



HAL
open science

Un imageur radar pour la perception et la caractérisation en milieu naturel

R. Rouveure, P. Faure, M.O. Monod

► **To cite this version:**

R. Rouveure, P. Faure, M.O. Monod. Un imageur radar pour la perception et la caractérisation en milieu naturel. C2I 2010: 5ème Colloque Interdisciplinaire en Instrumentation, Jan 2010, Le Mans, France. 8 p. hal-00583431

HAL Id: hal-00583431

<https://hal.science/hal-00583431>

Submitted on 5 Apr 2011

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.

Un imageur radar pour la perception et la caractérisation en milieu naturel

Raphaël Rouveure* — **Patrice Faure*** — **Marie-Odile Monod ***

* *Cemagref*

*Unité de Recherche Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes
24 avenue des Landais, BP. 50085, F-63172 Aubière cedex
{raphael.rouveure, patrice.faure, marie-odile.monod}@cemagref.fr*

RÉSUMÉ. Le processus de perception demeure un point critique pour les applications en environnement extérieur. Le radar hyperfréquence offre dans ce contexte un potentiel important car il permet de résoudre certaines limitations des capteurs optiques (laser, vision). Un capteur de ce type, nommé K2Pi, a été conçu pour des applications de cartographie de l'environnement. Le radar est associé à l'algorithme R-SLAM, développé pour dessiner les cartes radar. La carte radar globale est construite à partir d'un processus de fusion de données, basé sur un principe d'appariement des images radar successives. L'environnement est décrit sous la forme d'une grille d'occupation. Les premiers résultats obtenus en milieu extérieur naturel montrent la capacité du radar à prendre en compte des environnements étendus.

ABSTRACT. Perception remains a challenge in outdoor environments. Overcoming the limitations of vision-based sensors, microwave radar presents considerable potential. Such a sensor so-called K2Pi has been designed for environment mapping. In order to build radar maps, an algorithm named R-SLAM has been developed. The global radar map is constructed through a data merging process, using map matching of successive radar image sequences. An occupancy grid approach is used to describe the environment. First results obtained in natural environment are presented, which show the ability of the micro-wave radar to deal with extended environments.

MOTS-CLÉS: radar FMCW, SLAM, cartographie.

KEYWORDS: FMCW radar, SLAM, mapping.

1. Introduction

En environnement extérieur naturel, le processus de perception demeure un point critique pour de nombreuses applications comme la gestion de l'environnement ou la robotique mobile autonome. Les systèmes de perception optique (de type laser ou caméra) sont pénalisés en présence de poussières, brouillard, pluie, neige, ainsi que par les variations d'éclairement. Dans ce contexte, le radar peut fournir une solution alternative intéressante car dans le domaine microondes les données peuvent être acquises indépendamment des conditions atmosphériques et de l'heure du jour. Le radar se distingue des autres capteurs de distance car il permet de mesurer l'énergie rétrodiffusée par plusieurs objets se trouvant dans un même axe de visée. Le radar peut avoir une portée en distance importante, autorisant une perception efficace même avec peu d'objets présents ou des objets distants. Le radar a été utilisé avec succès dans de nombreux domaines comme l'imagerie de terrain (Scheding *et al.*, 2002), le suivi de cible (Brooker, 2005), la localisation et la navigation de véhicules (Clark, 1997). Plus récemment, des algorithmes de localisation et cartographie simultanées basés sur des capteurs de types radar ont été développés (Jose *et al.*, 2004). En réponse aux besoins exprimés par le développement de nouvelles applications, par exemple en agriculture (Fang *et al.*, 2006), nous avons développé un radar hyperfréquence compact, aisément installé sur un véhicule. Nous présentons dans cet article ses potentialités à travers une première application de cartographie en environnement extérieur naturel.

Le principe et les principales caractéristiques du radar K2Pi sont décrits dans le paragraphe 2. Le paragraphe suivant développe l'algorithme de construction cartographique R-SLAM. Cet algorithme est basé sur une approche d'appariement des images radar successives, l'environnement étant décrit sous la forme d'une grille d'occupation. Les premiers résultats obtenus en environnement extérieur naturel sont présentés au paragraphe 4.

