

Vision à travers les murs

Mise en place d'une chaîne de traitement de l'information d'un radar ULB

OMAR BENAHMED DAHO, OLIVIER CHAPPE, JAMAL KHAMLICH, MICHEL MENARD, ALAIN GAUGUE

Laboratoire Informatique, Image et Interaction

Avenue M. Crépeau, 17042 La Rochelle cedex 01, France

omar.benahmed_daho@univ-lr.fr, olivier.chappe@univ-lr.fr, jamal.khamlichi@univ-lr.fr, michel.menard@univ-lr.fr,
alain.gaugue@univ-lr.fr

Résumé - Cet article décrit l'ensemble de la chaîne de traitement de l'information de notre système radar ULB de vision à travers les murs qui produit des séquences d'images d'une scène sous surveillance. Toutes les étapes de traitement seront mis en exergue : le traitement du signal, l'imagerie radar par la combinaison de la rétroprojection et la trilatération, la segmentation des cibles mobiles pour leurs suivi (partie mobile) et la détection des structures fixes (partie fixe) en utilisant la transformée de Radon. Nous nous concentrons particulièrement sur la méthode d'imagerie radar qui permet d'augmenter les performances de détection / localisation du système. En outre, un algorithme TFAC basé sur les tenseurs de structure est introduit et utilisé pour améliorer l'annulation des fausses alarmes. Les données ont été acquises à l'aide d'un radar multistatique de bande passante de 3 GHz. Les simulations et les expériences montrent que la méthode proposée surpasse les autres méthodes courantes. Des résultats de simulation et d'expérimentation seront présentés, comparés et discutés.

Abstract - This paper describes the whole processing pipeline of our UWB 3 GHz bandwidth multistatic through-the-wall radar system which produces a video-like radar image of the scene under surveillance. All the processing steps will be highlighted: digital signal processing, radar imaging by a combination of backprojection and trilatération, moving target segmentation for tracking and building contour detection using the Radon transform. We specifically focus on the radar imaging method which allows increasing the detection/localization performance of radar system. Moreover, a structure tensor based CFAR algorithm is introduced and used to further improve the false alarms cancelation. The data were acquired using a 3 GHz bandwidth multistatic radar. Simulations and experiments indicate that our combined method outperforms the other common methods. The simulation and experiment results obtained will be shown, compared and discussed.

1 Introduction

La surveillance à travers les murs (STM) par un radar Ultra-Large Bande (ULB) est devenue un sujet de recherche stratégique. Les systèmes STM sont maintenant utilisés dans des applications variées pour détecter des cibles humaines d'intérêt derrière des obstacles diélectriques opaques (béton, parpaing, bois...). Un système avec de telles capacités est très utile dans, par exemple, l'identification de terroristes cachés dans un immeuble lors d'une prise d'otages, ou bien encore la recherche de survivants ensevelis sous les décombres après une catastrophe naturelle, etc. Ces systèmes sont utilisés comme outil d'aide à la décision, par les forces d'intervention, pour établir une meilleure stratégie d'intervention possible. Le but recherché est de minimiser les pertes humaines [1].

Pour ce genre d'intervention, toute information sur ce qui se cache derrière l'obstacle est primordiale pour le bon déroulement de l'opération. Les informations les plus importantes, dans le contexte étudié, sont : le nombre de cibles, leurs emplacements, leurs trajectoires et les cachettes où elles peuvent potentiellement s'embusquer. Pour les obtenir, une multitude de traitements doivent être utilisés. La mise en place de ces traitements pour constituer une chaîne de traitement

n'est pas une tâche triviale. Elle doit être faite en optimisant les interactions entre les différents blocs de traitements pour améliorer les performances du système radar.

