

## Détection en polarimétrie adaptative

Y. WANG, J. SAILLARD

Laboratoire S2HF - IRESTE  
La Chantrerie - CP 3003, 44087 Nantes Cedex 03

### RÉSUMÉ

Nous proposons un système adaptatif en polarisation permettant d'atténuer fortement la contribution due à un environnement stationnaire, grâce à une phase de traitement de la scène observée, par une adaptation de la polarisation de l'antenne de réception à l'aide du critère du minimum de puissance. En connaissant la signature polarimétrique de l'environnement, nous pouvons détecter la présence d'une cible et estimer ses paramètres polarimétriques en appliquant un algorithme du type des moindres carrés. Des simulations sont proposées pour évaluer la robustesse de l'algorithme vis à vis de l'étendue de la variation du clutter.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an adaptive polarimetric system, which allows for the minimization of the contribution of a stationary clutter by adapting the polarization state of the receiving antenna to the polarimetric signature of the environment by using the minimum power criterion. From the knowledge of the polarimetric signature of the environment and by applying the least square criterion, we can detect the presence of targets and estimate their polarimetric parameters.

## 1 Introduction

La polarimétrie est un concept dont l'exploitation est récente. Son application est motivée par la nécessité permanente d'accroître les performances des systèmes opérationnels évoluant dans un environnement de plus en plus hostile (fouillis, leurrage, brouillage ...). Son application dans des nombreux domaines tels que la détection, la classification, la détermination et l'identification de cible dans des systèmes radars est d'un grand intérêt. Il a été montré, par la théorie et la pratique, que l'introduction de la polarimétrie dans un système radar apporte une amélioration sensible par rapport au système radar classique [2].

La théorie de traitement d'antenne adaptative a été largement utilisée dans des domaines très variés notamment système sonar passif et actif, traitement de la parole et la communication. Mais jusqu'à présent, peu d'applications ont été proposées dans le domaine de la polarimétrie adaptative.

Dans [1], une méthode d'application de traitement d'antenne adaptative en polarimétrie est proposée. Il s'agit d'établir deux espaces : l'espace émetteur engendré par tous les états de polarisation possibles de l'onde émise et l'espace récepteur constitué par la réponse polarimétrique de l'antenne récepteur à tous les ondes mises. Ainsi pour une onde émise, on sait à priori la forme d'onde que l'on va recevoir par la recherche dans l'espace récepteur, ceci nous fournit une référence du signal désiré. On peut donc appliquer un algorithme adaptatif du type moindre carré pour maximiser le signal désiré ou bien pour minimiser la contribution des différents signaux d'interférence dans le signal

reçu. Outre la difficulté d'établir le lien unique entre l'espace émetteur et l'espace récepteur, cette méthode nécessite la connaissance à priori des caractéristiques polarimétriques de la cible.

Dans cet article, nous proposons un système polarimétrique adaptatif qui permet d'atténuer fortement les contributions du clutter afin de faire émerger la cible de son environnement et de pouvoir déterminer ses paramètres polarimétriques la caractérisant. Les méthodes classiques de traitement d'antenne reposent sur la connaissance d'une référence soit du signal utile soit du bruit, et utilisent la corrélation entre le signal à traiter et la référence, pour minimiser la contribution due au bruit dans le signal reçu ou pour extraire au mieux la contribution du signal désiré noyé dans le signal reçu.

Nous supposons un clutter d'environnement stationnaire lentement variable. La méthode consiste à effectuer une préacquisition des caractéristiques de l'environnement pendant la phase dite d'observation où la cible est supposée absente. Pendant cette période, on applique un algorithme adaptatif minimisant la sortie des deux voies H et V, ce qui permet de rejeter une partie importante des contributions du clutter. Lorsque la cible est présente, une variation brusque de la sortie sera observée, ce qui nous permettra de détecter la présence d'une cible. Quand la cible est détectée, le processus d'adaptation est arrêté, puis nous établissons un algorithme pour estimer les grandeurs caractéristiques de la cible. En connaissant l'onde émise, il est possible d'accéder à la matrice de rétrodiffusion.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons la modé-



lisation du problème et l'algorithme adaptatif développé. Des simulations nous permettent d'évaluer la robustesse de l'algorithme notamment celle liée à l'étendue du clutter sur la carte polarimétrique.