2. Présentation du radar K2Pi

Pour des applications courtes distances (de l'ordre de quelques centaines de mètres), la technologie classique du radar à impulsions n'est pas la mieux adaptée, car elle impose l'utilisation d'une électronique très rapide et onéreuse pour obtenir des précisions de mesure correctes. Le radar K2Pi (voir Figure 1) utilise le principe d'une émission en continue d'une onde électromagnétique modulée en fréquence (FMCW : Frequency Modulated Continuous Wave). Le principe du radar FMCW consiste à mélanger le signal émis (dont la fréquence suit une loi de modulation linéaire) avec le signal reçu par le radar (le signal reçu est la somme des signaux rétrodiffusés par l'ensemble des cibles se trouvant dans l'axe de visée du radar) (Skolnik, 1980). Considérons une loi de modulation en dent de scie de fréquence F_m , produisant une excursion en fréquence ΔF , et une distribution de i cibles stationnaires aux distances respectives R_i .

Lorsque le signal reçu est mélangé à une partie du signal d'émission, un signal de battement S_b peut être isolé (Monod, 1995) :

$$S_b = k \sum_i V_e V_{r_i} \cos \left(2\pi \left(2\Delta F F_m \frac{R_i}{c} \right) t + \Phi_i \right)$$

V_e est l'amplitude du signal émis, V_{r_i} l'amplitude du signal reçu de la cible i , et Φ_i un terme de phase. c représente la vitesse de la lumière, et k un coefficient du mélange.

L'antenne réalise un tour complet (360°) dans le plan horizontal en une seconde. Les distances radar-cible R_i sont déterminées en mesurant les composantes fréquentielles du signal de battement par le biais d'une transformée de Fourier. Une analyse est réalisée tous les degrés (soit 360 analyses fréquentielles par tour d'antenne). On appelle « image radar panoramique » 360 spectres radar successifs affichés selon une représentation de type PPI (Plan Position Indicator), qui permet de représenter les objets détectés en coordonnées polaires (distance, angle). Si l'on considère les effets combinés de la rotation d'antenne et du déplacement du véhicule (translation et rotation) sur lequel est positionné le radar, on observe des distorsions entre spectres radar dans l'image radar panoramique construite. Pour résoudre ce problème, nous utilisons deux capteurs proprioceptifs afin de déterminer le déplacement du véhicule : un odomètre pour mesurer le déplacement longitudinal ; un gyromètre pour mesurer la rotation. Une mesure de ces deux capteurs proprioceptifs est effectuée à chaque tour d'antenne, et la correction à appliquer est calculée en coordonnées cartésiennes. Chaque acquisition radar est donc transformée en coordonnées cartésiennes afin de pouvoir appliquer la correction. La trajectoire du véhicule est estimée pour n tours d'antenne (n dépendant de la vitesse du véhicule) en faisant l'hypothèse d'une trajectoire circulaire à vitesse constante durant chaque tour d'antenne.



Figure 1. Vue générale du radar K2Pi

4 Nom de l'ouvrage

Une fois le déplacement du véhicule pris en compte, un filtre anti-speckle est appliqué. L'effet de speckle est une modulation d'amplitude aléatoire du signal radar, inhérente à toute construction d'image radar. Ce bruit peut être diminué par filtrage spatial ou par filtrage multi-vues (Frost *et al.*, 1982 ; Guoqing *et al.*, 1999). Nous avons sélectionné cette dernière approche : n images radar indépendantes sont combinées de façon incohérente (par filtrage dans le domaine spatial) afin de produire une image radar finale. On notera que les fréquences Doppler introduites par des objets mobiles ne sont pas prises en compte (hypothèse d'un environnement statique).

Le diagramme général du radar K2Pi est présenté sur la Figure 2. Ce radar inclut les composants hyperfréquences et les cartes électroniques pour l'émission et la réception des signaux (éléments non décrits dans cet article). L'acquisition et le traitement du signal sont basés sur un Pentium M cadencé à 2 GHz. Les principales caractéristiques du radar K2Pi sont présentées dans le tableau 1.

