

Imagerie radar de navires à la mer

La fonction d'imagerie des navires en vue de leur classification est devenue une exigence pour les radars aéroportés de surveillance maritime.

Un principe nouveau d'imagerie a été développé par Thomson-CSF et Dasa (Daimler Benz Aerospace) pour la fonction de classification des cibles marines du radar Ocean Master. Ce principe fournit des images dont la qualité est d'un autre ordre que celle des images obtenues par un traitement d'antenne synthétique inverse (ISAR).

Il repose sur une modélisation théorique très simple des cibles, et l'application d'un filtre adapté au signal reçu. Son implémentation fait appel à un traitement sous-optimal qui réalise le filtre adapté tout en limitant de façon spectaculaire la quantité de calcul nécessaire. Seules les modélisations des cibles et du filtre adapté sont abordées dans cette publication. L'implémentation du traitement fait l'objet d'un brevet et n'est pas décrite.

Imagerie SAR ou ISAR ?

Le principe d'antenne synthétique permet d'obtenir une image d'une cible immobile. Par extension, une cible en mouvement de translation peut également être imagée, après compensation de sa vitesse de déplacement. L'image obtenue est une vue de dessus. En effet, le déplacement de l'avion par rapport à la cible entraîne une variation d'angle de vue de la cible dans le plan horizontal (on suppose que la visée est quasiment horizontale).

Lorsque l'état de mer est tel que les navires ne présentent pas de mouvement de roulis ni de tangage, le seul procédé applicable pour obtenir une image en deux dimensions est le SAR (Synthetic Aperture Radar). L'image obtenue n'est pas aussi facilement interprétable

qu'une silhouette (vue de côté), mais si la résolution est suffisante, la longueur et la largeur du navire peuvent être estimées. La position des principales superstructures est également discernable.

Dès que le navire présente un mouvement de rotation en roulis ou en tangage, le traitement SAR n'est plus adapté au signal rétrodiffusé par les points brillants de la cible. On observe, pour des temps de traitement longs, des traînées de lobes secondaires et des dégradations de la résolution. Ces effets sont dus à la variation de la vitesse relative des points brillants du navire par rapport au radar, suivant une loi qui n'est pas celle attendue par le traitement.

Sur des cibles ayant ce type de comportement, on réalise en général un traitement de type ISAR, qui est une simple analyse spectrale. Celle-ci peut être précédée par une compensation de la vitesse de la cible, si elle est en translation.

Les fréquences Doppler sont séparées par l'analyse spectrale et on fait l'hypothèse qu'à une fréquence Doppler correspond une hauteur du point brillant au-dessus de la surface de la mer.

Le mouvement de rotation d'un navire en roulis et en tangage étant de nature quasiment périodique, les vitesses de rotation sont très variables. En fonction du temps, le résultat de l'analyse spectrale varie dans de grandes proportions. L'image obtenue d'une analyse à la suivante donne une impression de respiration [Figure 1]. Son extension verticale, sur l'axe des Doppler, suit la période des mouvements du navire. Elle passe par un maximum pour lequel l'image semble la plus proche d'une silhouette vue de côté.

Malheureusement, il ne s'agit pas d'une vue de côté. En effet, du fait de l'avancement de l'avion, les effets SAR et ISAR se combinent pour former la

fréquence Doppler. Les images issues de l'analyse spectrales sont des pseudo-perspectives, dont l'aspect varie dans le temps, et dans lesquelles hauteur et azimut se confondent.

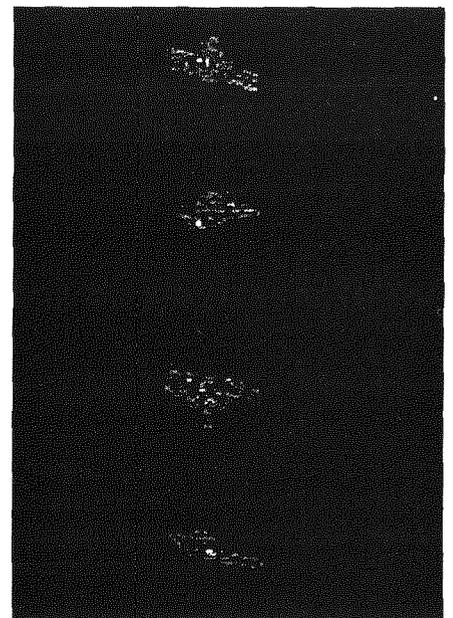


Figure 1. - Séquence d'images obtenues par un procédé de type ISAR. On remarque la variation de l'aspect de la cible en fonction du temps.

Procédé SAR/ISAR

Le procédé proposé par Thomson-CSF et Dasa fournit des images stables des cibles. De plus, il s'agit exactement de vues de côté.

Le comportement particulier des navires permet même, dans certaines configurations d'observation, de produire des images en trois dimensions : distance, gisement, hauteur. Il suffit pour cela de prendre en compte :

- trois paramètres : le temps, la fréquence Doppler et sa dérivée ;
- une série d'hypothèses simples sur la nature des mouvements du navire.

