

SEPTIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

110/1



NICE du 28 MAI au 2 JUIN 1979

SYNTHESE TOMOGRAPHIQUE APPLIQUEE AU RADAR (S.T.A.R)

F. Le Chevalier, C. Fugier-Garrel

OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES
29, Avenue de la Division Leclerc - 92320 CHATILLON

RESUME

On présente une méthode d'imagerie en temps réel de cibles radar, utilisant un radar incohérent à haute résolution distance (ou un radar CW à haute résolution doppler). Après une brève description du problème de l'imagerie radar, on expose les principales caractéristiques de la procédure d'imagerie par synthèse tomographique, dont la validité est ensuite montrée par des images obtenues d'une cible réelle (avion sans pilote CT.20). On montre ensuite que cette procédure permet en plus de mettre en oeuvre ultérieurement une procédure simplifiée de classification automatique.

1. INTRODUCTION

S'il est actuellement possible de réaliser au sol des "images radar" de cibles [1], il est en revanche très difficile de réaliser de telles images sur des cibles en évolution libre : la technique actuellement disponible consiste en effet à utiliser l'effet "antenne synthétique" pour parvenir à une résolution en azimuth (par effet Doppler) et distance suffisante pour distinguer différents points brillants sur la cible : le radar nécessaire est alors à la fois complexe et spécifique, ce qui en limite l'utilité pratique.

La raison essentielle de cette limitation est le fait que, si de hautes résolutions Doppler ou de hautes résolutions distances peuvent actuellement être atteintes -et sont, de plus, utiles pour des raisons d'élimination d'échos parasites ou de résistance aux contre-mesures-, il est par contre beaucoup plus délicat de réaliser un radar possédant à la fois ces deux caractéristiques (radar à fort taux de compression). Ces remarques suffisent à expliquer l'intérêt porté à des méthodes d'imagerie radar n'utilisant que la résolution distance -ou la résolution Doppler- et fondées sur une interprétation réaliste des échos radar.

L'expérience acquise à l'ONERA en analyse de cibles radar grâce à la méthode d'holographie électromagnétique [1], confirmée par les modèles théoriques de rétrodiffusion [2], conduit à représenter une cible par un ensemble de "points brillants" élémentaires distincts : il apparaît en effet qu'une telle représentation permet :

SUMMARY

In this paper, we present a real time radar target imaging procedure, which uses an incoherent high range resolution radar (or a CW high doppler resolution radar). After a short summary of the radar imaging problem, the salient features of the imaging procedure by tomographic synthesis are described, and its effectiveness is shown by experimental result on a real target (drone CT 20). The procedure is then shown to allow a simplified automatic classification procedure to be implemented afterwards.



- de représenter fidèlement la position et l'amplitude de la plupart des échos élémentaires (points diffractants, dièdres) ;
- d'interpréter simplement les autres éléments rayonnant à la suite d'ondes de surfaces ou de trajets multiples (conduits).

Partant de ce modèle de points brillants, on peut analyser la réponse impulsionnelle d'une cible radar (réponse à un radar incohérent à haute résolution distance) comme une projection sur l'axe de visée des échos successifs des points brillants composant la cible. De façon tout à fait parallèle, une analyse Doppler fine de la cible s'analyse comme une projection, sur un axe perpendiculaire à l'axe de visée, des échos dus aux différents points brillants [3] (en raison de cette similitude des deux problèmes -analyse Doppler ou analyse distance- nous nous attacherons dans la suite uniquement au cas des radars à haute résolution distance).

