

METHODE DE COMPENSATION DU MOUVEMENT DES CIBLES RADAR ET IMAGERIE INCOHERENTE

L. SAVY-C. DELHOTE

LE CENTRE THOMSON D'APPLICATIONS RADARS
6, Rue Nieuport - 78143 VELIZY VILLACOUBLAY CEDEX

RÉSUMÉ

ABSTRACT

L'observation d'une cible sous les différents angles de présentation balayés au cours de sa trajectoire permet sous certaines hypothèses d'accéder à la répartition transverse de la densité de SER (Procédé ISAR). Cette méthode nécessite la compensation du mouvement inconnu de la cible. La précision de cette compensation limite la résolution distance obtenue et donc le champ d'applications de cette méthode. Après un rappel des équations de base du signal radar reçu d'une cible et du traitement classique ISAR, on présente une nouvelle méthode de compensation du mouvement de la cible dite incohérente. Cette méthode, associée à un changement de variable adéquat dans l'expression du signal reçu permet, en accédant à des durées d'analyse longues, d'obtenir avec une résolution distance fine l'autocorrélation de la répartition de la densité de SER et ne présente pas les mêmes limitations que celles mentionnées précédemment. Cette information peut servir de base à une fonction reconnaissance des cibles.

The observation of a target under the various angles of presentation scanned along her trajectory allows, with some assumptions, to reach the RCS density transverse distribution (ISAR processing). This method requires the compensation of the target unknown motion. The accuracy of this compensation limits the spatial resolution and therefore the field of applications of ISAR processing. After a review of the basic equations of the radar signal received from a target and of standard ISAR processing, we present a new method of target motion compensation called incoherent. This method along with a proper variable change in the received signal expression allows, by authorizing long times of analysis, to reach with a fine spatial resolution the autocorrelation of RCS density distribution, without the previous limitations.

This information can be the basis of a target recognition function.

1. INTRODUCTION

Le traitement du signal subit une évolution visant à acquérir de l'information sur les cibles, et à ne plus se satisfaire des fonctions classiques de détection et de trajectographie.

Dans ce but, l'observation d'une cible sous les différents angles de présentation balayés au cours de sa trajectoire permet sous certaines hypothèses d'accéder à la répartition transverse de la densité de SER de celle-ci (Procédé ISAR). Cette méthode nécessite une compensation précise du mouvement inconnu de la cible, ce qui limite actuellement son champ d'applications.

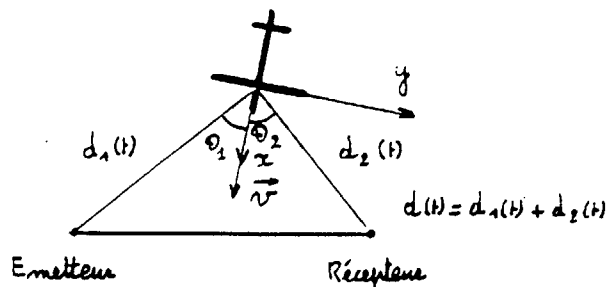
Après un rappel des équations de base de l'évolution du signal radar reçu d'une cible au cours du temps dans le cadre général, on décrit brièvement le traitement classique ISAR et ses limitations. Il est montré que ce traitement consiste essentiellement, après une compensation cohérente du mouvement de la cible, en une Transformée de Fourier (T.F.) du signal reçu par rapport au temps. Un traitement plus performant est ensuite présenté. La compensation du mouvement est alors effectuée par une nouvelle méthode dite incohérente, et la T.F. du signal est ensuite effectuée par rapport à une variable adéquate fonction non linéaire du temps. La durée d'intégration peut alors être plus longue, la résolution distance obtenue meilleure, et la trajectoire de la cible pratiquement quelconque.

Ce traitement conduit à décrire un modèle simplifié de la taille des cibles, qui associé à une fusion des résultats obtenus à plusieurs fréquences d'émission ou sur plusieurs radars permet d'accroître les performances obtenues.

