

Analiza semnalelor radar în prezența ecourilor marine

Abordare CFAR-STFT cu adaptări pentru sea clutter real

Ingrid Corobana Teodora Nae

Universitatea din București
Facultatea de Matematică și Informatică
Coordonator: Prof. Dr. Cristian Rusu

Procesarea Semnalelor – 2026

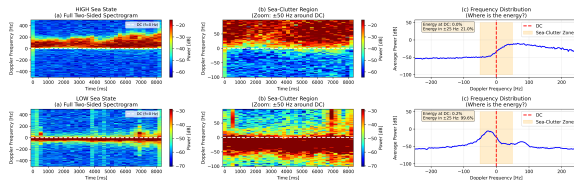
Problema și Soluția CFAR-STFT

Sea Clutter:

- Ecouri radar de la suprafața mării
- Non-Gaussian (spike-uri frecvente)
- Ascunde ținte mici

Pipeline CFAR-STFT:

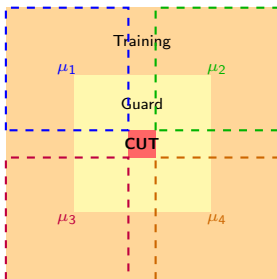
- 1 STFT → spectrogramă
- 2 CFAR 2D → detecție adaptivă
- 3 DBSCAN → clustering
- 4 Dilatare + iSTFT → reconstrucție



SEA-CLUTTER EXPLANATION:

- Roșu pe mijloc DC (Full Hz) = ariea slabă de la suprafața mării
- Galben/Verde în jurul DC = clutter-ul maritim în regiune (valuri, spumă)
- Alăbăstru lateral = spațiu termic (uniform, slab)
- "Dotted" = energia este concentrată în anumite zone timp-frecvență (ridges)
- Țintele reale ar apărea ca benzi clare departe de DC (± 100 - 400 Hz)

GOCA-CFAR 2D – Detecție Adaptivă



GOCA = Greatest-Of Cell Averaging

$$\hat{Z} = \max(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$$

$$T = R \cdot \hat{Z}$$

$$R = N_T(P_f^{-1/N_T} - 1)$$

Decizie:

$$|X(k, n)|^2 \geq T \Rightarrow \text{Detectat}$$

Parametri IPIX

$N_G = 3$, $N_T = 12$, $P_f = 0.001$ (mult mai mic decât paper!)

Adaptări pentru Sea Clutter Real

1. K-Distribution:

- Sea clutter \neq Gaussian
- Pondere mai mare în cozi
- Ajustare prag CFAR

2. Hurst Boost:

- Clutter: $H \approx 0.75\text{--}0.85$
- Țintă perturbă: $H < 0.6$
- Detectează ținte slabe

3. DBSCAN Asimetric:

- Ținte = linii verticale în TF
- Scalare frecvență: $s_f = 3.0$
- Un cluster per țintă

4. Mascare DC:

- ± 8 binuri în jurul 0 Hz
- Elimină returnări staționare

Rezultate pe Date Sintetice

SNR [dB]	RQF [dB]	Detecție
5	7.28	100%
10	16.81	100%
20	26.40	100%
30	29.17	100%

100 rulări Monte Carlo per SNR

RQF = Reconstruction Quality Factor

$$RQF = 10 \log_{10} \frac{\|x\|^2}{\|x - \hat{x}\|^2}$$

- ✓ Detecție 100%
- ✓ RQF crește cu SNR

Detectie pe Date IPIX Reale

IPIX TARGET_17 - GOCA-CFAR + K-dist | Pfa=0.001

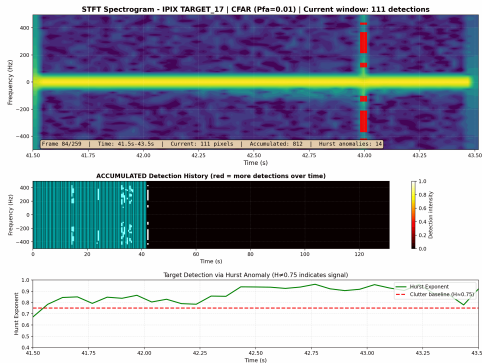


Figura: GOCA-CFAR pe Target #17

IPIX TARGET_17 - GOCA-CFAR + K-dist + Fractal | Pfa=0.001

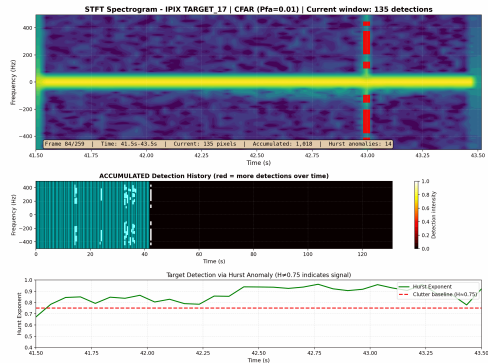


Figura: Cu Fractal Boost

Comparație Metode CFAR

Metodă	Robustețe clutter	Ținte slabe	Ideal pentru
CA-CFAR	Scăzută	Ridicată	Zgomot omogen
OS-CFAR	Foarte bună	Medie	Multi-target
SOCA-CFAR	Bună	Medie	Margini clutter
GOCA-CFAR	Foarte bună	Bună	Sea clutter

Observație experimentală: CA-CFAR eșuează pe IPIX – detectează clutter, nu ținte!
GOCA-CFAR + DBSCAN = performanța optimă pentru sea clutter neomogen

Rezultate Comparative pe IPIX

Metodă	Sea State	Componente	Viteză [m/s]
CA-CFAR + HDBSCAN	HIGH	1.0 ± 0.0	-0.05
CA-CFAR + HDBSCAN	LOW	1.0 ± 0.0	-0.01
Triangulare Delaunay	HIGH	4.2	+1.30
Triangulare Delaunay	LOW	13.6	-0.30

Probleme identificate:

- CA-CFAR: variabilitate zero \Rightarrow grupează tot clutter-ul într-un cluster
- Triangulare: fragmentare excesivă, inconsistentă între scenarii

- ❶ **Implementare completă** CFAR-STFT în Python
- ❷ **Validare sintetică**: RQF = 29.17 dB @ SNR=30dB, detecție 100%
- ❸ **Validare IPIX**: Detecții consistente pe date reale
- ❹ **Adaptări**: K-distribution, Hurst boost, DBSCAN asimetric
- ❺ **Comparație**: GOCA-CFAR superior CA-CFAR și triangulării

Cod: https://github.com/dirgnic/Radar_Detection_STFT

Mulțumim! Întrebări?