

## CFAR PROCEDURA DETEKCIJE U NEPOZNATOM KLATERU

Aleksandra Preskar Manić, Jovan Zatkalik  
Elektrotehnički fakultet, Beograd

## 1. UVOD

Pri projektovanju savremenih radarskih sistema sa automatskom detekcijom i ocenom parametara signala, velika pažnja se posvećuje održavanju konstantne verovatnoće lažnog alarma (CFAR) u klateru čiji se nivo značajno menja od jedne do druge rezolucione ćelije. Najčešće posmatrane funkcije gustine verovatnoće (fgv) amplituda klatera na ulazu u radarski prijemnik su Rejljeva, log-normal i Weibull-ova. Za svaki pojedinačno od navedenih tipova može se projektovati optimalni detektor, za Rejljevu klater takav detektor je i praktično realizovan, dok je detektor za druga dva tipa klatera teorijski razmatran na više mesta u literaturi, između ostalog [1] i [2]. Analiza sprovedena u toj literaturi, kao i njenu zaključci, nedvosmisleno navode na ideju da se jedan isti detektor može koristiti za detekciju u oba tipa klatera, log-normal i Weibull-ovom. Potrebno je samo uvesti pogodan algoritam prepoznavanja klatera, pa onda prag detekcije (pošto se samo on menja pri promeni tipa ulaznog klatera) postaviti u saglasno parametrima klatera. Taj algoritam bi trebalo da bude jednostavan, da može lako da se implementira, a istovremeno da bude pouzdan i sa što manjom verovatnoćom pogrešne odluke. U radu će biti razrađen jedan algoritam pogodan za računarsku analizu, i vrlo efikasan.

## Prepoznavanje klatera

Log-t detektor predstavljen u literaturi [1] i [2] može da obavlja CFAR detekciju ili u log-normal ili u Weibull klateru. Međutim, prag postavljen za jedan tip klatera neće odgovarati drugom, pa bi verovatnoća detekcije i verovatnoća lažnog alarma odstupale od projektovanih vrednosti. Konkretno, prag detekcije u log-normal klateru bi bio viši od praga za Weibull klater, za jednu istu pretpostavljenu vrednost verovatnoće lažnog alarma. Zato u takav detektor treba implementirati kolo za raspoznavanje klatera, klasifikator. Njegova uloga je da proceni *kojoj* raspodeli se pokoravaju uzorci klatera i da u skladu sa tom odlukom modifikuje prag detekcije. Ovdje će biti kompletno sprovedena analiza po jednom od mogućih algoritama prepoznavanja klatera, izračunate karakteristike detekcije i rezultati dobijeni Monte Carlo simulacijom predstavljeni u grafičkoj formi.

## 2. ADAPTIVNI LOG-T DETEKTOR

Adaptivni detektor mora da donese dve odluke:

1. Kojoj od mogućih raspodela se pokorava ulazni signal
2. Da li u ulaznoj smeši signal-klater postoji koristan signal.

Ove zadatke detektor treba da ispuni sa što manjom verovatnoćom pogrešne procene, a istovremeno na što jednostavniji (i jeftiniji) način. Adaptivni log-t detektor podesava vrednost praga detekcije u saglasnosti sa *prvom* odlukom, odlukom o tipu klatera, a vrednost praga je određena brojem odmeraka (tj. referentnih ćelija) i dozvoljenom verovatnoćom lažnog alarma.

## Procedura detekcije

Neka su  $g_j(x)$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$  moguće "stvarne" raspodele ulaznog signala koje treba raspoznati. U našem slučaju  $M = 2$ , a raspodele su log-normal ili Weibull:

$$g_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - m)^2\right] \quad (1)$$

$$g_2(x) = \left(\frac{x}{q}\right)^{p-1} \frac{p}{q} \exp\left[-\left(\frac{x}{q}\right)^p\right] \quad (2)$$

gde su:  $x$  - refleksivnost klatera,

$\sigma$  - standardna devijacija  $x$ ,

$m = \ln \mu$  - logaritam medijane klatera,

$p$  - parametar oblika i

$q$  - parametar skaliranja

Takođe, hipotetične raspodele o kojima se donosi odluka date su istim izrazima, ali će biti obeležene kao  $p_1$  i  $p_2$ . Weibull-ova raspodele se često izražava i alternativnim izrazom:

$$g_2(x) = \frac{\beta}{\alpha} x^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x^\beta}{\alpha}\right) \quad (2a)$$

gde su  $\alpha$  i  $\beta$  parametri raspodele.  $\alpha = q^p$ ,  $\beta = p$ .