Dans une analyse de type ISAR, la position d'un point brillant sur l'axe des fréquences Doppler dépend de deux jeux de paramètres (au premier ordre) :

- ses coordonnées x et y dans le plan horizontal, qui induisent une fréquence Doppler proportionnelle à la composante en lacet de la vitesse de rotation du navire ω_l :

$$f_{D_l} = \frac{2}{\lambda} \omega_l (x \sin \varphi + y \cos \varphi)$$

(φ est l'angle de vue du navire, c'est-à-dire l'angle entre la ligne de visée du radar et l'axe longitudinal du navire; λ est la longueur d'onde).

- sa hauteur h au-dessus du centre de rotation, qui induit une fréquence Doppler proportionnelle à la projection sur la ligne de visée des composantes en roulis ω_r et tangage ω_t de la vitesse de rotation :

$$f_{D_{rt}} = \frac{2}{\lambda} (\omega_r \sin \varphi + \omega_t \cos \varphi) h$$

La fréquence Doppler d'un point brillant est, pour un éclairage de courte durée :

$$f_D = \frac{2}{\lambda} [(\omega_r \sin \varphi + \omega_t \cos \varphi) + \omega_l (x \sin \varphi + y \cos \varphi)]$$

Il y a *ambiguïté* entre la contribution des termes x et y et celle du terme en h : un point brillant situé au niveau de la mer, dans l'axe du navire, peut avoir la même fréquence Doppler qu'un point situé dans le haut des superstructures, mais sur le côté du navire. Un

traitement par analyse spectrale sur une courte durée (transformée de Fourier) délivre une image projetée dans un plan qui n'est pas maîtrisé. De plus, cette image varie fortement en fonction du temps.

Le principe nouveau met à profit cette variation : la mesure de la hauteur d'un point brillant au-dessus de la surface de la mer est directement proportionnelle à la dérivée de sa fréquence Doppler. Une analyse de la dérivée de la fréquence Doppler des points brillants en fonction de la distance fournit un profil du navire, sans ambiguïté [Figures 2].

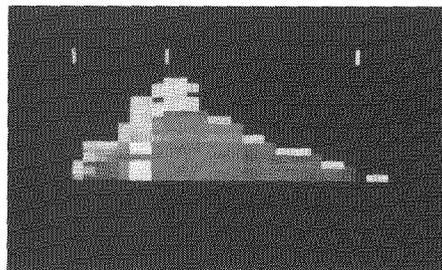


Figure 2. - Image obtenue après application du procédé SAR/ISAR. L'analyse de la dérivée de la fréquence Doppler fournit une image stable qui est une véritable vue de côté.

L'analyse temps-fréquence de signaux radar montre la validité du modèle.

La qualité des images de navires délivrées en vol par le prototype du radar *Ocean Master* [Figure 3] valide le principe retenu.

Le calcul détaillé de la fréquence Doppler de chaque point brillant, ainsi que celui de la dérivée de la fréquence

Doppler, sont disponibles dans la référence [Hardange]. Il est montré que les résolutions obtenues par ce type de procédé sont de classe métrique. Elles permettent reconnaissance automatique d'une cible marine par comparaison entre la silhouette SAR/ISAR et une base de données de silhouettes optiques.

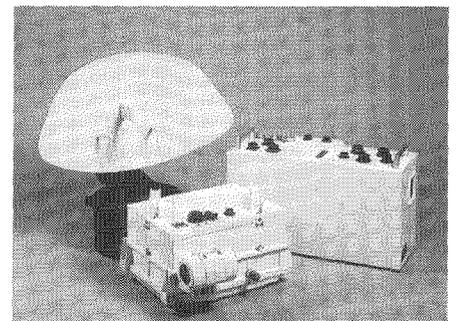


Figure 3. - Radar de surveillance maritime Ocean Master de Thomson-CSF et Dasa.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.Ph. Hardange, P. Lacomme, J.C. Marchais, *Radars aéroportés et spatiaux*, Masson, 1995.

L'AUTEUR

Jean-Philippe HARDANGE, est né à Paris en 1958. Il est diplômé de l'École Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace (Sup'Aéro, 1981). Il est ingénieur à Thomson-CSF Radars et Contre-mesures depuis 1982. Il est actuellement responsable de l'ingénierie des radars aéroportés et spatiaux.

Le mouvement dans l'imagerie ISAR d'avions et de satellites

Le mouvement relatif entre le radar et l'objet observé est au cœur de l'imagerie radar à ouverture synthétique inverse¹. A la fois principe fondateur, puisqu'il permet d'obtenir la diversité angulaire d'éclairage qui est à la base de la formation des images ISAR, il s'avère également facteur de défocalisation de ces dernières à cause de la composante de translation relative dont les effets doivent être « compensés » dans le traitement des données. On reprend les étapes de formation des images et de « compensation de mouvement », renvoyant aux techniques désormais classiques et à un algorithme rapide de focalisation.

