

Détection en environnement non-Gaussien Cas du fouillis de mer et extension aux milieux hétérogènes

Laurent Déjean

Thales Airborne Systems/ENST-Bretagne

Le 20 novembre 2006

Contenu

1 Contexte

Le scénario

Les signaux radar

2 La détection

Un test d'hypothèses binaire

Détecteurs

Le milieu côtier

1 Contexte

Le scénario

Les signaux radar

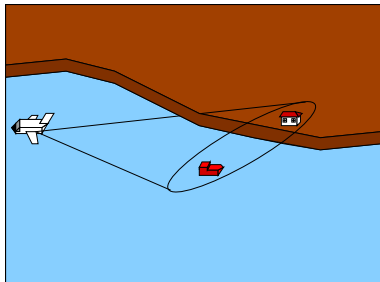
2 La détection

Un test d'hypothèses binaire

Détecteurs

Le milieu côtier

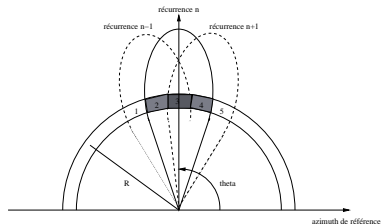
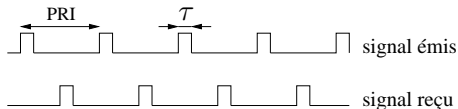
Scénario de détection radar



- ▶ 3 acteurs
 - ▶ Porteur/radar
 - ▶ Cible
 - ▶ Milieu environnant
- ▶ Contexte
 - ▶ Radar aéroporté, bande X
 - ▶ Incidence rasante, haute résolution
 - ▶ Petites cibles
 - ▶ Milieu côtier

Les signaux radar

- ▶ Forme d'onde
 - ▶ Ambiguïtés distance
 - ▶ Résolution
 - ▶ Cases Distance
- ▶ Antenne en rotation
 - ▶ Nombre de coups au but
 - ▶ Nombre de tours au but
- ▶ Carte récurrences-cases distance
- ▶ Nature des échos
 - ▶ Échos de cibles
 - ▶ Échos parasites (mer, terre, pluie...) : *fouillis*

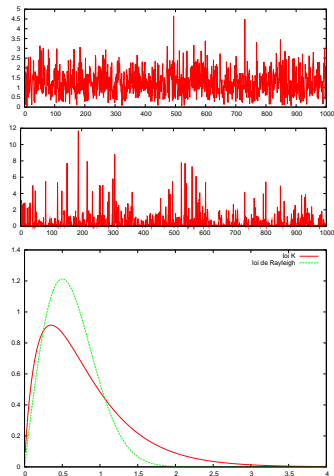


Le fouillis de mer

- ▶ Incidence rasante, haute résolution
 - ▶ Apparition de «spikes»
 - ▶ Éloignement des statistiques gaussiennes
- ▶ Amplitude distribuée selon une loi K

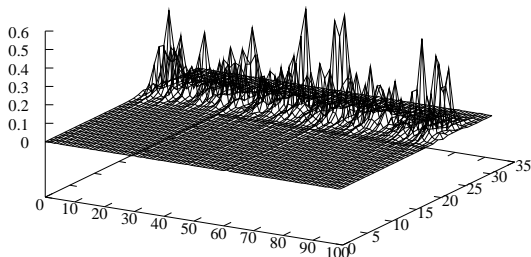
$$f(x) = \frac{2}{\beta\Gamma(\nu)} \left(\frac{x}{2\beta}\right)^\nu K_{\nu-1}\left(\frac{x}{\beta}\right)$$

- ▶ ν paramètre de forme
- ▶ β facteur d'échelle



Modélisation cohérente du fouillis de mer

- ▶ Spectre Doppler
 - ▶ Corrélations temporelles
 - ▶ Modélisation cohérente



- ▶ *Processus Aléatoire Invariant Sphériquement*

$$\mathbf{c} = \sqrt{\tau} \mathbf{x}$$

- ▶ τ *texture*, variable aléatoire positive de densité p_τ
- ▶ \mathbf{x} *speckle*, vecteur gaussien complexe centré de matrice de covariance \mathbf{M}

$$p_{\mathbf{c}}(\mathbf{u}) = \int_0^{+\infty} \frac{1}{(\pi\tau)^n |\mathbf{M}|} e^{-\frac{\mathbf{u}^H \mathbf{M}^{-1} \mathbf{u}}{\tau}} p_\tau(\tau) d\tau$$

1 Contexte

Le scénario

Les signaux radar

2 La détection

Un test d'hypothèses binaire

Détecteurs

Le milieu côtier

La détection : un test d'hypothèses binaire

$$\begin{cases} \mathcal{H}_0 & : \quad \mathbf{z} = \mathbf{c} \\ \mathcal{H}_1 & : \quad \mathbf{z} = \mathbf{s} + \mathbf{c} \end{cases}$$

- ▶ \mathbf{z} observations
- ▶ \mathbf{s} signal à détecter
- ▶ \mathbf{c} fouillis (bruit coloré)

La détection : un test d'hypothèses binaire

$$\begin{cases} \mathcal{H}_0 & : \quad \mathbf{z} = \mathbf{c} \\ \mathcal{H}_1 & : \quad \mathbf{z} = \mathbf{s} + \mathbf{c} \end{cases}$$

- ▶ \mathbf{z} observations
- ▶ \mathbf{s} signal à détecter
- ▶ \mathbf{c} fouillis (bruit coloré)

Comment décider entre \mathcal{H}_0 et \mathcal{H}_1 ?