## 2 Modélisation du problème

Nous supposons un capteur à bipolarisation idéal (découplage entre voies total) à deux accès, l'un pour l'onde horizontale, l'autre pour l'onde verticale. Le vecteur de Jones exprime les signaux reçus sur les deux voies orthogonales.

Pour la cible :

$$\underline{S}(t) = \begin{bmatrix} s_h(t) \\ s_v(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_h e^{j(\omega t + \alpha_h)} \\ a_v e^{j(\omega t + \alpha_v)} \end{bmatrix}$$

Pour le clutter :

$$\underline{C}(t) = \begin{bmatrix} c_h(t) \\ c_v(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_h e^{j(\omega t + \beta_h)} \\ b_v e^{j(\omega t + \beta_v)} \end{bmatrix}$$

avec

$$b_h = b_{h0} + \Delta b_h$$

$$b_v = b_{v0} + \Delta b_v$$

$$\beta_h = \beta_{h0} + \Delta \beta_h$$

$$\beta_v = \beta_{v0} + \Delta \beta_v$$

Les variables  $b_{h0}$ ,  $b_{v0}$ ,  $\beta_{h0}$ ,  $\beta_{v0}$  sont les moyennes de  $b_h$ ,  $b_v$ ,  $\beta_h$ ,  $\beta_v$  et  $\Delta b_h$ ,  $\Delta b_v$ ,  $\Delta \beta_h$ ,  $\Delta \beta_v$  représentent les variations du clutter supposé stationnaire, gaussien et centré.

L'objectif est de développer un algorithme qui permet de minimiser les contributions du clutter et d'estimer les paramètres polarimétriques de la cible.

Ne possédant aucune référence ni du bruit ni du signal, nous devons opérer en deux phases. La première phase consiste à adapter la polarisation de l'antenne de réception telle que la sortie présente sur chaque accès du capteur soit minimale au sens des moindres carrés. Ce traitement, effectué en absence de cible, correspond à une adaptation de l'environnement par l'antenne de réception. La seconde phase consiste à estimer les paramètres polarimétriques de la cible. Nous présentons dans les paragraphes suivants les deux phases évoquées.

## 3 Absence de cible

Le problème essentiel dans le traitement d'antenne adaptative est de trouver une référence du signal ou du bruit qui nous permet d'extraire au maximum les contributions du signal ou de soustraire celles du bruit dans le signal reçu. Pour ce faire nous proposons de créer une référence du signal en utilisant la fréquence d'émission qui est fortement corrélée avec le signal bruité, dans le cas d'une observation à base de fonctions sinusoidales.

Le schéma de principe est donné dans la Figure 1. Il

s'agit d'ajuster les deux paramètres complexes  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  tels que la sortie de la voie H et celle de la voie V aient une puissance minimale.

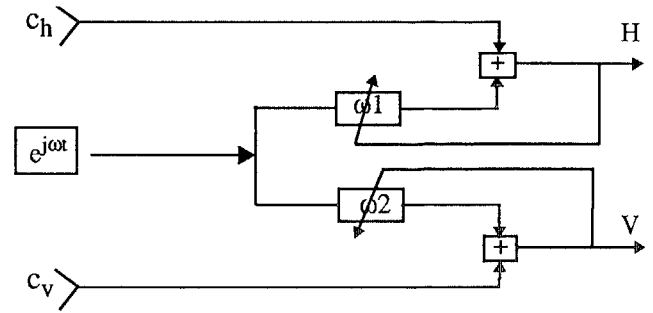


Figure 1

Considérons le cas général présenté par la Figure 2.

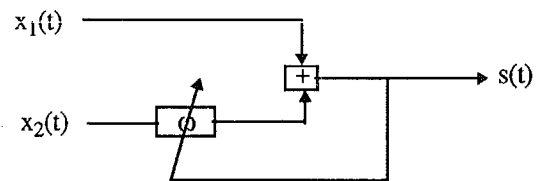


Figure 2

La sortie de l'antenne à l'instant n s'exprime par :

$$s(n) = x_1(n) + \omega(n) x_2(n)$$

Nous ajustons le paramètre  $\omega(n)$  tel que  $P_\omega = E[s(t)s^*(t)]$  soit minimale.

