) \quad i = 1,2 \quad (5)$$

#### 3.b. Erreur de phase maximale acceptable

Pour que les valeurs de  $n_i$  ne soient pas erronées, il faut que l'erreur sur la valeur calculée de  $2\widehat{d}$  soit inférieure à  $\min(\lambda_1/2, \lambda_2/2) = \lambda_2/2 = 16.4$  cm. Ainsi l'erreur maximale acceptable sur la différence des déphasages  $\Delta\varphi$  vaut :

$$E(\Delta\varphi) < \frac{\pi F}{c} = 0.16^\circ \equiv 9^\circ$$

Sous cette condition, l'erreur sur la distance calculée à l'aide de l'équation (4) se réduit à  $9\lambda_1/360 = 0.86$  cm

et  $9\lambda_2/360 = 0.82$  cm respectivement en utilisant  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ .

Comme l'erreur maximale sur la phase extraite du signal reçu était de  $40^\circ$  dans le système précédent [6], une nouvelle modélisation plus fine du système a été nécessaire. Elle a permis d'obtenir une erreur maximale d'extraction de phase bien plus réduite et compatible en général avec l'erreur maximale de phase calculée.

#### 4. Résultats et discussion

Les mesures présentées ont été effectuées dans une chambre anéchoïde. La distance entre le transpondeur et les antennes d'émission-réception varie de 54 à 114 cm avec un pas de 2 cm.



Figure 3. Dispositif de mesure dans la chambre anéchoïde.

La figure 4 présente le déphasage de propagation extrait du signal mesuré avec le premier résonateur SAW ( $f_1 = 868.3$  MHz) ainsi que le déphasage théorique.

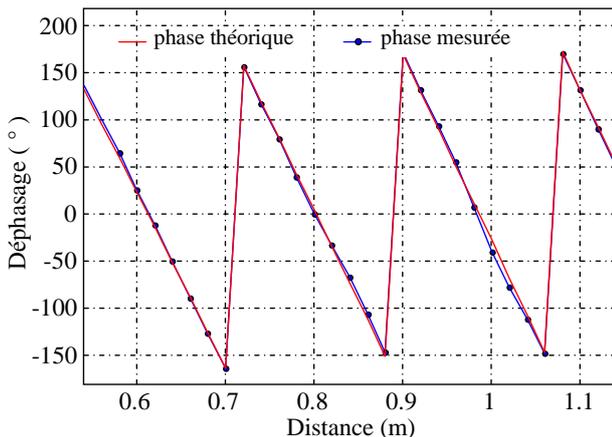


Figure 4. Déphasages mesurés à 868.5 MHz comparés aux valeurs théoriques.

L'erreur  $E(\Delta\varphi)$  sur la différence des déphasages est donnée par la figure 5. Cette erreur est inférieure à  $9^\circ$  dans la gamme de distances de 50 à 80 cm. Au-delà de 82 cm l'erreur dépasse  $9^\circ$ , elle atteint un maximum de  $25^\circ$ . La cause probable de ce dépassement dans certains intervalles de distance est qu'il existe un champ électromagnétique stationnaire, dans la chambre

anéchoïque aux fréquences utilisées, qui provoque une réponse particulière dans certaines positions des antennes d'émission-réception.

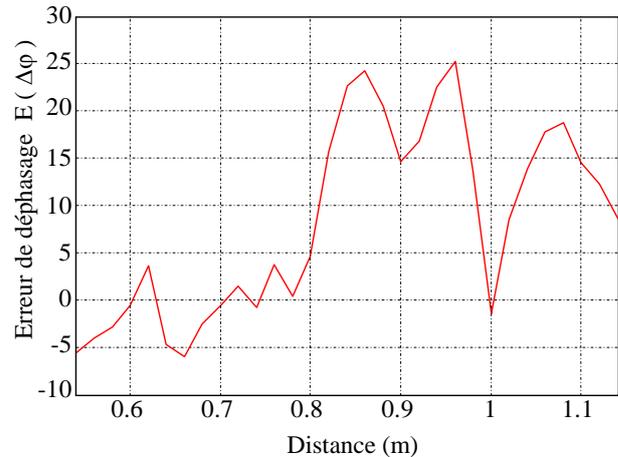


Figure 5. Erreur sur la différence des déphasages obtenus à 867.5 et 915 MHz.

La distance absolue calculée avec l'équation (5) en utilisant la fréquence centrale du premier résonateur SAW ( $f_1 = 868.3$  MHz) est donnée par la figure 6 (courbe en verte), après avoir trouvé le nombre  $n_1$  de longueur d'onde  $\lambda_1$  contenue dans la distance mesurée en utilisant les équations (3) et (4).