Mais au delà de ce mouvement global, c'est toute la dépendance temporelle de l'observation qui doit être prise en compte. L'imagerie cinématique ISAR est introduite pour étendre l'imagerie classique à l'analyse de ces instationarités, notamment la scintillation due à la directivité et à la dispersivité des réflecteurs élémentaires, ou "points brillants", qui composent l'avion ou le satellite étudié.

Mouvement et formation des images

Dans les observations radar en situation réelle, le centre de masse de la cible bouge par rapport au radar et les propriétés de rétrodiffusion de l'objet observé changent continûment dans le temps, entraînant des variations dans les signaux échos. L'imagerie ISAR [111] utilise cette dynamique pour construire des cartes de réflectivité d'un objet : les réflecteurs élémentaires sont localisés en traitant les données reçues par un radar cohérent monostatique qui observe l'objet en mouvement. Il y a plusieurs façons de présenter ce

traitement, comme le point de vue antenne synthétique [10] ou le formalisme Doppler [14]. Ici, nous avons choisi de nous fonder uniquement sur des considérations géométriques simples.

Le mouvement de la cible par rapport au radar se décompose principalement en deux :

- le mouvement le long de la trajectoire
- le mouvement autour du centre de masse

Le mouvement le long de la trajectoire peut lui-même être séparé en deux composantes :

- un mouvement radial de translation relativement au radar
- un mouvement de rotation par rapport à la ligne de visée du radar

Ainsi, l'aspect angulaire de l'objet résulte du mouvement angulaire par rapport à la ligne de visée et du mouvement autour du centre de masse.

La situation se simplifie quelque peu lorsque l'objet observé est un avion ou un satellite, pour lesquels on suppose un trajet rectiligne uniforme² - vitesse constante V_0 - pendant un temps³ ΔT . Classiquement, on néglige le mouvement autour du centre de masse pendant ce même temps. La géométrie de l'observation est décrite figure 1. Un plan de mesure est alors défini par la trajectoire et le radar. L'image finalisera les réflecteurs en projection sur ce plan. Pour une observation lointaine, on trouve que la rotation apparente de l'objet est uniforme et s'effectue à la vitesse angulaire $\Omega = V_0 \cos \theta_0 / R_0$, avec les notations de la figure 1. Une ac-

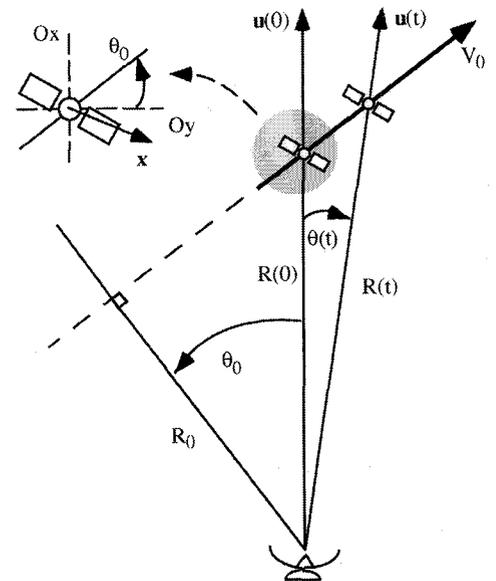


Figure 1. - Géométrie de l'observation d'un satellite ou d'un avion.

quisition périodique dans le temps ΔT correspond donc à un échantillonnage régulier de l'aspect angulaire de l'objet sur un domaine angulaire $\Delta \theta = \Omega \Delta T$, le centre de masse de l'objet étant à la distance $R(T)$ du radar au temps T (au second ordre, $R(T) \approx R(0) - V_0 \sin \theta_0 T + V_0^2 \cos^2 \theta_0 T^2 / 2R(0)$).

Le parallèle peut être fait avec la situation rencontrée en chambre anéchoïque où l'objet, placé sur une colonne, est observé sur un domaine fréquence/angle d'éclairage; sous l'approximation des petits angles, une image $I(x, y)$ peut être calculée par une double transformation de Fourier de la fonction de rétrodiffusion $H(f, \theta)$ mesurée sur ce domaine [10, 14, 3]. Pour l'essentiel, on a deux couples séparés de variables duales : d'un côté la distance radiale x et la fréquence f , de l'autre la distance transverse y et l'aspect angulaire θ ; la résolution en distance radiale δ_x est obtenue par une analyse sur la bande de fréquences Δf autour de la fréquence

2. Notons que cette hypothèse reste valide pour toute trajectoire pouvant être décomposée en segments à court terme.

3. Echelle de temps d'observation de l'ordre de la seconde.

1. ISAR : Inverse Synthetic Aperture Radar.

centrale f_0 , $\delta_x = c/2\Delta f$ avec c vitesse de la lumière, tandis que celle en distance transverse, δ_y , dépend de l'excursion angulaire $\Delta\theta$, $\delta_y = c/2f_0\Delta\theta$.