Le gradient de  $P_\omega$  est donné par

$$\frac{\partial P}{\partial \omega} = 2E[sx_2^*] = 2E[x_1x_2^*] + 2\omega E[x_2x_2^*]$$

avec  $E[x_1x_2^*]$  l'intercorrélation entre le signal  $x_1(t)$  et le signal  $x_2(t)$  et  $E[x_2x_2^*]$  l'autocorrélation de  $x_2(t)$ . La solution exacte est donnée par :

$$\omega = -\frac{E[x_1x_2^*]}{E[x_2x_2^*]}$$

Nous obtenons donc le résultat de l'algorithme de gradient à savoir :

$$r_{12}(n+1) = \rho r_{12}(n) + (1-\rho)(x_1(n)x_2^*(n))$$

$$r_{22}(n+1) = \rho r_{22}(n) + (1-\rho)(x_2(n)x_2^*(n))$$

$$\omega(n+1) = \omega(n) - 2\mu[r_{12}(n+1) + \omega(n)r_{22}(n+1)]$$

$$r_{12}(0) = 0 \quad r_{22}(0) = 0 \quad \omega(0) = 1$$

avec un facteur d'oubli  $\rho$  et le pas d'itération  $\mu$ .

Revenons à la Figure 1, supposons que  $\omega_1$  et  $\omega_2$  soient correctement ajustés, alors la sortie de la voie H et celle de la voie V sont minimales. Si une variation brutale est observée sur l'une ou l'autre des sorties ; nous pouvons prédire la présence d'une cible et estimer ses paramètres polarimétriques.



## 4 Présence de cible

Quand la cible est présente, nous arrêtons la phase de prétraitement décrite ci-dessus. Dans ce cas, comme nous l'avons indiqué, les sorties des deux voies H et V sont constituées des contributions de la cible et celles du bruit blanc provenant des variations du clutter et du bruit de fond. Ce bruit étant gaussien et centré peut être fortement atténué en moyennant les estimées des paramètres sur un intervalle de temps. Le problème revient à estimer les paramètres polarimétriques de la cible radar, c'est-à-dire à estimer le rapport de gain  $a_v/a_h$  et le déphasage entre l'onde verticale et l'onde horizontale  $\alpha_v - \alpha_h$ . Le schéma de principe est donné à la Figure 3. Il s'agit de régler le paramètre complexe  $\omega_3$  pour minimiser la puissance de sortie.

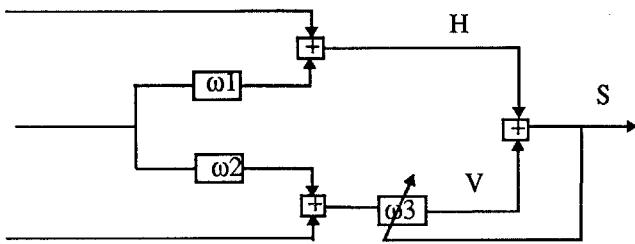


Figure 3

Dans le cas idéal

$$\omega_3 = (a_v/a_h) e^{j(\pi - (\alpha_v - \alpha_h))}$$

Donc le module et la phase de  $\omega_3$  nous fournissent l'information sur le rapport de gain entre les voies et le déphasage relatif auxquels nous voulions avoir accès.

## 5 Simulations

Dans ce paragraphe, nous montrons un résultat de simulation permettant de se faire une idée de la robustesse de l'algorithme notamment celle liée à l'étendue de la variation du clutter. Nous commençons par introduire brièvement la représentation d'un état de polarisation d'une onde sur la planisphère, qui nous donne un espace de représentation des résultats. Ensuite nous présentons les caractéristiques du clutter et de la cible adoptées pour la simulation. Enfin nous présentons les résultats de simulation obtenus.

### a) Représentation d'un état de polarisation

L'état de polarisation d'une onde est présentée habituellement sur le sphère Poincaré défini par la longitude  $\phi$  et la latitude  $\tau$ . Ils sont reliés au vecteur de Jones par les 4 paramètres Stockes. Pour un état de polarisation d'une cible représenté par le vecteur Jones défini dans le paragraphe 2, nous avons les relations suivantes :

$$\begin{aligned} g_0 &= |s_h|^2 + |s_v|^2 = M \\ g_1 &= |s_h|^2 - |s_v|^2 = M \cos 2\phi \cos 2\tau \\ g_2 &= 2\text{Re}(s_h s_v^*) = M \sin 2\phi \cos 2\tau \\ g_3 &= -2\text{Im}(s_h s_v^*) = M \sin 2\tau \end{aligned}$$