Pravilo prepoznavanja raspodela (lit.[3]) zasnovano je na Kullback-Leibler srednjoj informaciji, kombinovano sa log-likelihood funkcijom  $S$ , definisanom kao:

$$S\{g(x); p_j(x)\} = \int g(x) \ln[p_j(x)] dx, \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (3)$$

gde je  $g(x)$  "prava", a nepoznata fgv od  $x$ , a  $p_j(x)$  jedna od pretpostavljenih fgv. Integral iz gornjeg izraza može se zameniti procenom  $\hat{S}_j$  koja ne zahteva poznavanje realne  $g(x)$ :

$$\hat{S}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln[p_j(x_i)] \quad (4)$$

gde su  $x_i$  odmerci ulaznog signala iz  $N$  ćelija.

Sada se procedura klasifikacije sastoji iz dva koraka:

1. Za sve moguće raspodele  $p_j(x)$  koje se ispituju izračunaju se  $\hat{S}_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, M$ , pri čemu se nepoznati parametri raspodele u izrazu za  $p_j$  zamene njihovim procenama maksimalne verodostojnosti (maximum likelihood estimate - MLE)
2. Odabere se onaj statistički model raspodele za koga se dobija maksimalna vrednost  $\hat{S}_j$ .

Za slučaj dve moguće raspodele, drugi korak klasifikacije se svodi samo na ispitivanje koja je veća od dve dobijene vrednosti za  $\hat{S}_j$ .

Za ispitivane ulazne raspodele, MLE procene nepoznatih parametara raspodele su:

$$\begin{aligned}\bar{m} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln x_i & \bar{a} &= \bar{m} + \gamma \bar{\sigma} \\ \hat{\sigma}^2 &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\ln x_i - \bar{m})^2 & \hat{b} &= \hat{\sigma} \sqrt{6} / \pi\end{aligned}\quad (5)$$

a parametri Weibull raspodele  $q$  i  $p$  su:

$$\hat{q} = e^{\hat{a}} = \exp(\bar{m} + \gamma \hat{\sigma} \sqrt{6} / \pi) \quad (6)$$

$$\hat{p} = 1/\hat{b} = \pi / \hat{\sigma} \sqrt{6}$$

Sa ovim veličinama se izračunavaju vrednosti funkcije  $S$ :

$$\hat{S}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln F_1(x_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \ln \frac{1}{\hat{q} \hat{\sigma} \sqrt{2\pi}} - \frac{1}{2\hat{\sigma}^2} (\ln x_i - \bar{m})^2 \right] \quad (7)$$

$$\hat{S}_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln F_2(x_i) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ (\hat{p}-1) \ln \frac{x_i}{\hat{q}} + \ln \frac{\hat{p}}{\hat{q}} - \left( \frac{x_i}{\hat{q}} \right)^{\hat{p}} \right] \quad (8)$$

Isto posle kraćeg računanja i zamene MLE parametara  $\bar{m}$ ,  $\hat{\sigma}$ ,  $\hat{p}$  i  $\hat{q}$ , dovodi do izraza

$$\hat{S}_1 = -\frac{1}{2} \ln \sqrt{2\pi} - \frac{1}{2} \ln \hat{\sigma}^2 - \bar{m} \quad (9)$$

$$\hat{S}_2 = \ln \frac{\pi}{\sqrt{6}} - \frac{1}{2} \ln \hat{\sigma}^2 - \gamma - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^{\frac{x_i}{\hat{q}} (\hat{p}-1)} - \bar{m}$$

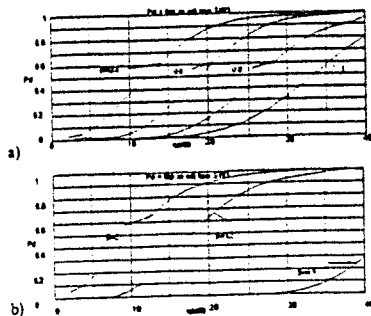
Konačno, kriterijum odluke glasi:

- ako  $\hat{S}_1 > \hat{S}_2 \Rightarrow$  raspodela je log-normal

i on je primenjen u programu čiji će rezultati biti prikazani u nastavku.