Réaliser une image de la cible revient alors à utiliser les signaux successifs délivrés par le radar pour différentes attitudes, supposées connues, de la cible, afin de reconstruire l'image bidimensionnelle de cette cible à partir de ses projections (monodimensionnelles) successives. C'est une telle méthode de "synthèse tomographique" appliquée au radar (STAR) qui sera exposée dans la suite ; cette méthode découle des trois contraintes suivantes :



SYNTHESE TOMOGRAPHIQUE APPLIQUEE AU RADAR (S.T.A.R)

- l'image recherchée est constituée de points brillants,
- la procédure doit être applicable en temps réel ou quasi-réel, pour garder son intérêt dans le cadre de missions de surveillance,
- pour les mêmes raisons opérationnelles, l'image doit être obtenue après un examen de la cible sur un faible secteur dynamique.

Ces trois contraintes expliquent par ailleurs qu'il ne soit pas fait recours aux procédures de synthèse tomographique connues en médecine ou en physique nucléaire [4], où les conditions sont fort différentes.

La procédure adoptée (synthèse tomographique syntactique) sera d'abord exposée dans ses grandes lignes, puis on présentera des résultats obtenus sur une cible réelle (avion sans pilote CT 20), avant d'envisager les applications possibles dans le domaine du radar.

II. SYNTHESE TOMOGRAPHIQUE SYNTACTIQUE

Les caractéristiques d'une cible réelle peuvent être observées sur la figure 2, où sont tracées les réponses impulsionnelles mesurées sur la cible représentée sur la figure 1 (avion sans pilote CT 20) ; en ordonnée, figure l'angle θ caractérisant l'attitude de l'engin (ailes horizontales), en abscisse le temps (ou la distance au radar) ; les niveaux de gris figurent les niveaux en décibels des réponses impulsionnelles pour chaque distance et chaque angle de présentation. Les traces d'allure sinusoïdale que l'on observe figurent l'évolution de la distance entre les points brillants auxquels elles correspondent et le radar : l'existence de ces traces justifie donc la caractérisation de la cible par un ensemble de points brillants.

Une façon raisonnable de réaliser une image de la cible consiste alors à :

- détecter, sur chaque réponse impulsionnelle, la distance de chaque point brillant au radar, ou à un point brillant fixé choisi comme "pivot" ;
- construire l'image, par sommation de droites correspondant à la distance de chaque point brillant au pivot, pour chaque réponse impulsionnelle (et donc chaque angle de présentation), comme indiqué sur la figure 3 pour une cible comprenant trois points brillants.

De cette façon, les niveaux observés à chaque réponse impulsionnelle pour chacun des trois points brillants s'accroissent à l'endroit où sont situés les points brillants (notés \circ sur la figure). Cependant, cette procédure laisse subsister certaines ambiguïtés (notés \square sur la figure) qui peuvent être gênantes lorsque, comme nous l'avons noté, les niveaux des divers points brillants sont très différents les uns des autres.

Ces ambiguïtés peuvent être levées si l'on arrive à suivre chaque point brillant d'une réponse impulsionnelle à la suivante, c'est-à-dire à effectuer une véritable trajectographie des points brillants. En effet, dans ce cas, les intersections précédemment ambiguës ne le sont plus, puisque ce sont des intersections entre droites correspondant à des points brillants différents ; seules subsisteront alors les intersections notées \circ sur la figure 3, et l'on parviendra ainsi à réaliser une image correcte de l'engin. (Remarquons au passage que ces ambiguïtés sont élimi-

nées, dans les algorithmes "Algebraic Reconstruction Algorithms, ART" de types convolutionnels, par le filtrage que l'on fait subir à chaque projection [4].

Le problème reste alors de réaliser une trajectographie des points brillants sur la figure 2, ou plus exactement sur une portion de cette figure, puisqu'en pratique on ne dispose des réponses impulsionnelles que dans un petit secteur angulaire (10 ou 20 degrés) ; cette fonction peut être réalisée en temps réel par un algorithme de décodage syntactique (DESCOA: décodage syntactique par commande optimale d'automate) [5,6] qu'il n'est pas possible de décrire ici en détail.