Pour tout système STM, la méthode d'imagerie utilisée est la composante la plus importante dans la chaîne de traitement. Elle doit être choisie en fonction des la problématique traitée. Différentes approches traitant de ce point sont proposées. La rétroprojection et ses différentes variantes sont largement utilisées en raison de leur simplicité. En outre, la méthode de trilatération et la méthode de retournement temporel sont également utilisées, et même combinées à d'autres techniques pour surpasser leurs versions classiques en termes de performance. Néanmoins, même doté d'une méthode d'imagerie efficace, le système radar doit être complété par d'autres fonctionnalités. Plusieurs techniques de post-imagerie sont étudiées dans différents travaux tels que détection TFAC (Taux de Fausses Alarmes Constant) [2].

Dans cet article, nous présentons, d'une manière concise, une chaîne complète de traitement de l'information d'un radar ULB pour la vision à travers les murs. Nous nous focalisons sur le bloc Imagerie Radar (IR), et l'évaluons aussi bien en simulation qu'en pratique avec le prototype développé [3].

2 Description de la chaîne de traitement de l'information

La figure 1 représente le schéma synoptique de la chaîne de traitement de l'information proposée. La fonctionnalité détection/localisation des cibles, implémentée dans le bloc IR, est le point le plus crucial dans le contexte étudié. Dans ce travail, nous nous appuyons sur les méthodes de rétroprojection et de trilatération largement utilisées pour ce type de problématique [4,5]. Elles utilisent les informations portées par les signaux acquis pour générer une image de la scène sous surveillance. Nous proposons une utilisation conjointe des deux approches dans le but d'améliorer les performances de la détection et de la localisation. L'algorithme de détection TFAC est préalablement appliqué sur les images rétroprojectées dans le but de détecter les cibles noyées dans un bruit afin de mieux se focaliser sur les parties saillantes des zones détectées.

Comme le représente la figure 1, le flux d'images radar obtenu est scindé en deux parties. La première, la séquence dynamique, contient les cibles mobiles. La seconde, la séquence statique, contient les cibles et les structures stationnaires (les murs intérieurs de la scène). La décomposition en deux flux est réalisée grâce à des algorithmes de segmentation d'objets mobiles, conçus pour l'imagerie optique [6], et adaptés pour prendre en compte les caractéristiques des images radar.

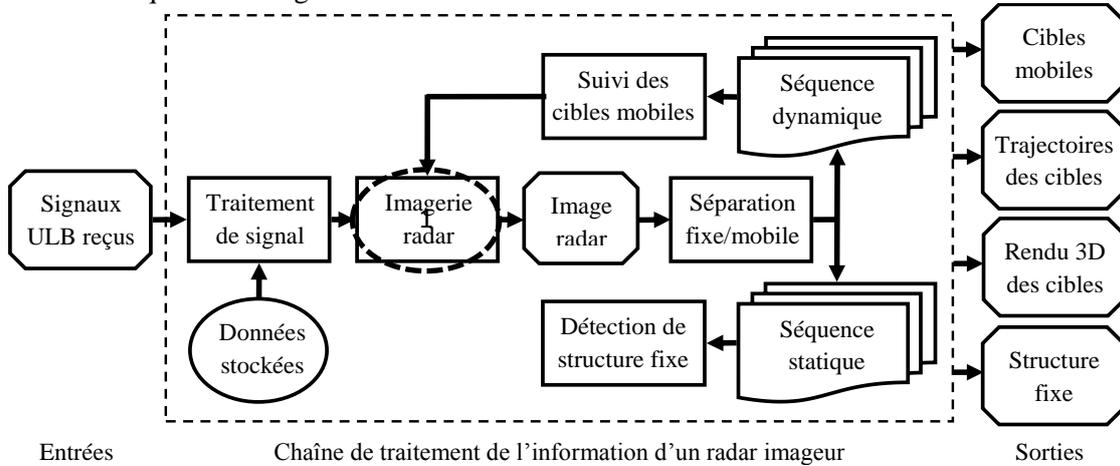


Figure 1 : Schéma synoptique de la chaîne de traitement de l'information proposée