Afin de traduire sous forme de courbes planes les contours tridimensionnels de la sphère, celle-ci est projetée sur une planisphère. Les relations entre les coordonnées de la sphère Poincaré ( $\tau, \phi$ ) et celles de la planisphère ( $x, y$ ) sont :

$$\begin{aligned} x &= \frac{2 \cos 2\tau \sin \phi}{\sqrt{1 + \cos \phi \cos 2\tau}} \\ y &= \frac{\sin 2\tau}{\sqrt{1 + \cos \phi \cos 2\tau}} \end{aligned}$$

### b) Les caractéristiques du clutter

Notre algorithme est testé avec l'exemple suivant. Le modèle du clutter est décrit dans le paragraphe 2. Nous avons pris comme valeurs moyennes du clutter :

$$c_h = 1 \quad c_v = 1 \quad \beta_h = 60^\circ \quad \beta_v = 0^\circ$$

avec une variation de 17.8% qui est gaussienne centrée.

Les états de polarisation du clutter pour 200 échantillons sont représentés à la Figure 4.

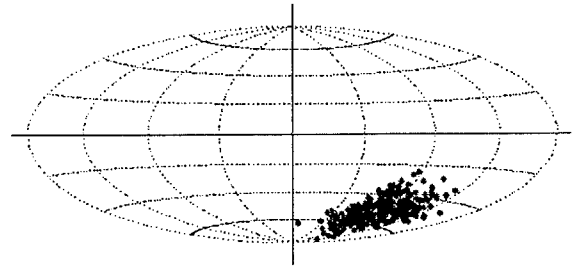


Figure 4 Carte de polarisation du clutter

Cette figure nous montre l'étendue du clutter.

### c) Les caractéristiques de la cible

Quant à la cible, nous prenons pour les valeurs polarimétriques suivantes :

$$s_h = 4 \quad s_v = 1 \quad \beta_h = 60^\circ \quad \beta_v = 0^\circ$$

La Figure 5 nous donne la représentation de la cible sur la carte polarimétrique :

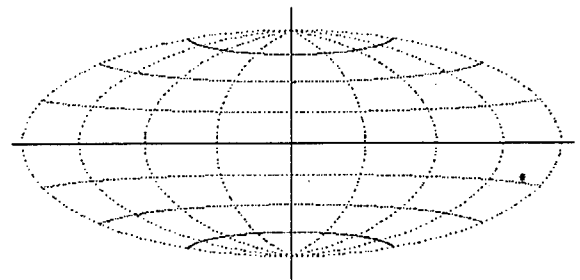


Figure 5 Carte de polarisation de la cible

Sans traitement a priori, nous traçons la contribution de la somme du clutter et de la cible pour 100 échantillons dans la Figure 6.



En comparant la Figure 5 et la Figure 6, nous remarquons que les caractéristiques polarimétriques de la cible sont totalement erronées, ceci est due à la présence du clutter. Pour estimer correctement les caractéristiques de la cible, des traitements appropriés sont à effectuer.

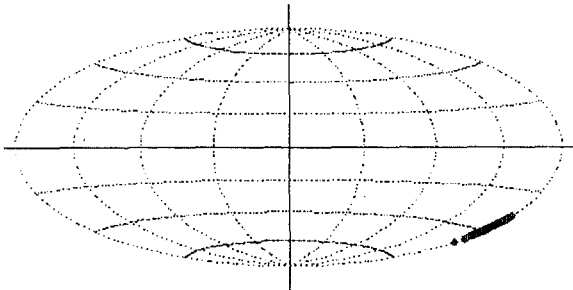


Figure 6 Carte depolarisation de la cible et du clutter

#### d) La simulation

Lors de la simulation, nous avons fixé le pas d'itération  $\mu$  à 0,04 et le facteur d'oubli  $\rho$  à 0,5. Nous supposons que la cible est absente pendant les premiers 100 échantillons. Donc nous appliquons l'algorithme de la première phase d'adaptation polarimétrique de l'environnement par l'antenne de réception pendant cette période, puis ce traitement est interrompu dès qu'une variation de niveau significative est décelée sur une des voies. Sur la Figure 7 est tracée l'évolution temporelle de la puissance de la sortie de la voie H exprimée en dB.