En imagerie ISAR, la mesure du coefficient de rétrodiffusion de l'objet sur le domaine angulaire $\Delta\theta$ et pour la bande de fréquences Δf s'effectue en émettant des impulsions (large bande) périodiquement dans le temps [5].

Néanmoins, le mouvement de translation du centre de masse a ses propres effets sur les signaux :

- un effet Doppler, car l'objet possède une vitesse radiale par rapport au radar⁴. Il dégrade la précision des images, et, pour le corriger, on peut se satisfaire, par exemple, d'une estimation de la vitesse donnée par un radar de trajectographie.
- un déplacement du centre de phase d'impulsion en impulsion : la référence des distances radiales est fixée par le radar dans son repère⁵ et ce « centre de phase » n'est pas placé au centre de masse de l'objet ou, à défaut, à distance fixe de ce dernier pour toutes les impulsions. Cet effet doit être compensé sous peine d'obtenir des images floues dans les deux dimensions : c'est le but des méthodes dites de « compensation de mouvement » qui forment l'étape critique de l'imagerie ISAR.

Mouvement et focalisation des images : « compensation de mouvement »

A priori, la focalisation des images peut être obtenue à partir d'une connaissance très précise des paramètres de

4. Cet effet ne doit pas être confondu avec le gradient de phase qui dérive de l'excursion angulaire utilisée dans la formation transverse de l'image, gradient auquel on donne aussi le nom de Doppler comme dans l'expression « imagerie distance-Doppler » [14].

5. Cette référence peut être fixe ou provenir d'une consigne donnée par le radar de trajectographie couplé au radar imageur.

trajectographie, en utilisant, par exemple, un modèle polynômial de la distance relative $R(T)$ [2]. Mais, la plupart du temps, ces paramètres sont inconnus ou leur estimation est entachée d'une erreur, et l'on doit alors utiliser des méthodes d'autofocalisation qui reposent uniquement sur les données du radar imageur.

On appelle « profil distance », et l'on note $J(x, T)$, la transformée de Fourier des données $H(f, T)$ pour chaque impulsion, soit à T fixe. Le module du profil distance est la distribution des réflecteurs élémentaires en distance radiale à T , c'est-à-dire pour un aspect angulaire $\theta(T)$. Le déplacement du centre de phase provoque une translation et un déphasage entre chaque profil. Si la translation excède la résolution δx en position radiale, autrement nommée longueur de la case distance, l'image $I(x, y)$ reconstruite directement sur les données, sans compensation, sera floue. De la même façon, le déphasage empêchera la formation de l'image dans sa direction transverse y . La compensation de mouvement est donc obligatoire pour obtenir des images bien focalisées. Si la compensation en distance radiale peut théoriquement se faire à l'ordre de la case distance, la compensation en phase est plus délicate puisqu'elle doit être effectuée à l'ordre de la longueur d'onde $\lambda_0 = c/f_0$.

La compensation s'effectue généralement en deux temps.

Tout d'abord, on travaille sur les modules des profils distance : on enlève la translation en alignant les profils distance en amplitude. L'argument principal est que deux profils adjacents sont fortement similaires, et leur maximum de corrélation est donc obtenu pour ce décalage [9]. On aligne alors chaque profil avec une référence, de façon qu'un « réflecteur » soit aligné dans la même case distance pour tous les profils.

La compensation du déphasage est effectuée dans un second temps. En général, la précision du décalage trouvé à la première étape est insuffisante pour

être utilisée ici. On trouve alors de nombreuses manières de procéder :

- On peut suivre l'évolution de la phase des réflecteurs les plus importants, i.e. la phase des cases distance qui présentent un maximum d'énergie et une variance minimale :
 - en prenant une seule case : "Dominant Scattering Algorithm" DSA [9, 1, 7, 17, 16];
 - ou plusieurs : "Multiple Scattering Algorithm" MSA [1, 7, 17, 16].
 Les effets de directivité, de scintillation ou de multiplication des réflecteurs dans les cases distance choisies, limitent la durée sur laquelle on peut effectuer une bonne compensation et donc diminuent d'autant la résolution transverse de l'image.
- Pour limiter ces derniers, on peut effectuer une moyenne sur l'ensemble des cases distances :
 - "Tracking the Target Centroid" TCA [11, 17];
 - "Spatial Correlation Algorithm" SCA [12].
- On peut aussi conduire une analyse de sous-images (méthode de « sous-ouvertures » synthétiques) : une estimation est conduite sur la statistique d'une succession d'images cons traitées sur un ensemble de petits secteurs, et la focalisation s'effectue progressivement par itération entre l'étape de compensation et celle d'estimation :
 - par des techniques à base de maximum de vraisemblance : "Maximum Likelihood" ML [17];
 - ou de maximisation du contraste de l'image [15];
 - ou d'estimation du gradient de phase : "Phase Gradient Algorithm" PGA [6, 4].

La compensation de phase peut demander de lourds traitements informatiques et des techniques compliquées de déroulement de phase.