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Fréquence centrale d'émission F_0 | 24.125 GHz |
| Puissance d'émission P_t | 20 dBm |
| Gain d'antenne | 20 dB |
| Portée | 3 - 100 m |
| Résolution angulaire | 4° |
| Résolution en distance | 0.02 m |
| Dimension (long×larg×haut) - Poids | 27×24×30 cm - 10 kg |

Tableau 1. Principales caractéristiques du radar K2Pi

3. Construction d'une cartographie radar

L'objectif final est de construire une représentation de l'environnement en associant les images radar panoramiques successives. L'un des principaux intérêts de l'algorithme R-SLAM développé réside dans sa capacité à dessiner une carte de l'environnement du véhicule au cours de son déplacement, i.e. à localiser chaque objet présent dans cet environnement. Un autre avantage est qu'il ne dépend ni du type de véhicule utilisé, ni de la position du radar sur ce véhicule (la visée du radar ne devant cependant pas être obstruée). La carte globale est construite avec une démarche incrémentale comportant deux étapes (voir Figure 2) :

- appariement entre l'image radar panoramique courante et la carte globale (*map matching*), afin de déterminer le déplacement du radar,
- mise à jour de la carte radar globale via un processus de fusion (*map updating*).

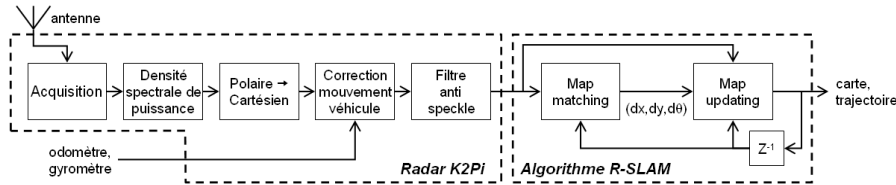


Figure 2. Diagramme général de l'imageur radar.

3.1. Map matching

L'image fournie par le radar K2Pi peut être considérée comme une grille d'occupation, divisant l'espace observé en une matrice de cellules régulière. Les grilles d'occupation sont des outils puissants et souples, permettant une représentation pertinente de l'environnement notamment dans les applications d'interprétation des données radar (Chandran *et al.*, 2006). Chaque cellule représente une petite portion de l'environnement (20×20 cm), repérée par ses coordonnées (x, y) dans un plan arbitraire, et dont la valeur est proportionnelle à la Surface Equivalente Radar (SER) de la zone concernée.

Dans une approche classique de détection et de suivi de cible, il est nécessaire de reconnaître les mêmes cibles d'une image sur l'autre. Cependant, la détection et l'identification non ambiguës de cibles basées sur l'interprétation de signaux radar demeurent des problèmes ouverts (Chen *et al.*, 2007). L'idée développée ici consiste à utiliser la forte densité des données radar dans une technique d'appariement (matching), en réalisant une corrélation 3D (deux translations et une rotation) entre l'image radar courante et la carte globale. Le maximum de la matrice de corrélation 3D obtenue fournit le déplacement du radar (translations et rotation), avec un écart-type égal à la magnitude du pic à 3 dB. La précision de la localisation est fixée par la dimension des cellules, définie par la résolution du radar.

3.2. Map updating

Une fois le déplacement du radar estimé, il demeure une question importante : comment intégrer l'information de l'image radar courante dans la carte globale ? Le principe retenu pour ce processus de fusion est de considérer que la probabilité pour un objet d'apparaître dans la carte globale est proportionnelle au nombre de fois qu'il a été observé à la même place. Le calcul est pondéré par un coefficient qui dépend de la distance d_i entre le radar et la cellule (x, y) de l'image i , ainsi que de caractéristiques intrinsèques du radar comme l'ouverture de l'antenne. La carte radar

globale est mise à jour à chaque tour d'antenne et croît au fur et à mesure que de nouvelles images sont intégrées.

Le principal avantage de l'algorithme R-SLAM est sa robustesse. La localisation est améliorée par l'utilisation de la carte globale qui est la meilleure estimée de toutes les observations précédentes. Si on utilise seulement la dernière image radar lors de la phase de map matching, certaines situations conduisent à de mauvaises corrélations (par exemple en cas d'apparition/disparition d'un obstacle d'une image sur l'autre).