La trilatération propose une approche géométrique de localisation de la position absolue ou relative d'une cible, à partir de la connaissance des distances de la cible aux antennes émettrice et réceptrices [5]. La méthode n'est cependant pas adaptée à la détection de plusieurs cibles. Une solution à ce problème de localisation multicible est apportée par la définition d'une fonction d'association des différents échos reçus par les différentes antennes. Dans un premier temps, après détection des échos des cibles dans les signaux prétraités, toutes les positions possibles sont calculées. Cela est fait en utilisant l'algorithme traditionnel de trilatération sur les différentes combinaisons des échos. Dans un second temps, les fausses positions (combinaisons) sont éliminées en fonction de la valeur

3 Les méthodes d'imagerie radar proposées

Le bloc IR de la chaîne de traitement s'appuie sur l'utilisation conjointe des méthodes de rétroprojection et de trilatération. Dans ce qui suit, nous présentons les deux algorithmes ainsi que notre approche pour les faire coopérer.

3.1 Rétroprojection et Trilatération

L'objectif de la rétroprojection [4] est de fournir une carte d'intensité (image) permettant de visualiser les échos des cibles présentes dans la scène sous surveillance. Il s'agit de calculer pour chaque pixel de l'image à construire, la réflectivité du point correspondant dans la scène. Afin de rendre l'approche robuste, une corrélation entre les N signaux reçus et deux signaux, $S_{ref1,2}$, issus d'antennes de référence est effectuée (Eq.1). Ceci permet de diminuer fortement les traces des artefacts liés à la méthode et d'augmenter ainsi la résolution des cibles.

$$\eta(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i(t_i) \cdot S_{ref1}(t_{ref1}) \cdot S_{ref2}(t_{ref2}) \quad (1)$$

où, t_i est le temps mis par l'onde pour parcourir la distance Emetteur – pixel $P(x, y)$ – i^{ème} Récepteur.

Afin d'accroître encore la robustesse de cet algorithme, l'information portée par le signal reçu est moyennée localement sur une durée temporelle égale à la durée de l'impulsion ULB émise.

du coefficient d'association défini par l'équation 2. Ce coefficient est comparé à un seuil de détection approprié. Celui-ci est évalué lors d'une phase expérimentale d'apprentissage. Il mesure l'écart entre la position estimée de la cible et les ellipses de détection. Plus l'écart est grand, moins la probabilité que les échos considérés proviennent d'une cible est faible. Nous montrons que le choix d'un seuil approprié conduit à une bonne performance de localisation.

$$Q_{association} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (c \cdot t_i - (TTd + TRd_i))^2} \quad (2)$$

où, TTd est la distance Emetteur-Cible, TRd_i est la distance Cible- i^{ème} Récepteur, t_i est défini dans l'équation 1 et c est la vitesse de la lumière dans le vide.

3.2 TFAC et les tenseurs de structure

Afin de diminuer le taux de fausses alarmes (TFA) de la rétroprojection, un algorithme de détection de TFAC modifié est appliqué sur les images radar. Traditionnellement, les images sont analysées avec un masque TFAC. Le balayage est effectué pixel par pixel à travers toute l'image. L'idée sous-jacente de la détection TFAC est de comparer l'intensité d'une zone d'intérêt avec l'intensité d'une zone de référence [2]. Celle-ci est définie au voisinage de la zone d'intérêt mais est séparée par une zone de garde pour éviter les effets liés aux pixels d'intensité élevée appartenant aux lobes latéraux de la cible [7]. Cependant, l'observation des images radar obtenues par rétroprojection montre que les cibles sont représentées par des lobes plus ou moins étendus. Ceux-ci sont dirigés suivant une direction qui dépend de leur position dans l'image. L'amélioration de la détection TFAC consiste donc à déterminer la direction optimum de chaque lobe grâce à l'utilisation des tenseurs de structure (TS) permettant une application plus appropriée des masques de détection.