L'erreur sur la distance absolue calculée dans la gamme des distances de 50 à 80 cm est de  $\pm 1$  cm. Néanmoins pour les distances où l'erreur sur la différence de déphasage  $E(\Delta\varphi)$  est supérieure à  $9^\circ$ , l'erreur est de  $\lambda_1/2 = 17.2$  cm  $\pm 1$  cm, qui s'explique par une erreur sur les valeurs de  $n_1$  calculées par l'équation (4). Comme le système opère en temps réel, on peut utiliser l'historique de calcul pour ajuster les valeurs des  $n_i$  pour toute variation brutale de distance de plus que  $\lambda_i/2$  entre deux mesures consécutives. En effet, pour une rapidité de calcul de 1 mesure chaque 10 ms, la vitesse latérale maximale du véhicule ne doit pas dépasser  $16.4$  m/s pour que la variation latérale entre deux mesures ne dépasse pas  $\min(\lambda_1/2, \lambda_2/2) = \lambda_2/2$ . Les points en rouge de la figure 5 donnent la distance absolue avec cette correction. L'erreur sur la distance absolue est alors réduite à  $\pm 1$  cm.

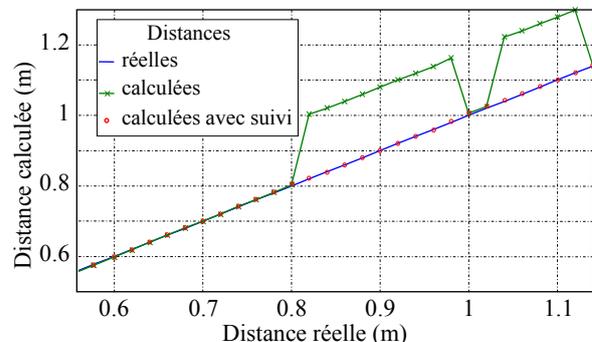


Figure 6. Distances absolues calculées.

Enfin, au début du fonctionnement du système on ne sait pas si on a obtenu la bonne valeur de  $n_i$ . Une phase transitoire d'observation et de comparaison sur plusieurs

mesures est nécessaire avant que le système opère dans son régime permanent, dans lequel on continue la surveillance de la variation des valeurs de  $n_i$  pour détecter tout dysfonctionnement

## 5. Conclusion

Le système coopératif radiofréquence d'estimation du positionnement latéral du véhicule présenté dans cet article est basé sur une communication entre le véhicule équipé d'un système hyperfréquence d'émission-réception et la chaussée intégrant des transpondeurs passifs dans les bandes blanches. Le système hyperfréquence interroge les transpondeurs autour des fréquences centrales des deux résonateurs. Il reçoit leur réponse signée. La méthode de calcul de la distance latérale est basée sur les déphasages de propagation dû au trajet aller-retour, entre le transpondeur et les antennes d'émission-réception placées sur le côté du véhicule. Des mesures faites dans une chambre anéchoïde couvrant la gamme de distances de 54 à 114 cm, ont donné des estimations de la distance avec une précision de  $\pm 1$  cm.

Après cette validation du système et de la méthode de calcul dans la chambre anéchoïde, l'étape suivante consistera à implémenter le système dans un véhicule et à faire des mesures sur route.

## 6. Bibliographies

- [1] M. Ohzora, T. Ozaki, S. Sasaki, M. Yoshida, Y. Hiratsukat, «Video-rate image processing system for an autonomous personal vehicle system», IAPR Workshop on Machine Vision Applications 90, Tokyo, Japan, Nov. 1990, 389-392.
- [2] R. Belaroussi, J. Tarel, N. Hautiere, «Vehicle attitude estimation in adverse weather conditions using a camera, a GPS and a 3D road map», Intelligent Vehicles Symposium (IV), Baden-Baden, Germany, June 2011, 2011 IEEE , 782-787.
- [3] D. Gruyer, R. Belaroussi, and M. Revilloud. Map-aided localization with lateral perception. In 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings, pages 674–680, June 2014
- [4] P. Santos, S. Holé, C. Filloy, D. Fournier, «Magnetic vehicle guidance», Sensor Review 2008, 28, 132–135.
- [5] Géron, E.; Ditchi, T.; Houdali, N.; Holé, S. «Système d'aide à la conduite». Patent FR20130000136, ESPCI Georges Charpak Foundation, 22 janvier 2013.
- [6] N. Houdali, T. Ditchi, E. Géron, J. Lucas, S. Holé, «RF Infrastructure Cooperative System for in Lane Vehicle Localization», *Electronics* 2014, 3, 598-608.