

# Analiza semnalelor radar în prezență ecourilor marine

## Abordare CFAR-STFT cu adaptări pentru sea clutter real

Ingrid Corobana    Teodora Nae

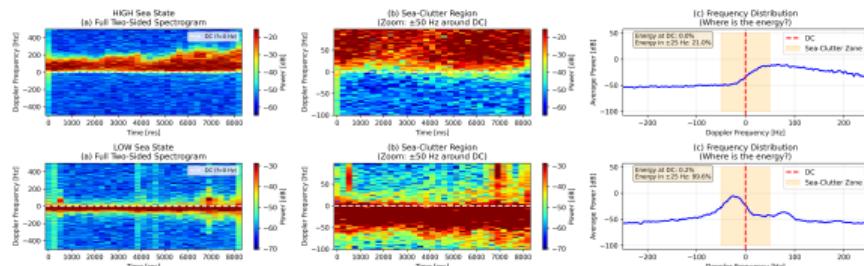
Universitatea din București  
Facultatea de Matematică și Informatică  
Coordonator: Prof. Dr. Cristian Rusu

Procesarea Semnalelor – 2026

# Problema și Soluția CFAR-STFT

## Sea Clutter:

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

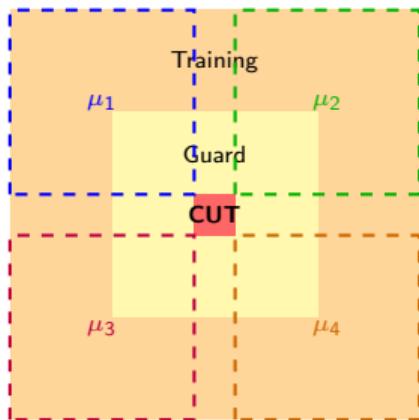


## Pipeline CFAR-STFT:

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

SEA-CLUTTER EXPLANATION:  
• Poze pe mijloc (DC, f=0 Hz) = ecouri statice de la suprafața mării  
• Galben/Vînturi în jurul DC = clutter-ul marin în regiunea liniilor, spumă  
• Verde = zonele de rezonanță (riduri)  
• "Certe" = energie care este concentrată în anumite zone timp-frecvență (riduri)  
• Țintele reale ar apărea ca bule clare departe de DC ( $\pm 100-400$  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:  $H \approx 0.75\text{--}0.85$
- Tintă perturbă:  $H < 0.6$
- Detectează tinte slabe

## 3. DBSCAN Asimetric:

- Tinte = linii verticale în TF
- Scalare frecvență:  $s_f = 3.0$
- Un cluster per întă

## 4. Mascare DC:

- $\pm 8$  binuri în jurul 0 Hz
- Elimină returnări staționare

# Rezultate pe Date Sintetice

SNR [dB]	RQF [dB]	Detectie
5	7.28	100%
10	16.81	100%
20	26.40	100%
30	<b>29.17</b>	100%