La puissance de la sortie de la voie H diminue rapidement pendant les 20 premiers échantillons, puis est stabilisée autour de -15dB. L'antenne de réception s'est adapté à l'environnement considéré comme stationnaire. A l'instant du 100ème échantillon, nous apercevons un saut de -15dB à 0dB, signifiant la présence d'une cible. Nous arrêtons ce traitement dès la détection. Comme nous l'avons décrit précédemment, dans le cas idéal, la sortie de la voie H est constituée de la cible et de la variation du clutter qui est gaussienne et centrée si le récepteur s'est correctement adapté à l'environnement.

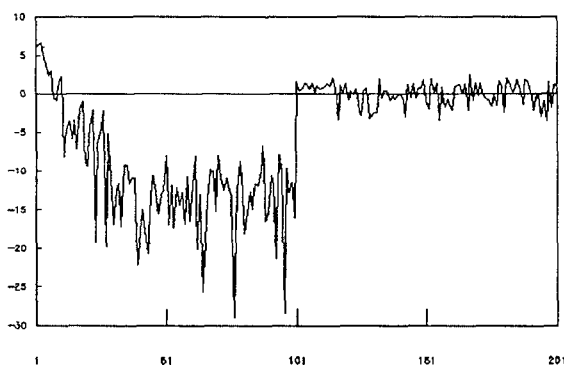


Figure 7 Evolution de La puissance de sortie de la voie H exprimée en dB

La Figure 8 représente la puissance de sortie de la voie S, elle fait ressortir les points suivants. L'antenne de réception s'étant adaptée à l'environnement (pendant les 100 premiers

échantillons), la présence de la cible est détectable par l'apparition d'une brusque variation de la puissance de la sortie de la voie S (le 100ème échantillon), ensuite commence la deuxième phase de traitement consistant à minimiser la puissance de sortie de la voie S permettant ainsi d'évaluer les paramètres polarimétriques de la cible.

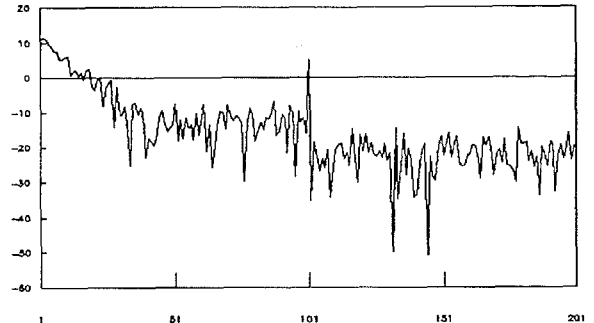


Figure 8 Evolution de La puissance de sortie de la voie S exprimée en dB

Nous présentons à la Figure 9, l'état polarimétrique estimé de la cible qui varie très faiblement autour de la valeur exacte. Avec le traitement proposé, nous pouvons estimer les paramètres polarimétriques avec un biais faible.

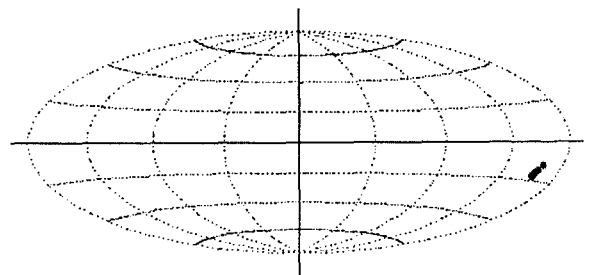


Figure 9 Carte de polarisation de la cible estimée

## 6 Conclusions

Dans cet article, nous avons proposé un algorithme adaptatif permettant de détecter les caractéristiques polarimétriques de la cible tout en supprimant les contributions du clutter. Cet algorithme est basé sur une préacquisition des caractéristiques polarimétriques de l'environnement supposé stationnaire.

Des simulations ont montré la faisabilité de cet algorithme, ainsi que la robustesse vis à vis de l'étendue de variation du clutter.

## Références

[1] L.B. Preiser : "Adaptive Processing in Radar Polarimetry". Journées Internationales de la Polarimétrie Radar. IRESTE, Nantes, Mars 1990.

[2] E. Pottier : "Contribution de la Polarimétrie dans la Discrimination de Cibles Radar. Application à l'imagerie électromagnétique Haute Résolution". Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes I. Laboratoire S2HF, IRESTE, Nantes. Décembre, 1990.