Processeurs SAR basés sur des détecteurs à sous-espaces pour des applications FOPEN

Frédéric Brigui[1], Laetitia Thirion-Lefèvre[1], Guillaume Ginolhac[2], and Philippe Forster[2]

[1] Supélec, Gif-sur-Yvette, Plateau du Moulon - 3 rue Joliot Curie, 91192
[2] ENS Cachan, Cachan, 61 av du President Wilson, 94235

La plupart des traitements SAR visent à augmenter la détection de cibles en étudiant les propriétés statistiques du clutter en le modélisant plus fidèlement ou en l'estimant à l'aide de traitements adaptatifs ; nous nous proposons dans cette étude d'améliorer les performances de détection en travaillant sur les propriétés physiques de la cible mais aussi sur celles de l'environnement dans lequel elle se trouve. Ces propriétés sont intégrées à notre problème de détection et représentent donc un prétraitement à la formation de l'image SAR de détection. Différentes propriétés physiques peuvent être prises en compte comme la polarisation du rayonnement rétrodiffusé, sa directivité, son comportement en fréquence, etc. Ces propriétés sont utilisées pour détecter une cible ou rejeter des interférences. Nous nous limiterons ici au cas de la détection de cible. Pour chaque pixel (x, y), notre problème de détection se pose de la manière suivante:

- dans l'hypothèse H_0, il n'y a pas de cible; le signal reçu $\mathbf{z}$ est un bruit blanc complexe et gaussien de variance connue σ^2.
- dans l'hypothèse H_1, une cible est présente; le signal reçu $\mathbf{z}$ est la somme d'un bruit blanc complexe et gaussien et d'un signal $\mathbf{r}_{xy}(\alpha, \beta)$ rétrodiffusé par la cible avec une orientation (α, β).

A partir de ces deux hypothèses, nous utilisons le test du RVG (Rapport de Vraisemblance Généralisée) pour définir l'intensité d'un pixel. Ainsi, nous obtenons une image SAR dont l'intensité de chaque pixel $I(x, y)$ s'exprime telle que:

$$I(x, y) = \frac{\|\mathbf{r}_{xy}^{\dagger}\mathbf{z}\|^2}{\sigma^2} \tag{1}$$

où $\mathbf{z}$ est le signal reçu complexe et $\dagger$ est l'opérateur complexe conjugué. Pour les processeurs SAR classiques, le modèle du signal recu $\mathbf{r}_{xy}$ est le signal rétrodiffusé d'un point isotrope, autrement dit aucune information sur les propriétés de rétrodiffusion de la cible n'est intégrée dans le processeur. Si nous considérons une cible manufacturée, nous supposons que celle-ci est un ensemble de plaques parfaitement conductrices; il s'ensuit que notre modèle de signal devient le signal rétrodiffusé par une plaque parfaitement conductrice d'orientation inconnue. Nous modélisons cette rétrodiffusion à l'aide de l'Optique Physique (OP). Ce changement de modèle nous permet de prendre en compte la directivité et le comportement en fréquence de la rétrodiffusion d'une cible manufacturée. Cependant, puisque nous ne connaissons pas l'orientation de notre cible et donc du modèle qui lui correspond, nous considérons que le signal de la cible appartient à un sous-espace signal $\langle \mathbf{H}_{xy} \rangle$ généré par la rétrodiffusion d'une plaque pour toutes les orientations (α, β) possibles. Notre

problème de détection énoncé précédemment reste inchangé à cela près que nous utilisons un sous-espace signal pour caractériser la réponse de la cible. Le RVG nous donne alors pour l'intensité:

$$I(x,y) = \frac{\|\mathbf{H}_{xy}^{\dagger}\mathbf{z}\|^2}{\sigma^2} \tag{2}$$

où $\mathbf{H}$ est une base du sous-espace signal $\langle \mathbf{H}_{xy} \rangle$. L'intensité est donc la projection du signal $\mathbf{z}$ dans le sous-espace signal $\langle \mathbf{H}_{xy} \rangle$. Ainsi, on augmente la probabilité de détection d'une cible dont le rayonnement a les caractéristiques en fréquence et en angles d'incidence décrites par $\langle \mathbf{H}_{xy} \rangle$. Il est également possible d'intégrer l'information polarimétrique à notre modèle et par extension à nos processeurs SAR. Dans l'approximation OP, une plaque parfaitement conductrice n'a pas de réponse en polarisation croisée (HV et VH) ; nous ne considérons donc que les canaux de polarisation HH et VV. Nous avons développé deux différents types de processeurs SAR polarimétriques qui sont définis par leurs différents sous-espaces signal. En notant $\mathbf{z}' = [\mathbf{z}_{HH}^T \quad \mathbf{z}_{VV}^T]^T$, le signal reçu polarimétrique, et en notant $\mathbf{H}_{HHxy}$ et $\mathbf{H}_{VVxy}$ les bases correspondantes aux sous-espaces $\langle \mathbf{H}_{HHxy} \rangle$ et $\langle \mathbf{H}_{VVxy} \rangle$, on obtient les cas suivants:

- Cas "Décorrélé": les canaux HH et VV sont considérés indépendamment, ils sont décorrélés; nous montrons que nous avons pour l'intensité:

$$\begin{aligned} I_{deco}(x,y) &= \frac{\|\mathbf{H}_{xy}^{deco\dagger}\mathbf{z}'\|^2}{\sigma^2} = \frac{\|\mathbf{H}_{HHxy}^{\dagger}\mathbf{z}_{HH}\|^2}{\sigma^2} + \frac{\|\mathbf{H}_{VVxy}^{\dagger}\mathbf{z}_{VV}\|^2}{\sigma^2} && (3) \\ &= I_{HH}(x,y) + I_{VV}(x,y) && (4) \end{aligned}$$

  Considérer indépendamment les canaux polarimétriques nous amène à appliquer le processeur SAR pour chaque canal et sommer en intensité les contributions de HH et VV ; on perd ainsi l'information polarimétrique mais on gagne en robustesse.

- Cas "Corrélé ±": les canaux HH et VV sont corrélés positivement ou négativement; nous montrons que nous avons pour l'intensité:

$$\begin{aligned} I_{co\pm}(x,y) &= \frac{\|\mathbf{H}_{xy}^{co\pm\dagger}\mathbf{z}'\|^2}{\sigma^2} && (5) \\ &= \frac{1}{2}\frac{\|\mathbf{H}_{HHxy}^{\dagger}\mathbf{z}_{HH} \pm \mathbf{H}_{VVxy}^{\dagger}\mathbf{z}_{VV}\|^2}{\sigma^2} && (6) \end{aligned}$$

  De par leurs structures, les processeurs SAR "Corrélé ±" considèrent la somme ou la différence cohérente des contributions en HH et VV; ils permettent donc, dans une certaine mesure, de différencier les mécanismes polarimétriques.

Ces nouveaux processeurs SAR polarimétriques permettent d'augmenter la probabilité par rapport au processeur à un canal de polarisation mais aussi de distinguer les cibles selon les mécanismes polarimétriques majoritaires.

Cette double approche, traitement d'une part pour le developpement des processeurs et physique d'autre part pour intégrer a priori des informations sur les mécanismes de

diffusion, nous permet une détection plus efficace que les processeurs SAR classiques et néanmoins aussi robuste. L'application de ces processeurs sur des données SAR en environnement complexe (applications FOPEN), simulées et réelles, ont montré les performances de cette méthode.