On gagne en rapidité d'exécution et en facilité d'implantation, si l'on effectue la compensation simultanément en distance et en phase par corrélation entre les profils distance complexes [13, 8].

La valeur de décalage entre profils adjacents est estimée par la position du maximum du pic de corrélation et la valeur du déphasage est directement la phase de ce maximum. En pratique, la corrélation s'effectue dans l'espace dual des fréquences par multiplication des données brutes suivie d'une transformation de Fourier inverse (algorithme rapide FFT), et cela de manière réursive en T - d'impulsion en impulsion -, en alternant les étapes d'estimation et de compensation effective des données.

Cette méthode a été appliquée pour former les images qui illustrent cet article : figure 2, images de deux satellites issues du traitement de données du radar TIRA, FGAN; figure 3 (haut), image d'un avion commercial à partir de données du radar du Valley Forge Center.

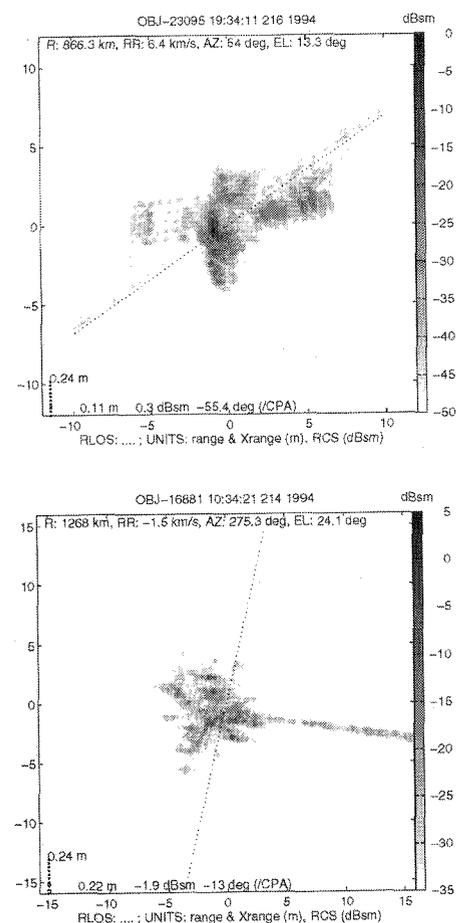


Figure 2. - Images ISAR de satellite.

Mouvement et plus

L'imagerie ISAR classique renvoie à un modèle de points brillants « blancs » et isotropes pendant le temps d'analyse ΔT , c'est-à-dire réfléchissant à toutes les fréquences émises et pour tous les aspects angulaires considérés. Du fait du mouvement, les effets de dispersivité (ou « couleur ») et de directivité des points deviennent des paramètres qui dépendent du temps, ou *scintillation*. Le modèle classique doit être étendu à une distribution de réflecteurs $I(x, y, T, f)$ ou *image cinématique ISAR* [13], composée de points brillants actifs au temps T ou selon l'aspect angulaire $\theta(T)$, colorés c'est-à-dire qui réfléchissent à la fréquence f , et localisés en (x, y) . Cette démarche s'apparente à celle qui, dans le cadre des mesures effectuées en chambre anéchoïque, étend l'imagerie de type holographique à l'imagerie directivité-fréquence [3].

Par soucis de simplification et dans le cadre des approximations de faible bande relative et de vitesse angulaire apparente faible, on montre que l'image cinématique est obtenue par une double représentation de type temps-fréquence des données $H(f, T)$ après compensation de mouvement [13] : cela revient à exploiter les deux couples de variables duales $[f, x]$ et $[T, y]$. On opère, par exemple, par décomposition en ondelettes [3].

On donne figure 3 (bas) l'image cinématique ISAR obtenue sur le même temps d'analyse que l'image classique, figure 3 (haut). L'excursion en temps T est donnée par la numérotation, celle en fréquence f par la couleur : on a divisé la bande des fréquences en trois et on a attribué à chaque sous-bande une couleur élémentaire, rouge / verte / bleue, des basses aux hautes fréquences; dans les images composites RGB, l'intensité d'une couleur est proportionnelle à l'intensité de la réflexion d'un réflecteur élémentaire dans une (ou plusieurs) sous-bande(s), et un point brillant qui répond dans les trois sous-bandes apparaît donc blanc. Les effets

de scintillation apparaissent clairement⁶ et enrichissent la connaissance de l'objet observé tout en montrant les limites du modèle classique.

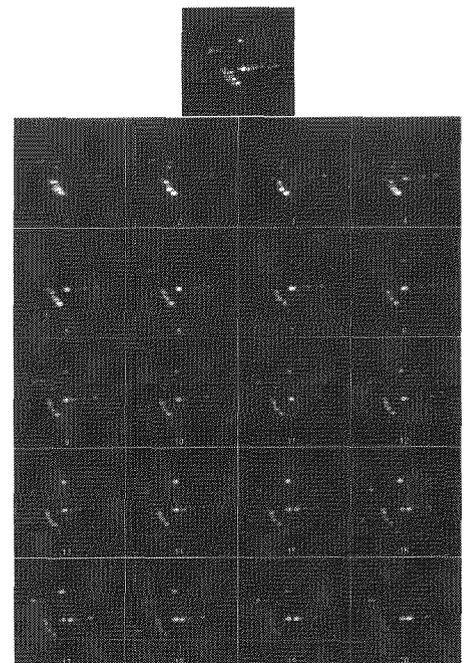


Figure 3. - Image ISAR classique (haut) et cinématique (bas) d'un avion.