La détection : un test d'hypothèses binaire

$$\begin{cases} \mathcal{H}_0 & : \quad \mathbf{z} = \mathbf{c} \\ \mathcal{H}_1 & : \quad \mathbf{z} = \mathbf{s} + \mathbf{c} \end{cases}$$

- ▶ \mathbf{z} observations
- ▶ \mathbf{s} signal à détecter
- ▶ \mathbf{c} fouillis (bruit coloré)

Comment décider entre \mathcal{H}_0 et \mathcal{H}_1 ?

- ▶ Critère du Maximum de Vraisemblance *a Posteriori* (MAP)
- ▶ Critère du Minimax
- ▶ Critère de Neyman-Pearson

Neyman-Pearson : recherche d'un test de niveau α (uniformément) le plus puissant (UPP)

- Recherche du test satisfaisant à

$$\max P_D \text{ sous } P_{FA} \leq \alpha$$

Neyman-Pearson : recherche d'un test de niveau α (uniformément) le plus puissant (UPP)

- ▶ Recherche du test satisfaisant à

$$\max P_D \text{ sous } P_{FA} \leq \alpha$$

- ▶ Hypothèses simples : lemme de Neyman-Pearson

$$\Lambda(\mathbf{z}) = \frac{p_{\mathbf{z}|\mathcal{H}_1}(\mathbf{z})}{p_{\mathbf{z}|\mathcal{H}_0}(\mathbf{z})} \underset{\mathcal{H}_0}{\overset{\mathcal{H}_1}{\geq}} \eta$$

Neyman-Pearson : recherche d'un test de niveau α (uniformément) le plus puissant (UPP)

- ▶ Recherche du test satisfaisant à

$$\max P_D \text{ sous } P_{FA} \leq \alpha$$

- ▶ Hypothèses simples : lemme de Neyman-Pearson

$$\Lambda(\mathbf{z}) = \frac{p_{\mathbf{z}|\mathcal{H}_1}(\mathbf{z})}{p_{\mathbf{z}|\mathcal{H}_0}(\mathbf{z})} \underset{\mathcal{H}_0}{\overset{\mathcal{H}_1}{\geq}} \eta$$

- ▶ Hypothèses composées :

$$\begin{cases} \mathcal{H}_0 & : & \mathbf{z}(\theta) = \mathbf{c}(\theta) \\ \mathcal{H}_1 & : & \mathbf{z}(\theta) = \mathbf{s}(\theta) + \mathbf{c}(\theta) \end{cases}$$

Neyman-Pearson : recherche d'un test de niveau α (uniformément) le plus puissant (UPP)

- ▶ Recherche du test satisfaisant à

$$\max P_D \text{ sous } P_{FA} \leq \alpha$$

- ▶ Hypothèses simples : lemme de Neyman-Pearson

$$\Lambda(\mathbf{z}) = \frac{p_{\mathbf{z}|\mathcal{H}_1}(\mathbf{z})}{p_{\mathbf{z}|\mathcal{H}_0}(\mathbf{z})} \underset{\mathcal{H}_0}{\overset{\mathcal{H}_1}{\geq}} \eta$$

- ▶ Hypothèses composées : *rapport de vraisemblance généralisé*

$$\begin{cases} \mathcal{H}_0 & : & \mathbf{z}(\theta) = \mathbf{c}(\theta) \\ \mathcal{H}_1 & : & \mathbf{z}(\theta) = \mathbf{s}(\theta) + \mathbf{c}(\theta) \end{cases}$$

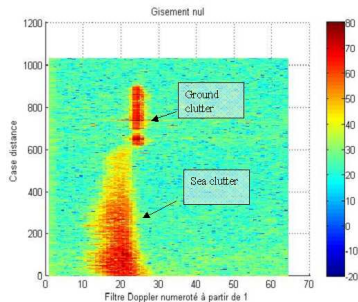
$$\Lambda_{GLRT}(\mathbf{z}) = \frac{p_{\mathbf{z}(\theta)|\mathcal{H}_1, \theta}(\mathbf{z}(\hat{\theta}_{ML,1}))}{p_{\mathbf{z}(\theta)|\mathcal{H}_0, \theta}(\mathbf{z}(\hat{\theta}_{ML,0}))}$$

Détection en milieu côtier

- ▶ Test d'hypothèse en milieu hétérogène

$$\begin{cases} \mathcal{H}_0 & : \quad \mathbf{z} = \lambda \mathbf{c}_m + \mu \mathbf{c}_t \\ \mathcal{H}_1 & : \quad \mathbf{z} = \mathbf{s} + \lambda \mathbf{c}_m + \mu \mathbf{c}_t \end{cases}$$

- ▶ Recherche d'un détecteur optimal
- ▶ Discrimination terre-mer
 - ▶ Cartographie
 - ▶ Analyse spectrale
 - ▶ Réflectivité
 - ▶ Traitement de tour à tour



Conclusion

- ▶ Approche paradoxale de la détection en milieu côtier
 - ▶ Problème important d'un point de vue stratégique
 - ▶ Peu de littérature sur le sujet
- ▶ Difficulté du problème
- ▶ Analyse de données réelles
 - ▶ Coût des enregistrements
 - ▶ Confidentialité des données
- ▶ Limitations des simulations