4. Résultats

Le radar K2Pi et les capteurs proprioceptifs sont installés sur un véhicule utilitaire du Cemagref. Le radar est placé sur le toit, à une hauteur de 3 mètres. Les données sont enregistrées en temps réel durant le déplacement du véhicule. L'algorithme R-SLAM, codé sous Matlab 7 sur un Quadri-Core 2.5 GHz Pentium PC, est mis en œuvre en temps différé. Il faut en moyenne 6 secondes pour intégrer une nouvelle image radar et mettre à jour la carte globale. Des données GPS sont enregistrées simultanément sur un second PC afin de disposer d'une base de données pour des comparaisons ultérieures en termes de trajectoire.

L'expérimentation présentée a été réalisée le long de la rivière Allier près de Cournon, France (latitude 45°44' N, longitude 3°13' E, altitude 320 m). Une vue aérienne est présentée sur la Figure 3(a). Le véhicule se déplace à la vitesse moyenne de 7.9 km/h sur un chemin piétonnier. La distance totale parcourue est de 1014 m. Les pointillées jaunes indiquent la trajectoire enregistrée par le GPS. Un total de 452 images radar ont été traitées pour construire la carte globale et la trajectoire (pointillés rouge) présentées sur la Figure 3(b). On observe sur la gauche de la trajectoire un environnement dense, composé principalement d'arbres, de haies et de quelques bâtiments. La rivière se trouve à droite de la trajectoire. Les repères M1, M2 et M3 signalent des émergences dans le lit de la rivière. Les photographies incrustées dans la Figure 3(b) ont été prises lors du passage du radar.

5. Conclusion

Pour la perception en milieu extérieur naturel, le radar hyperfréquence est un capteur qui présente un potentiel intéressant, permettant notamment de résoudre les contraintes d'utilisation des systèmes optiques. Afin de construire une carte robuste et cohérente de l'environnement, l'algorithme R-SLAM présenté dans cet article exploite toute la richesse et la complexité du signal hyperfréquence fourni par le radar K2Pi, contournant la problématique de détection et de suivi de cibles particulières. Cet algorithme permet de construire simultanément une carte de l'environnement et une localisation du capteur dans cette carte, sans utiliser de système de positionnement absolu de type GPS.