### 3. REZULTATI SIMULACIJE

Na slikama 1 i 2 a) i b) prikazane su karakteristike detekcije adaptivnog log-t detektora, za različite parametre ulazne raspodele, broj referentnih čelija i za neke dozvoljene verovatnoće lažnog alarma.



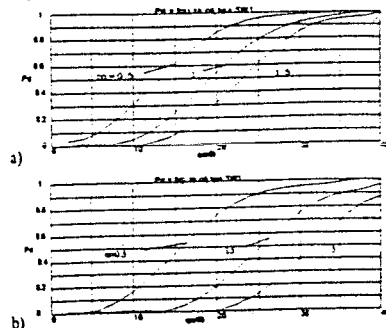
Slika 1. Karakteristike adaptivnog log-t detektora za  $P_{fa}=10^{-4}$

a) u log-normal klateru,  $N=40$ ,  $m=1$ ,  $\sigma=0.4, 0.6, 0.8, 1$

b) u Weibull klateru,  $N=80$ ,  $\alpha=1$ ,  $\beta=0.5, 1.2, 2$

Može se primetiti da je ponašanje adaptivnog detektora pri promeni parametara raspodele isto kao i ponašanje (običnog) log-t detektora (sa poznatom ulaznom raspodelom), prikazano u literaturi [1] i [2]: sa povećanjem snage (devijacije) klatera, kao i sa porastom medijane, raste potreban odnos signal-klater za ostvarenje zadate verovatnoće detekcije. Isto važi i za promenu parametara Weibull raspodele: za  $\beta=2$  (Rejli raspodela), karakte-

ristika je najpovoljnija, dok je za  $\beta < 2$  raspodela više "rejlijevska", te zahteva povećanje odnosa signal-klater.



Slika 2. Karakteristike za  $P_{fa}=10^{-4}$ :

a) u log-normal klateru,  $N=40$ ,  $\sigma=0.6$ ,  $m=0.5, 1, 1.5$

b) u Weibull klateru,  $N=80$ ,  $\beta=1$ ,  $\alpha=0.5, 1.5, 3$

### 4. ZAKLJUČAK

Ovde razmatran adaptivni log-t detektor pokazuje da se signali u klateru čija fgv odsuđa od Rejljeve mogu uspešno detektovati "inteligentnim" detektorom koji će moći automatski da obavlja i prepoznavanje klatera i CFAR proceduru detekcije. Korišćenjem "log-likelihood" funkcije  $S$  kao kriterijuma za procenu raspodele, omogućena je klasifikacija klatera u realnom vremenu. Štaviše, izračunavanjem vrednosti  $S$ -funkcije za još neke moguće ulazne raspodele, detektor se teorijski može osposobiti za detekciju u više tipova ulaznog klatera, pri čemu se kao kriterijum odluke uzima maksimalna vrednost kriterijumske funkcije.

### 5. LITERATURA

- [1] A. Preskar, J. Zatkalić - CFAR procedura detekcije u uslovima Weibull klatera - XXXVII Jugoslovenska konferencija ETAN, Beograd, 1993., sv. IV, p. 107.
- [2] J. Zatkalić, A. Preskar - Radne karakteristike CFAR radarskog prijemnika u Log-normal klaterom okruženju - XXXVII Jugoslovenska konferencija ETAN, Beograd, 1993., sv. IV, p. 99.
- [3] Andrzej Jakubiak - Signal Detection in Non-Gaussian Clutter - IEEE Trans. on AES, vol.27, No.5, September 1991., p. 758-760

Abstract: This paper presents an "intelligent" detector - adaptive log-t detector - which could perform CFAR detection in, theoretically, various types of clutter, using "log-likelihood"  $S$ -function as a clutter recognition criterion. Detector performances in log-normal and Weibull clutter are examined and the results show that no significant loss in the detection quality appeared, compared with the log-t detector designed for only one (a priori known) type of clutter.

### CFAR DETECTION PROCEDURE IN UNKNOWN CLUTTER ENVIRONMENT

Aleksandra Preskar Manić, Jovan Zatkalić