Le TS est un outil bien connu pour l'analyse de l'orientation locale dans une image. On définit un tenseur pour un pixel $p = (x, y)$ d'une image I , ayant une valeur du vecteur gradient $\nabla I(p) = (I_x(p), I_y(p))^T$, par une matrice 2×2 exprimée sous la forme :

$$T_s(p) = \begin{bmatrix} (I_x(p))^2 & I_x(p)I_y(p) \\ I_x(p)I_y(p) & (I_y(p))^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \quad (3)$$

où, T désigne l'opération de transposition de matrice.

Les valeurs propres et leurs vecteurs propres résument la distribution du gradient de l'image au sein du point d'intérêt [8]. L'évaluation de l'orientation du lobe de la cible passe donc par le calcul la décomposition spectrale du tenseur qui est une matrice symétrique semi-définie positive. Le tenseur de structure possède donc deux valeurs propres positives λ_1 et λ_2 et deux vecteurs propres orthogonaux associés. L'angle d'orientation θ , qui représente l'angle de rotation entre le système de coordonnées de l'image et le système des axes principaux du tenseur de structure peut être calculée à partir du vecteur d'orientation en utilisant la formule suivante [9] :

$$\tan(2\theta) = \frac{t_{22} - t_{11} + \sqrt{\Delta}}{2t_{12}} \quad (4)$$

où, Δ est le discriminant de la matrice du TS.

Une fois cet angle calculé, un masque, adapté au lobe d'intérêt, est généré pour appliquer le test TFAC. L'énergie de la zone sous test est comparée avec les

énergies de quelques zones de référence élémentaires, sélectionnées suivant l'orientation du lobe principale de la cible. Les résultats obtenus avec cette approche se révèlent plus discriminants par rapport à une approche classique TFAC.

3.3 Combinaison

La sommation aveugle des détections issues de la rétroprojection et de la trilatération dégradent les performances de chacune des méthodes prises indépendamment, en particulier pour des faibles niveaux de bruit. Pour pallier ce problème, on propose une combinaison plus adaptée, s'effectuant tout d'abord en appariant les détections de la rétroprojection avec celles de la trilatération. Ensuite, les cibles isolées, détectées par rétroprojection, sont supprimées en fonction de leurs intensités. Celles détectées par la trilatération sont supprimées en fonction de la valeur de leurs coefficients d'association. La performance de détection est considérablement améliorée. Cependant, le taux de faux positifs (TFP) est légèrement plus élevé que celui apporté par la rétroprojection. L'algorithme de détection TFAC est donc incorporé dans le module IR comme traitement préalable. Il contribue à améliorer les performances de détection en réduisant le TFP pour les images rétroprojectées. Un post-traitement est appliqué sur les informations générées pour les adapter à la suite de la chaîne de traitement.

4 Résultats

Dans cette section, les résultats expérimentaux et de simulation sont présentés. Pour la simulation, on a adopté un scénario composé de deux cibles en mouvement et d'une cible fixe dans une scène de dimensions $4 \times 4 m^2$. Les expérimentations réelles sont effectuées à l'aide d'un radar ULB pulsé multistatique de $3.2 GHz$ de bande passante [3]. Le deuxième scénario comporte une cible métallique en mouvement dans une pièce. Dans les deux cas, les expériences sont effectuées en considérant la propagation à travers un mur de placoplâtre de $7 cm$ d'épaisseur. Il faut noter que les paramètres de détection (sensibilité,...) ne sont pas modifiés et les signaux simulés ou acquis subissent les mêmes traitements. Le tableau Tab 1 montre les taux de détection des méthodes d'imagerie présentées pour différents niveaux de bruit. Ces résultats dépendent fortement du nombre de cibles et de leurs mouvements dans la scène.