Cet algorithme réalise séquentiellement la détection et la poursuite du point brillant d'une réponse à la suivante ; on a montré [6] qu'il permet de tolérer un bruit plus important (car il utilise, pour la détection du point brillant sur une réponse impulsionnelle, l'information apportée par les réponses impulsionnelles voisines), et qu'il améliore la précision de localisation du point brillant. De plus, comme la plupart des procédés syntactiques [7], celui-ci n'utilise que des opérations logiques (tests et rangements) donc rapides, réalisables par une logique câblée. Signalons enfin qu'il est applicable à une configuration de points brillants multiples et d'amplitudes fluctuantes, comme c'est le cas pour ce problème de synthèse tomographique

Cet algorithme syntactique permet donc d'effectuer la détection et la poursuite, en temps réel, des points brillants sur les réponses impulsionnelles successives ; il est alors facile de constituer l'image de la figure 3, en ne retenant que les intersections notées \circ , et donc de réaliser une image de l'objet observé (le pivot est choisi arbitrairement, comme étant par exemple le point brillant de niveau le plus élevé).

Par rapport aux méthodes existantes [8], la procédure de synthèse tomographique syntactique présente l'avantage :

- d'être fondée sur une approximation des points brillants, plus réaliste que celle de l'optique physique aux longueurs d'ondes usuelles ;
- de ne nécessiter que des opérations logiques.

Cependant, du fait même de l'hypothèse faite, elle ne saurait prétendre remplacer, pour l'analyse électromagnétique des cibles en laboratoire (et non plus pour la classification automatique), les méthodes qui ne nécessitent pas cette hypothèse [9].

III. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Cette procédure de synthèse tomographique syntactique a été expérimentée sur la cible réelle du type avion sans pilote (CT 20), représentée figure 1, dont les dimensions longitudinales et transverses sont de l'ordre de 6 m ; les mesures effectuées sur cette cible ont permis de réaliser en parallèle :

- des images holographiques, obtenues par la méthode décrite en [1] et qui peuvent être qualifiées d'optimales, en ce sens qu'elles contiennent la totalité de l'information apportée par ces mesures ;
- des images obtenues par S.T.A.R.

Ces images ont été réalisées à l'aide des réponses impulsionnelles sur des secteurs de 20° (pour S.T.A.R., on utilisait 20 réponses impulsionnelles sur ce secteur), de largeur de bande égale à 2 GHz, conduisant donc à une résolution distance de 7,5 cm sur cette cible de 6m environ.

SYNTHESE TOMOGRAPHIQUE APPLIQUEE AU RADAR (S.T.A.R)

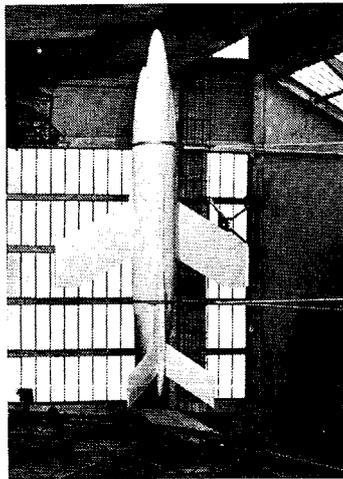


Fig. 1 - Avion sans pilote CT20.