2. Equations de base du signal reçu

On se place dans une configuration générale englobant les radars bistatiques et monostatiques. Seul le cas d'une cible isolée est traité, les radars présentant les plus souvent une fonction pistage qui peut permettre de restituer le signal en provenance de chacune des cibles dans une situation multicible.

L'observation de la cible au cours du temps le long de sa trajectoire permet d'accéder à l'évolution du coefficient de rétrodiffusion de la cible en fonction des angles de visée. Cette évolution apparaît alors comme la T.F. de la répartition de la densité de SER [1-3]



Le signal reçu dans l'hypothèse de site nul peut s'écrire :

$$A(t) = K \cdot \frac{e^{j \frac{2\pi}{\lambda} d(t)}}{d_1(t) \cdot d_2(t)} \cdot q(t) \quad (1)$$

q(t) : coefficient de rétrodiffusion en fonction du temps



$$Q(\mu, \nu) = q(t) = \iint_{\text{cible}} \vec{r}(x, y) \cdot e^{-j 2\pi(\mu(t) \cdot x + \nu(t) \cdot y)} dx dy$$

$$\mu = \frac{\cos \theta_1 + \cos \theta_2}{\lambda}$$

$$\nu = \frac{\sin \theta_1 - \sin \theta_2}{\lambda}$$

(3) lorsque la cible n'est pas animée
 (4) d'un mouvement de rotation par rapport à son vecteur vitesse

(Dans le cas monostatique, $\theta_1 = -\theta_2$)

$I(x, y)$: Densité de SER

$q(t)$ apparaît donc comme la T.F. de la densité de SER par rapport aux fréquences spatiales μ, ν .

Physiquement, $Q(\mu, \nu)$ représente l'amplitude complexe de l'onde réfléchie dans la direction θ_2 lorsque l'incidence est θ_1 . $Q(\mu, \nu)$ résulte en fait d'après (2) de la somme en amplitude et phase de l'onde provenant de chaque point de la cible. Les variables μ, ν représentent en effet des différences de marche, et l'on effectue un calcul d'interférence (approximation optique) entre plusieurs sources (les points de la cible).

Le traitement radar consiste alors à extraire le coefficient de retrodiffusion du signal reçu et à effectuer une T.F. inverse de celui-ci par rapport à (μ, ν) pour accéder à la répartition de la densité de SER ; celle-ci (représentant la répartition d'amplitude complexes sur la cible) est donc reconstituée à partir de la somme d'ondes planes aux incidences θ_1 et θ_2 .

3. Traitement radar classique

3.1. Compensation du mouvement de la cible

Le coefficient de retrodiffusion de la cible est extrait du signal reçu par correction du terme $\exp(j2\pi d/\lambda)$ ($d(t), d_r(t)$) qui représente le déplacement de la cible. Si l'estimation du terme d'amplitude $d(t), d_r(t)$ peut être grossière, l'estimation correcte du terme de phase $2\pi/\lambda d(t)$ nécessite une précision sur la mesure distance meilleure que la longueur d'onde, très difficile à obtenir sur des durées longues.

3.2. Transformée de Fourier du coefficient de retrodiffusion par rapport au temps

Sous l'hypothèse d'une trajectoire rectiligne uniforme de la cible pendant la durée d'analyse T et d'une distance parcourue faible devant la distance bistatique, le spectre obtenu par T.F. par rapport au temps du coefficient de retrodiffusion est la répartition de la densité de SER projetée sur un axe.

La résolution distance ramenée à l'axe vitesse est :

$$\delta R = \frac{\lambda}{\nu T} \frac{1}{\frac{\sin^2 \theta_1}{d_1} + \frac{\sin^2 \theta_2}{d_2}}$$

La résolution distance est donc d'autant plus fine que la durée d'analyse augmente mais celle-ci est limitée par le domaine de validité de l'hypothèse effectuée.

L'amélioration de la résolution distance suppose donc d'une part la capacité de corriger le signal du mouvement de la cible sur des durées longues et d'autre part la nécessité de s'affranchir des contraintes imposées sur la trajectoire pendant la durée d'analyse.