Tab 1: Performance de détection de la méthode d'imagerie présentée (Scénario de simulation, 3 cibles, 101 frames)

	Rapport signal/bruit SNR (dB)	0	3	10	15
Rétroprojection	Probabilité de Détection (%)	79.54	83.17	84.48	87.13
	Nombre moyen de fausses alarmes	1.45	0.81	0.72	0.62
Trilatération	Probabilité de Détection (%)	47.85	57.09	73.27	76.24
	Nombre moyen de fausses alarmes	0.63	0.26	0.32	0.25
Combinaison sans TFAC	Probabilité de Détection (%)	71.95	81.52	90.76	94.72
	Nombre moyen de fausses alarmes	1.15	0.71	0.94	0.79
Combinaison avec TFAC	Probabilité de Détection (%)	71.95	81.52	90.76	94.72
	Nombre moyen de fausses alarmes	0.67	0.46	0.34	0.37

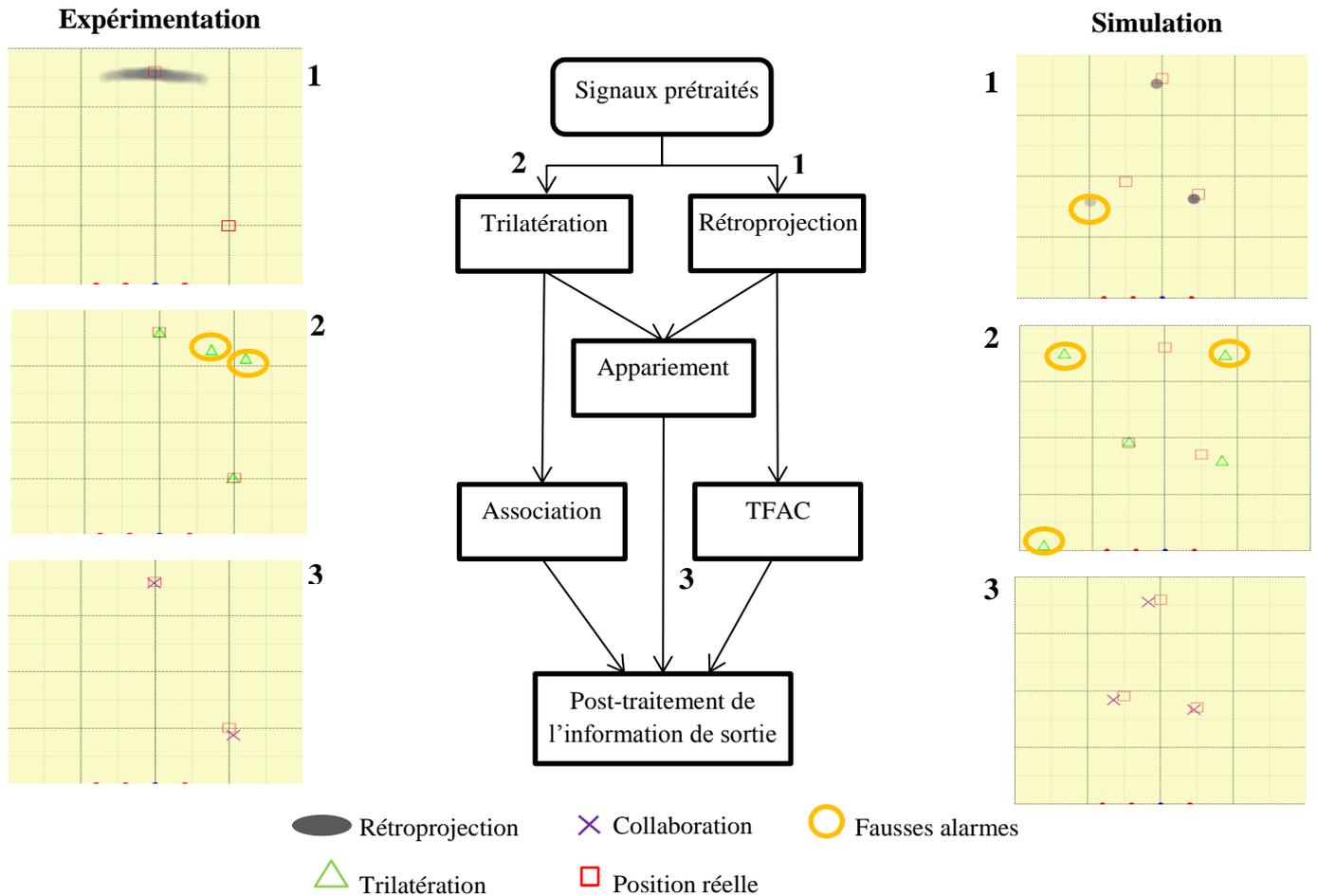


Figure 2 : étapes de traitement et résultats de la méthode d'imagerie radar proposée en simulation et expérimentation réelle.

Ce tableau permet d'identifier le comportement complémentaire des méthodes, ceci en prenant en considération le rapport SNR. La rétroprojection présente la meilleure probabilité de détection. Cependant, pour des faibles valeurs de SNR, les fausses alarmes restent importantes. Alors que la trilatération garde un TFA relativement réduit avec une détérioration de la probabilité de détection pour des faibles valeurs de SNR. Ces derniers surviennent notamment lorsque les signaux sont fortement bruités et lorsque les cibles se rapprochent. La méthode de collaboration présente le meilleur compromis entre probabilité de détection et TFP. La figure 2 montre les images radar obtenues par simulation et par expérimentation.

5 Conclusion

Dans cet article, la chaîne de traitement de l'information implémentée dans un radar ULB de vision à travers les murs est présentée. Les algorithmes de rétroprojection et de trilatération sont combinés afin d'augmenter les performances de détection/ localisation. Cela se fait au détriment d'une légère augmentation du taux de faux positifs. Celui-ci est réduit en appliquant un algorithme de détection TFAC, basé sur les tenseurs de structure, qui permet d'accroître l'efficacité des traitements en aval. Dans les travaux futurs, les informations obtenues à partir des étapes ultérieures de traitement, notamment la phase de tracking multi-cibles