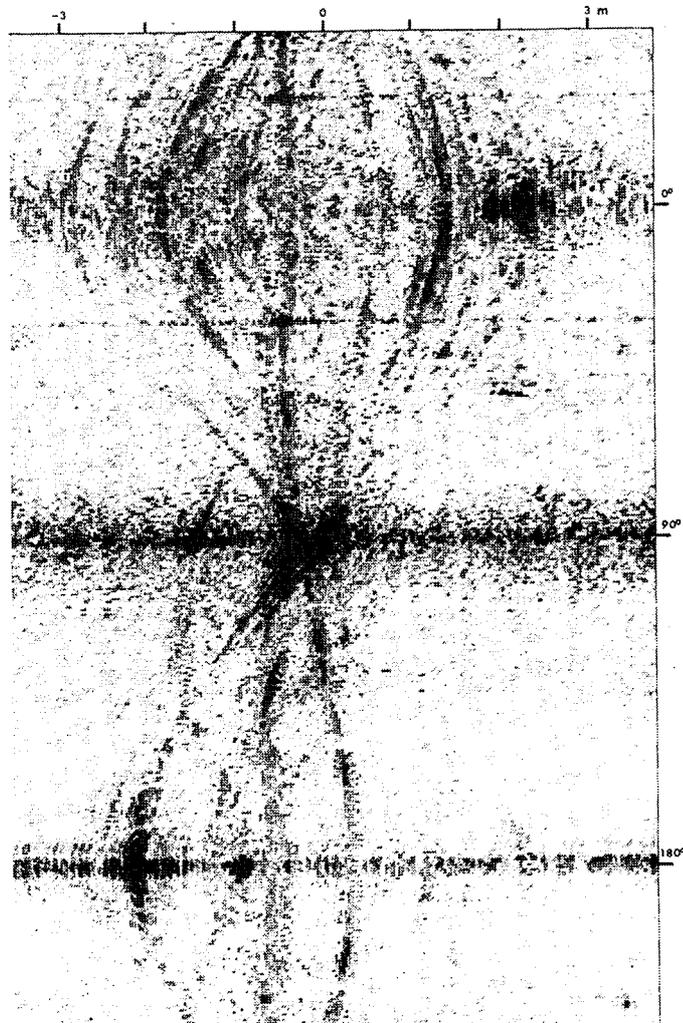


Fig. 2 - Réponses impulsionnelles successives.

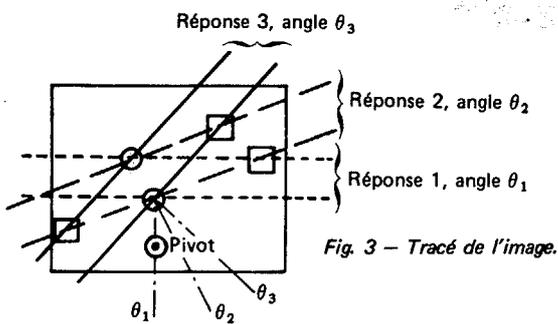


Fig. 3 - Tracé de l'image.

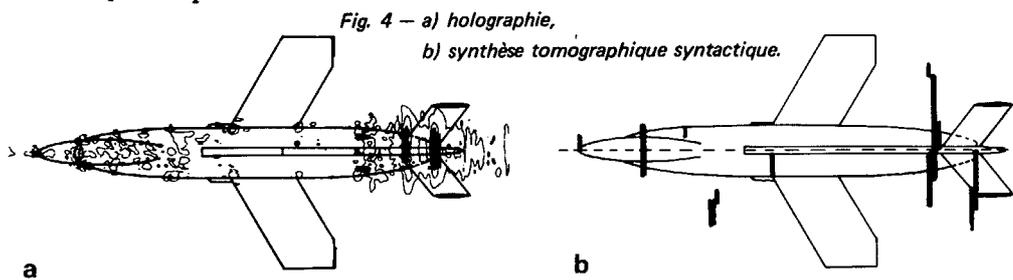


Fig. 4 - a) holographie,
b) synthèse tomographique syntactique.



SYNTHESE TOMOGRAPHIQUE APPLIQUEE AU RADAR (S.T.A.R)

Un couple d'images (holographie et S.T.A.R) typique des résultats obtenus est représenté figures 4 et 5. On observe que :

- 1/ les points brillants principaux sont retrouvés par la procédure S.T.A.R. ;
- 2/ la position du point brillant dans la direction transverse à l'axe de visée moyen est définie moins précisément par S.T.A.R que par holographie, ce qui est bien sûr dû au fait qu'elle n'est obtenue que par l'effet de synthèse tomographique ; cependant, l'incertitude reste dans des limites aisément tolérables, et le barycentre de la tache correspondant à chaque point brillant est en général très voisin de la position réelle de ce point.