4. Traitement radar étendu à des durées d'observation importantes

4.1. Compensation du mouvement de la cible

Afin d'obtenir une compensation rigoureuse du mouvement sur des durées importantes, l'idée consiste à utiliser la puissance du signal reçu. On accède ainsi à l'évolution de la SER au cours du temps, correspondant au module au carré du coefficient de retrodiffusion :

$$V(t) = d_1^2(t) \cdot d_2^2(t) \cdot |q(t)|^2$$

La T.F. de la SER permet donc d'atteindre l'autocorrélation de la répartition de la densité de SER sur l'axe vitesse, qui est une information souvent suffisante pour la reconnaissance. La procédure de compensation du mouvement ainsi décrite est incohérente, puisque l'information sur la phase du coefficient de retrodiffusion n'est plus disponible. Elle présente l'avantage d'une extrême simplicité.

4.2. Transformée de Fourier de la SER par rapport à la fréquence spatiale μ

Ce traitement concerne les types de cibles relativement fréquents en pratique pour lesquels la répartition de la densité de SER s'effectue essentiellement le long d'un axe parallèle au vecteur vitesse $I(x, y) = A(x) \cdot \delta(y)$. Il est également parfaitement adapté, sous réserve d'aucune autre hypothèse, aux trajectoires restant proches de la normale à l'axe émetteur récepteur. Lorsque la cible n'est pas animée à un mouvement de rotation par rapport à son vecteur vitesse (cas général), le coefficient de retrodiffusion apparaît comme la T.F. de la densité de SER par rapport à la variable μ , correspondant alors à la fréquence doppler de la cible divisée par la vitesse

$$q(t) = \int A(x) \cdot e^{-j 2\pi \frac{F_D(t)}{V} x} dx$$

$A(x)$: Répartition de la densité de SER sur l'axe vitesse

La doppler de la cible et sa vitesse étant en général connues par les mesures radar, il est alors possible de reconstituer l'évolution de la SER en fonction de μ (module au carré du coefficient de retrodiffusion). Une T.F. de la SER par rapport à μ fournie ensuite rigoureusement la répartition de la densité de SER sur l'axe vitesse. La résolution distance est alors parfaitement contrôlée et correspond à l'inverse de la dynamique sur la fréquence spatiale μ (c'est à dire sur la doppler de la cible à vitesse constante). La durée d'analyse peut donc être importante et la résolution distance obtenue faible. On gagne ainsi typiquement un facteur 2 sur la résolution distance par rapport au traitement ISAR classique.

La figure 1 illustre l'effet du rééchantillonnage en comparant la puissance reçue en fonction du temps et en fonction de la fréquence spatiale μ lorsque la cible est une cible synchrone constituée d'une croix de longueur 15 m et d'envergure 15 m.

La figure 2 compare la T.F. de la SER par rapport au temps, à la T.F. par rapport à la fréquence spatiale μ . L'élargissement du spectre dû à une durée d'analyse trop longue est notable sur le résultat de la T.F. par rapport au temps.



5. Procédure d'estimation de la taille des cibles

5.1. Récapitulation

Les réflexions précédentes mettent en évidence les différentes étapes de l'estimation de la taille des cibles :

1. Compensation du mouvement de la cible en calculant la puissance du signal
2. Rééchantillonnage de la puissance linéairement par rapport à la variable dopplervitesse
3. T.F. par rapport à la variable dopplervitesse
4. Mesure de la largeur du spectre obtenue, qui correspond à deux fois la longueur de la cible.

On obtient en fait l'étendue de la densité de SER, c'est à dire la dimension électromagnétique de la cible.