et multi-hypothèses, seront utilisées pour améliorer les performances de détection.

6 Références

- [1] E. J. Baranoski, "Through-wall imaging: Historical perspective and future directions". J. Franklin Inst., Vol. 345, pp. 556-569, 2008.
- [2] Al-Hussaini E. K, Ibrahim B.M. Comparison of adaptive cell-averaging detectors for multiple-target situations. IEE Proceedings. Juin 1986.
- [3] X. W. Zhao. "Détection et localisation de cibles derrière un mur avec un système radar ULB". Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, Nov. 2010.
- [4] Lane, R.O. & Hayward, S.D, "Detecting personnel in wooded areas using MIMO radar". IET International Conference on Radar Systems, Edinburgh, 15-18, Oct. 2007.
- [5] X. W. Zhao, A. Gaugue, C. Lièbe, J. Khamlichi, and M. Ménard, "Through-the-wall detection and localization of a moving target with a bistatic UWB radar system". EURAD, Paris, pp. 204-207, Oct. 2010.
- [6] T. Yang, S.Z. Li, Q. Pan, J. Li, "Real-time and accurate segmentation of moving objects in dynamic scene". In VSSN '04: Proceedings of the ACM 2nd international workshop on Video surveillance & sensor networks, ACM, pp. 136-143, New York, 2004
- [7] A. Martone, K. Ranney and R. Innocenti, "Automatic through the wall detection of moving targets using low-frequency ultra-wideband radar". In Proc. IEEE Inter. Radar Conf., pp. 39-43, May 2010.
- [8] J. Bigun. "Recognition of local symmetries in gray value images by harmonic functions". In Proceedings of International Conference on Pattern Recognition (ICPR), pp. 345-347, 1988.
- [9] J. Weickert. "Anisotropic Diffusion in Image Processing. Teubner". ECMI Series, Teubner-Verlag, Stuttgart, 1998.