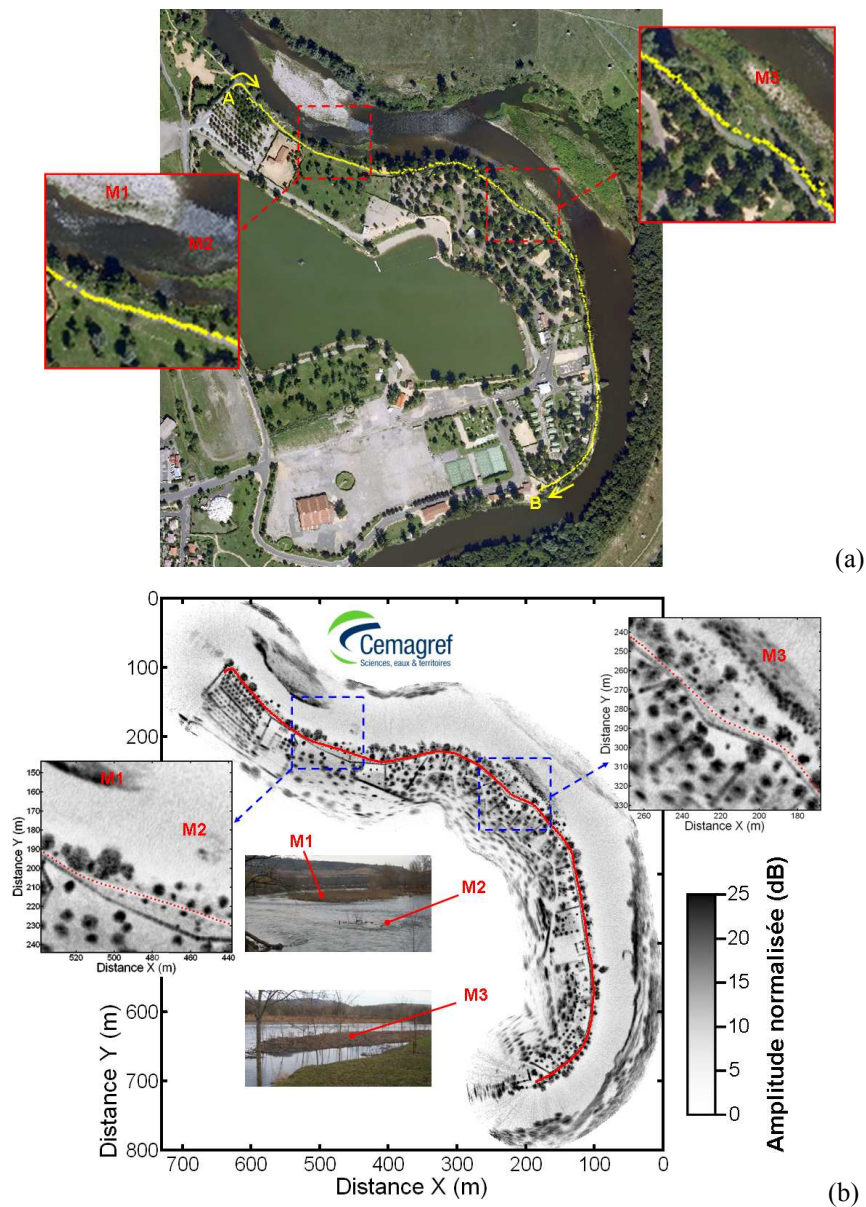


Figure 3. Cartographie radar le long de la rivière Allier. Distance totale parcourue : 1014. Vitesse moyenne : 2.2 m/s. (a) Image aérienne. Les repères A et B indiquent le début et la fin du parcours, la courbe en pointillés jaunes la trajectoire GPS. (b) Cartographie radar construite à partir de 452 images radar. La trajectoire estimée par l'algorithme R-SLAM apparaît en pointillés rouges.

La portée du radar K2Pi (fixée aujourd'hui à 100 m), combinée aux performances de l'algorithme R-SLAM, rendent possible la prise en compte d'environnements étendus et très peu structurés. De nombreux travaux sont en cours pour valider la qualité de la construction cartographie, notamment en environnement accidenté. La version actuelle du radar K2Pi ne permet pas la mesure de la vitesse radiale des cibles, donc seuls les environnements statiques (sans objets mobiles) sont considérés. En environnements dynamiques, la prise en compte des objets mobiles demeure aujourd'hui un problème important. Dans le cadre du projet IMPALA, soutenu par le programme PSIRob de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), un nouveau radar imageur est en cours de développement afin de traiter le cas de ces environnements dynamiques.

6. Bibliographie

- Scheding S., Brooker G., V.Bishop M., Maclean A., « Terrain imaging and perception using millimeter wave radar », *Proceedings of the 2002 Australasian Conference on Robotics and Automation*, Australia, 2002.
- Brooker G., « Millimeter Wave Radar for Tracking and Imaging applications », *1st International Conference on Sensing technology*, New Zealand, 2005.
- Clark S., Durran-Whyte H., « The design of a high performance mmw radar system for autonomous land vehicle navigation », *Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics*, France, 1997, p. 292-299.
- Jose E., Adams M., « Millimeter Wave RADAR Spectra Simulation and Interpretation for Outdoor SLAM », *IEEE International Conference on Robotics & Automation*, New Orleans, USA, 2004.
- Fang H., Fan R., Thuilot B., Martinet P., « Trajectory Tracking Control of Farm Vehicles in Presence of Sliding », *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 54(10), 2006, p. 828-839
- Skolnik M. I., *Introduction to radar systems*, In Electrical Engineering Series, McGraw-Hill International Editions, 1980.
- Monod M. O., Frequency modulated radar: a new sensor for natural environment and mobile robotics, Ph.D. Thesis, Paris VI University, France, 1995.
- Frost V.S., Stiles J.A., Shanmugan K.S., Holtzman J.C., « A model for radar images and its application to adaptive signal filtering of multiplicative noise », *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 4(2), 1982, p. 157-165.
- Guoqing L., Shunji H., Hong X., Torre1 A., Rubertone F., « Study on speckle reduction in multi-look polarimetric SAR image », *Journal of Electronics*, vol. 16(1), 1999.
- Chandran M., Newman P., « Motion Estimation from Map Quality with Millimeter Wave Radar », *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, China, 2006, p. 808-813.
- Chen Z., Samarabandu J., Rodrigo R., « Recent advances in simultaneous localization and map-building using computer vision », *Advanced Robotics*, vol. 21(3), 2007, p. 233-265.