N.B. Pour des raisons techniques, la figure 3 n'a pu être reproduite en couleur, ce qui occulte l'information de fréquence. L'animation (Quick Time[®]) est disponible par email auprès de l'auteur ou sur le serveur Web de l'ONERA.

Mais l'imagerie cinématique ne se limite pas à la seule prise en compte de la scintillation : elle permet de mettre en évidence, à une échelle de temps inférieure à celle que nécessite la formation d'une image classique, toute instationnarité provenant d'une déformation de l'objet, d'un mouvement autour de son centre de masse, d'une rotation apparente non uniforme, d'une mauvaise compensation de mouvement, et de toute combinaison de ces facteurs. Générateur et destructeur à la fois, le mouvement constitue le lien des signaux radar aux images ISAR. Mais il n'est qu'une conséquence d'un facteur plus général : le temps, car à toutes les

6. Ces effets sont nettement renforcés par une visualisation sur écran sous forme d'un film.

échelles, se joue la concurrence entre le temps d'évolution d'une scène et celui nécessaire à l'observation.

Remerciement

L'auteur souhaite remercier l'équipe du Dr. Mehrholz -FGAN, Wachtberg Werthhoven-, et celle du Pr. Steinberg -Valley Forge Center, PENN University, Philadelphie- pour les données radar, ainsi que la Direction des Missiles et de L'Espace pour le financement de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

[1] E. H. Attia. Self-cohering airborne distributed arrays on land clutter using the robust minimum variance algorithm. *IEEE AP-S and URSI International Symposium Digest*, 2 :602-606, Juin 1986.

[2] F. Berizzi, F. Bucarelli, et E. Dalle Mese. Initialization of autofocusing algorithms by using the Wigner-Ville distribution. In *SAR'93 Radar Imaging, Synthetic Aperture Radar*, pages 68-71. SEE-IEEE Colloq., Avril 1993.

[3] J. Bertrand, P. Bertrand, et J. P. Ovarlez. Frequency-directivity scanning in laboratory radar imaging. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 5 :39-51, 1994.

[4] T. M. Calloway, C. V. Jakowitz, P. A. Thompson, et P. H. Eichel. Comparison of synthetic aperture radar autofocus techniques : Phase gradient versus subaperture. In *SPIE Digest*, Juillet 1991.

[5] C. C. Chen et H. C. Andrews. Target motion induced radar imaging. *IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems*, 16(1) :2-14, 1980.

[6] P. H. Eichel et C. V. Jakowitz. Phase-gradient algorithm as an optimal estimator of the phase derivative. *Optical letters*, 14 :1101-1103, 1989.

[7] B. Kang, H. M. Subbaram, et B. D. Steinberg. Improved adaptive-beamforming target for self-calibrating a distorted phased array. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 32 :186-194, 1990.

[8] A. Lamoulie et L. Vignaud. Imagerie ISAR de satellites. In *GRETSI*, Juan-les-Pins, France, Septembre 1995.

[9] H. J. Li, S. H. Yang, S. L. Yen, et N. H. Fahrat. Microwave imaging of moving objects. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 2 :219-230, 1990.

[10] D. L. Mensa, G. Heidbreder, et G. Wade. Aperture synthesis by object rotation in coherent imaging. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 27(2) :989-998, 1980.

[11] M. J. Prickett et C. C. Chen. Principles of inverse synthetic aperture radar ISAR imaging. Record, EASCON, 1980.

[12] B. D. Steinberg, L. Vignaud, et A. Freedman. ISAR imaging using spatial correlation. Progress Report 69, Valley Forge Research Center, Philadelphie, Décembre 1994.

[13] L. Vignaud. *Imagerie Micro-ondes des Scènes Stationnaires*. Thèse de doctorat, Université Paris 6, Avril 1996.

[14] J. L. Walker. Range-Doppler imaging of rotating objects. *IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems*, 16 :23-52, 1980.

[15] J. W. Wood. The removal of azimuthal distortion in SAR images. *International Journal of Remote Sensing*, 9 :1097-1107, 1988.

[16] R. Xu, Z. Cao, et Y. Liu. Method of precise motion compensation for ISAR. In *Advanced Algorithms and Architectures for Signal Processing IV*, volume 1152, pages 288-295. SPIE, 1989.

[17] Z. Zhu et X. Wu. Performance evaluation of motion compensation methods in ISAR by computer simulation. *IEEE National Aerospace and Electronics*, pages 120-124, 1990.