Signalons enfin, sans qu'il soit possible de le montrer en détail dans le cadre de cet exposé, que des expérimentations effectuées sur une cible ponctuelle unique ont permis de chiffrer le gain en rapport signal sur bruit (apporté par la sommation des réponses successives) à environ 7 dB pour une image réalisée par synthèse tomographique syntactique de 8 réponses impulsives sur un secteur de 4 degrés.

IV APPLICATION A LA CLASSIFICATION AUTOMATIQUE PAR RADAR

Une application immédiate de cette procédure d'imagerie - en dehors de l'analyse des cibles radar - est la classification automatique par radar.

Pour effectuer une telle classification, il reste à "corrélér" les images obtenues par S.T.A.R avec des images d'apprentissage préalablement enregistrées en mémoire ; une façon simple et rapide de comparer des images de ce type consiste à comparer les positions relatives et les niveaux de chaque point brillant de l'image observée avec leurs homologues de l'image d'apprentissage ; quel que soit le critère de comparaison, il faudra alors isoler sur les images les "taches" correspondant à chaque point brillant (agrégation ou "clustering").

Il est alors remarquable que cette opération a été déjà effectuée par la synthèse tomographique syntactique ; en effet, l'algorithme de décodage syntactique (DESCOA), puisqu'il effectue la poursuite de chaque point brillant d'une réponse impulsive à la suivante, fournit la liste des distances successives de chaque point brillant au radar, et cette information est conservée lors du tracé de l'image (pour éliminer les ambiguïtés notées □ sur la figure 3). Par conséquent, chaque point (pixel) de l'image obtenue est affecté à un point brillant constituant la cible : autrement dit, la synthèse tomographique syntactique réalise en même temps l'agrégation ("clustering") sur l'image, permettant ainsi de comparer les images de façon extrêmement rapide.

V CONCLUSION

On a présenté une procédure d'imagerie de cibles radar possédant les principales propriétés suivantes :

- opération en temps réel ou quasi-réel,
- utilisation d'un radar incohérent à haute résolution distance,
- réalisation simultanée d'un prétraitement nécessaire à une classification automatique ultérieure.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C. POUIT
"Imagerie radar à grande bande passante"
Colloque international sur le radar -
décembre 78 - Paris.
- [2] KELER J.B.
"Geometrical theory of diffraction"
Journal of Opt.Soc.Am. Vol. 52 - feb.62.
- [3] G. GRAF
"On the optimization of the aspect angle
windows for the Doppler analysis of the radar
returns of rotating targets"
I.E.E.E Trans. AP. May 76.
- [4] R.M. MERSEREAU - A.V. OPPENHEIM
"Digital reconstruction of multidimensional
signals from their projections"
Proc.I.E.E.E. Vol. 62 n° 10 - oct. 74.
- [5] F. LE CHEVALIER - G. BOBILLOT
"Extracteur syntactique de signaux évolutifs
et procédé d'extraction"
Demande de brevet n° 7727362 - 9 sept.1977.
- [6] F. LE CHEVALIER - G. BOBILLOT - C. FUGIER-GARREL
"Syntactic signal processing"
I.E.E.E. Symposium on Information Theory
nov. 77 Ithaca N.Y. USA.
- [7] K.S. FU
"Recent advances in syntactic pattern recognition"
4th Int.Joint Conf.on Pattern Recognition
(4 IJCP), nov. 78, Kyoto (Japan).
- [8] Y. DAS - W.M. BOERNER
"On radar target shape estimation using algo-
rithms for reconstruction from projections"
I.E.E. Trans on antennas of propagation
AP 26 n° 2 march 78.
- [9] M.NISHIMURA - K.TAKIYAMA - H. SHIGESAWA
"Reconstructed image in microwave holography
with the tomographic techniques"
1978 Int. Symp. on antenna of propagation,
Aug. 78, Tohoku Univ. Sendai (Japan)

-----0000-----