La longueur ainsi estimée peut servir de critère de base à une séparation en plusieurs classes des cibles. Chaque classe i est caractérisée par une longueur de référence \bar{L}_i (moyenne des longueurs estimées sur cette classe) et la variance σ_i^2 des longueurs estimées. La classe retenue est alors, si \hat{L} est la longueur estimée, elle qui rend maximum la distance de Mahalanobis :

$$(\hat{L} - \bar{L}_i)^2 / \sigma_i^2$$

5.3. Fusion des résultats obtenus à plusieurs fréquences d'émission

Dans le cas où le radar utilise plusieurs fréquences ou dans le cas où l'on dispose de l'information de longueur en provenance de plusieurs radars, c'est à dire dans le cas où l'on dispose de plusieurs capteurs, il est intéressant d'effectuer une fusion des données. Une méthode d'inférence particulièrement simple et performante est la fusion bayésienne centralisée [4]. La classe retenue est celle qui rend maximum la probabilité à posteriori. Pour mettre en oeuvre une telle méthode, on définit un discriminateur normalisé à 1 et représentant une densité de probabilité :

$$E_{ij} = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(L_j - \bar{L}_i)^2}{2\sigma_i^2}} \cdot \underset{i}{\text{Max}} (\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_i)$$

j : longueur mesurée pour une cible appartenant à la classe j

i : classe de la reconnaissance

n : No du capteur

On effectue le calcul de $\prod_{i=1}^n E_{ij} = E_{ij}$

La classe i retenue pour la classe j envoyée est celle fournissant

Max (E_{ij})

i

Des simulations effectuées en supposant des répartitions gaussiennes des longueurs estimées mettent en évidence des gains importants sur les probabilités de reconnaissance par utilisation de plusieurs fréquences distinctes sur un radar.

6. CONCLUSION

Le Nouveau procédé ISAR décrit s'appuie sur une méthode de compensation incohérente du mouvement de la cible, en travaillant sur la puissance du signal reçu. Cette méthode, associée à un rééchantillonnage régulier de la puissance en fonction de la variable (dopplervitesse) suivi de d'une TF par rapport à cette nouvelle variable, permet d'accéder à l'autocorrélation de la répartition de la densité de SER sur l'axe vitesse. La résolution distance obtenue est fine car les durées d'intégration peuvent être plus longues que dans le cadre d'un traitement ISAR classique. L'autocorrélation de la densité de SER peut alors servir de base à une fonction reconnaissance des cibles.