L'AUTEUR

Luc VIGNAUD, né en 1968, ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, thèse de doctorat de l'Université Paris VI, avril 1996, ingénieur de recherches dans la division radar de l'ONERA.

Analyse d'images : Filtrage et segmentation, ouvrage coordonné par Jean-Pierre COCQUEREZ & Sylvie PHILIPP, Collection Enseignement de la physique, Edition Masson, 1995, broché, 457 pages, ISBN 2-225-84923-4.

1. Image et segmentation
2. Attributs de région
3. Structures de données et algorithmes associés
4. Prétraitements
5. Approche frontière : Méthodes dérivatives, surfaciques, morphologiques
6. Fermeture de contours, contours virtuels

7. Approche frontière : Méthodes markoviennes
8. Approche frontière : Méthodes variationnelles
9. Comparaisons des extracteurs de contour
10. Méthodes de classification
11. Approche région : Méthodes markoviennes
12. Approche région : Méthodes structurales
13. Comparaison des résultats : Approche région

Physique et structures fractales, par Jean-François GOUYET, Edition

Notes bibliographiques

Masson, 2e édition corrigée 1994, broché, 234 pages, ISBN 2-225-82777-X. Prix indicatif : 198 F

1. Géométries fractales
2. Structures fractales naturelles : du macroscopique ...
3. Structures fractales naturelles : ... au microscopique
4. Les modèles de croissance
5. Aspects dynamiques

Version anglaise :

Physics and Fractal Structures, par Jean-François GOUYET, Edition Masson, 1996, relié, 234 pages, ISBN 2-225-85130-1.

1. Fractal geometries
2. Natural fractal structures : From the macroscopic ...
3. Natural fractal structures : ... to the microscopic
4. Growth models
5. Dynamical aspects

Systèmes de régulation, ouvrage coordonné par A. RACHID, collection Automatique (3e Cycle et recherche), Edition Masson, 1996, broché, 411 pages, ISBN 2-225-85129-8. Prix indicatif : 290 F

Théorie des vibrations. Application à la dynamique des structures, par M. GERARDIN & D. RIXEN, collection Recherche en mécanique, Edition Masson, 2e édition augmentée, 1996, broché, 419 pages, ISBN 2-225-85173-5. Prix indicatif : 290 F

Traitement numérique du signal. Théorie et pratique, par Maurice BELLANGER, Edition Masson, 5e édition révisée 1994, broché, 477 pages, ISBN 2-225-84997-8. Prix indicatif : 335 F

Physique de la couleur. De l'apparence colorée à la technique colorimétrique, par Robert SEVE, Collection Physique fondamentale et appliquée, Edition Masson, 1996, broché, 334 pages, ISBN 2-225-85119-0. Prix indicatif : 290 F

La mesure et l'instrumentation. Etat de l'art et perspectives, ouvrage coordonné par Gérard PRIEUR & Mustapha NADI, sous la direction de Long-Den NGUYEN & Gérard TSALKOVITCH, Edition Masson, 1995, relié, 726 pages, ISBN 2-225-84991-9. Prix indicatif : 600 F

Mise en œuvre et applications du microcontrôleur 8051, par Philippe KAUFFMANN, Collection Technologies de l'université à l'industrie, Edition Masson, 1996, broché, 271 pages, ISBN 2-225-85132-8. Prix indicatif : 195 F

Communications numériques. Introduction, par Alain GLAVIEUX et Michel JOINDOT, Collection Pédagogique de Télécommunication, Edition

Masson, 1996, broché, 321 pages, ISBN 2-225-85194-8.

1. Introduction
2. Transmission en bande de base sur canal idéal
3. Transmission en bande de base sur canal à bande limitée
4. Transmission sur onde porteuse sur canal idéal
5. Transmission sur onde porteuse sur canal à bande limitée
6. Introduction à l'égalisation
7. Introduction à la synchronisation
8. Codage correcteur d'erreurs
9. Corrigés des exercices

Les profondeurs de la Terre, par Jean-Paul POIRIER, Collection Cahiers des sciences de l'univers-1, Edition Masson, 2ème édition revue et corrigée, 1996, broché, 140 pages, ISBN 2-225-85223-5.

Éléments de mathématiques du signal. Tome 1 - Signaux déterministes, par Hervé REINHARD, Edition Dunod, 1995, broché, 222 pages, ISBN 2-10-002614-3.

1. Signaux, limites et énergie
2. Orthogonalité, projections et bases dans L2 (I)
3. Séries de Fourier
4. Convolution, filtrage analogique
5. Transformée de Fourier. Représentation spectrale
6. Transformée de Laplace
7. Introduction à la théorie des distributions
8. Dérivation, convergence, convolution dans D
9. Transformées de Fourier et de Laplace de distributions. Transformées en Z des signaux numériques
10. Spectre, énergie, puissance, filtrage, récapitulation

Éléments de mathématiques du signal. Tome 2 - Signaux aléatoires, par Hervé REINHARD, Edition Dunod, 1995, broché, 218 pages, ISBN 2-10-002905-3.