100 rulări Monte Carlo per SNR

**RQF** = Reconstruction Quality Factor

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

- ✓ Detectie 100%
- ✓ RQF creste cu SNR

# Detectie pe Date IPIX Reale

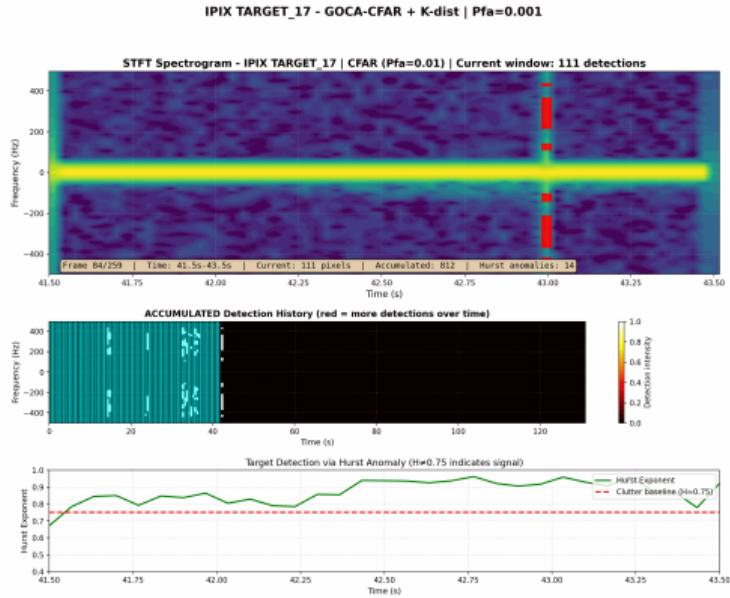


Figura: GOCA-CFAR pe Target #17

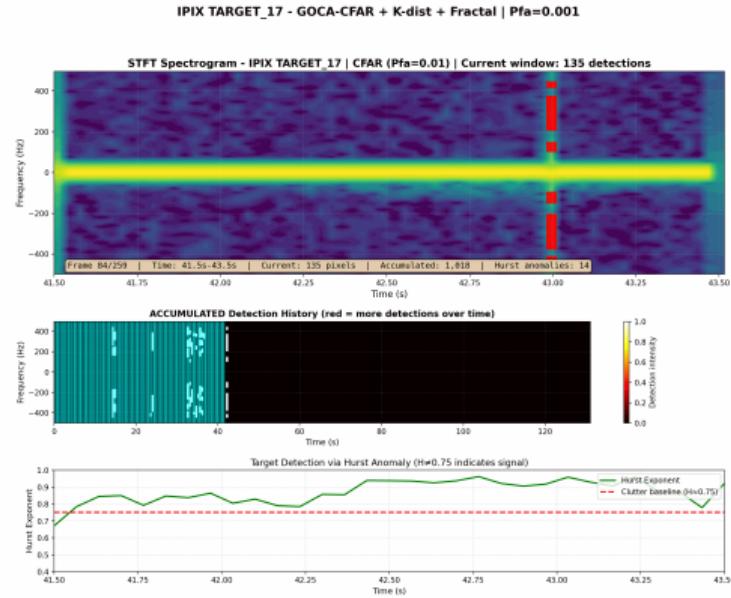


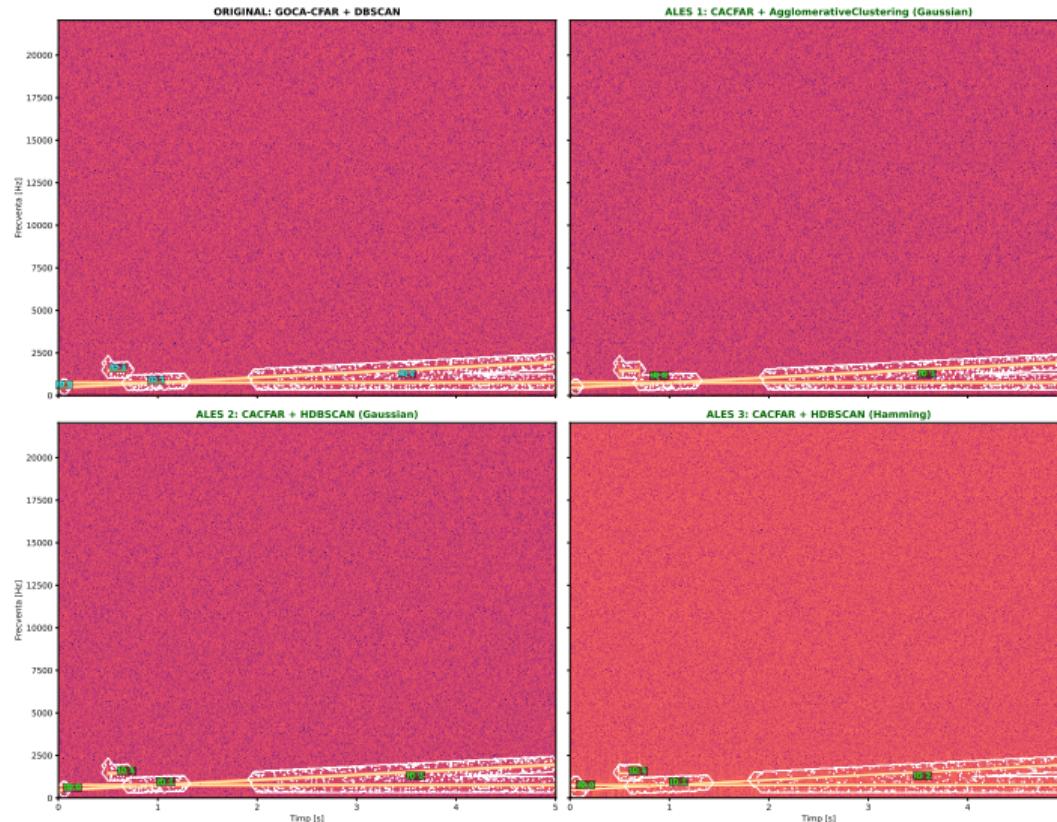
Figura: Cu Fractal Boost

# Comparație Metode CFAR

Metodă	Robustete 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 = performanță optimă pentru sea clutter neomogen

# Comparătie Spectrograme Metode



# Rezultate Comparative pe IPIX

Metodă	Sea State	Componente	Viteză [m/s]
CA-CFAR + HDBSCAN	HIGH	$1.0 \pm 0.0$	-0.05
CA-CFAR + HDBSCAN	LOW	$1.0 \pm 0.0$	-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

# Concluzii

- ① **Implementare completă CFAR-STFT în Python**
- ② **Validare sintetică:** RQF = 29.17 dB @ SNR=30dB, detectie 100%
- ③ **Validare IPIX:** Detectii consistente pe date reale
- ④ **Adaptări:** K-distribution, Hurst boost, DBSCAN asimetric
- ⑤ **Comparatie:** GOCA-CFAR superior CA-CFAR si triangularei

**Cod:** [https://github.com/dirgnic/Radar\\_Detection\\_STFT](https://github.com/dirgnic/Radar_Detection_STFT)

Multumim! Întrebări?