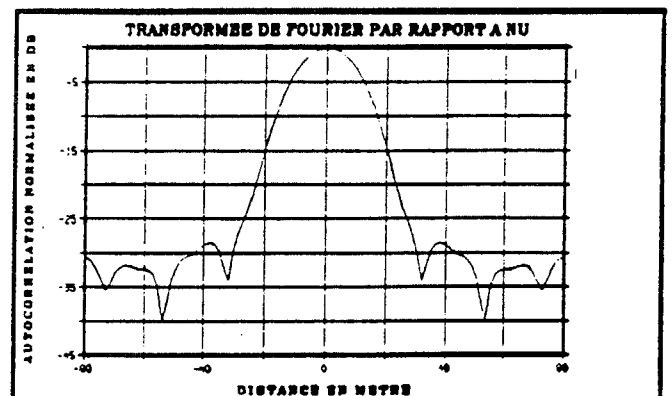
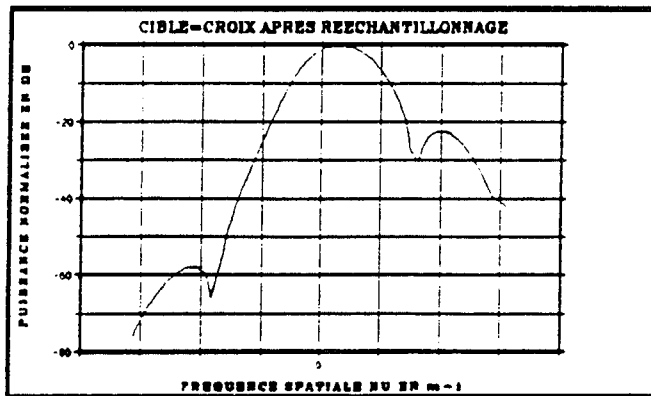
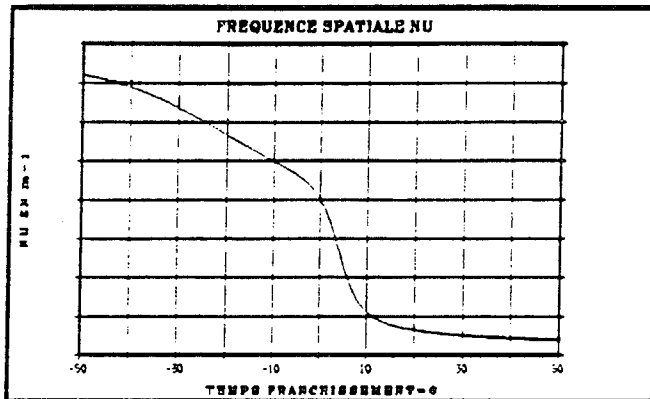
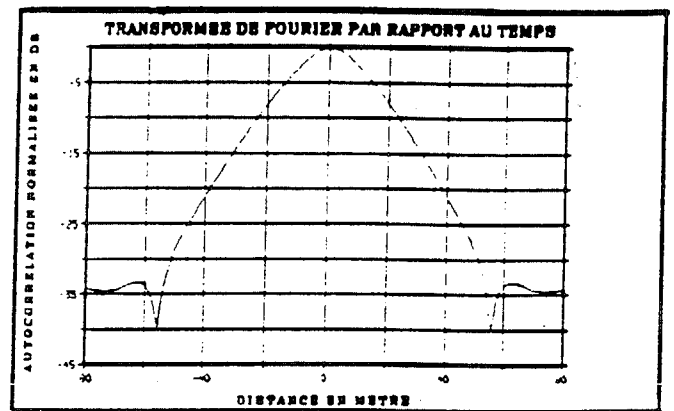
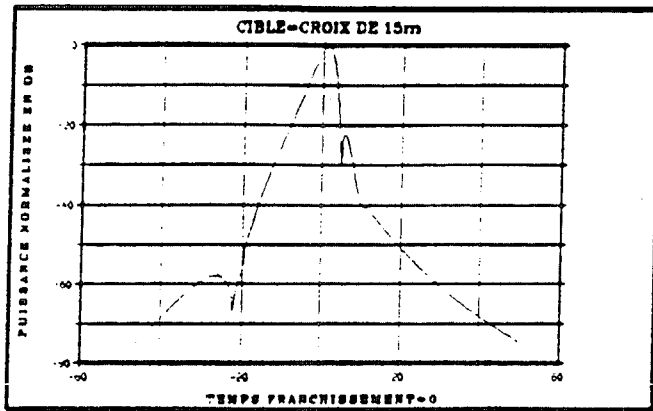
Outre sa simplicité, ce nouveau procédé ISAR présente l'avantage de ne pas faire d'hypothèses fortes sur la trajectoire de la cible.

Remerciements :

Les auteurs adressent leurs remerciements au Service Technique des Télécommunications et des Equipements aéronautiques (STTE) qui leur a fourni l'occasion de traiter ce sujet et qui a bien voulu autoriser la parution de ce texte.

REFERENCES

- 1) F. LE CHEVALIER Principes de traitement des signaux Radar et Sonar Masson p. 184 à 198
- 2) C. POUTT Caractérisation des échos Radar sur les avions. La Recherche aérospatiale, Année 1980 n° 2 (Mars-Avril) p. 131-139
- 3) G. CORSINI, E. DALLE Mese, G. MANARA Radar imaging of non cooperating maneuvering aircraft IEEE International Radar Conference - 1990
- 4) A. APPRIOU Choix et décisions en présence d'informations multiples. La recherche aérospatiale, Année 1986 N° 6.



**FIGURE N° 1 : EFFET
DU REECHANTILLONAGE**

**FIGURE N° 2 : COMPARAISON
DES T.F. DE LA SER PAR RAPPORT
AU TEMPS ET PAR RAPPORT A LA
FREQUENCE SPATIALE μ**