11. Espace de probabilités
12. Variables aléatoires

13. Espace L2 (P), covariance, corrélation, régression
14. Variables aléatoires gaussiennes
15. Processus stationnaires du second ordre. Signaux aléatoires
16. Chaînes de Markov, processus de poisson, mouvement brownien

Analyse de Fourier et applications. Exercices corrigés, par Robert DALMASSO & Patrick WITOMSKI, Collection Enseignement des Mathématiques, Edition Masson, 1996, broché, 233 pages, ISBN 2-225-85299-5.

Méthodes et techniques de traitement du signal et applications aux mesures physiques. 1. Principes généraux et méthodes classiques, 5ème édition revue et augmentée, par Jacques MAX & Jean-Louis LACOUME, Collection Enseignement de l'Electronique, Edition Masson, 1996, broché, 355 pages, ISBN 2-225-85309-6.

1. Propriétés générales des signaux
2. Conditionnement des signaux
3. Mesure des fonctions de corrélation et des densités spectrales
4. Application des fonctions de corrélation et des densités spectrales

Logique arithmétique et techniques synchrones. Arithmétique binaire et décimale. Conception synchrone des ASICs et des FPGAs, par Michel AUMIAUX, Collection Enseignement de l'Electronique, Edition Masson, 1996, broché, 196 pages, ISBN 2-225-85227-8.

Structure et applications des émetteurs et des récepteurs, par Robert DUBOIS, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1996, broché, 339 pages, ISBN 2-88074-299-4.

1. Les amplificateurs haute fréquence
2. Les oscillateurs
3. Les mélangeurs
4. La structure des émetteurs
5. Les antennes
6. La propagation des ondes
7. Le bruit dans les systèmes de communication

- 8. La structure des récepteurs
- 9. La réception en modulation d'amplitude
- 10. La réception en modulation de fréquence
- 11. La télévision
- 12. Le radar
- 13. La communication par faisceaux hertziens

- 14. La communication par satellites
- 15. Les aides électroniques à la navigation
- 16. La téléphonie cellulaire

Les multiprocesseurs, par Daniel TABAK, Collection Micro-électronique et informatique, Edition Masson, 1996,

broché, 197 pages, ISBN 2-225-83916-6.

La programmation réactive. Application aux systèmes communicants, par Frédéric BOUSSINOT, Collection technique et scientifique des télécommunications, Edition Masson, 1996, broché, 270 pages, ISBN 2-225-85167-0.

sommaire des prochains numéros

Volume 13 numéro 6. Numéro spécial RFIA 96

R. HORAUD
Editorial

R. DERICHE, O. FAUGERAS
Les équations aux dérivées partielles en traitement des images et vision par ordinateur

G. MOZELLE, F. PRÊTEUX
Modélisation hiérarchique explicite. Application à la description de primitives d'images

E. BOYER Reconstruction et régularisation de la surface d'objets courbes

C. SCHMID, R. MOHR
Mise en correspondance par invariants locaux

C. DELHERM, J.M. LAVEST, M. DHOME, N. DAUCHER
Vers une reconnaissance dense par zoom

J.O. LACHAUD, A. MONTANVERT
Segmentation tridimensionnelle hiérarchique par triangulation de surface

J.P. REISSMAN, P. CLARYSSE, I. MAGNIN
Modélisation et mise en correspondance avec la pyramide neuractive

F. TUPIN, C. GOUINAUD, H. MAÎTRE, J.P. CRETTEZ, J.M. NICOLAS
Détection de structures linéaires sur des images Radar à ouverture synthétique

G. SUBSOL, J.P. THIRION, N. AYACHE
Une méthode générale pour construire automatiquement des atlas anatomiques morphologiques à partir d'images médicales tridimensionnelles. Application à un atlas du crâne

F. LERASLE, G. RIVES, M. DHOME, A. YASSINE
Suivi du corps humain par vision monoculaire

Volume 14 numéro 1

S. DJEZIRI, E. PETIT, J. LEMOINE
Une méthode adaptative pour le lissage de courbes. Application à la détection de contours

L. TORRES, E. BOURENNANE, M. ROBERT, M. PAINDAVOINE
Implantation de détecteur de contours Canny-Deriche optimisé sous forme d'un circuit spécifique

A. CHEHIKIAN
Filtres récursifs pour l'estimation de gradient et la détection de contours par interpolation spline

J.C. BOYER, G. SALUT
Filtrage particulière du signal RADAR brut sur cible ponctuelle

B. LACAZE
Le calcul des spectres de puissance des processus à caractère cyclostationnaires

R. LE BOUQUIN-JEANNÈS, G. FAUCON,
Étude théorique et expérimentale de réducteurs de bruit. Application au débruitage de la parole

LOUIS-JEAN
avenue d'Embrun, 05003 GAP cedex
Tél. : 04.92.53.17.00
Dépôt légal : 157 — Février 1997
Imprimé en France