

## АНАЛИЗА ЕФЕКТА ЗАМРАЧЕЊА У РАДАРИМА ПРОШИРЕНОГ СПЕКТРА СА ПРОМЕНЉИВИМ ТРАЈАЊЕМ ИМПУЛСА

Бојан М. Зрнић, *Војноинженерска академија ВЈ, Рајка Ресановића 1, 11000 Београд*  
 Алекса Ј. Зејак, *Институт ИМТЕЛ, Бул. М. Пуйина 165-Б, 11070 Н. Београд, zejak@zormi.com*  
 Игор С. Симић, *Ericsson д.о.о., Владимира Поповића 6, 11070 Београд*

**Садржај-** У раду је извршена анализа утицаја ефекта замрачења на одзив радарског компресионог филтера када се као предајни таласни облик користи поворка фазно кодованих импулса променљиве дужине трајања.

### 1. УВОД

У радарима импулсног типа однос између трајања радарског импулса  $T_i$  и периоде понављања импулса  $T_r$  назива се *фактор дужине* (duty factor) и означава се са  $d_d$ . Као што је познато, домет радара при оптималној обради примљеног сигнала и датог спектралног густини снаге шума зависи искључиво од укупне енергије сигнала, при чему је укупна енергија једнака производу трајања радарског импулса  $T_i$  и вршне снаге предајника  $P$ . Због тога се код пројектовања радара великог домета често бира таласни облик радарског сигнала са великим фактором полуне (нпр. 25 %,  $d_d=0.25$ ), тј. користи се радарски импулс велике дужине да би се, при отапатиченој вршној снази, емитовала потребна енергија за пројектовани домет. Да би се сачувале карактеристике радара у погледу резолуције по даљини користи се унутаримпулсна фазна или фреквенцијска модулација, којом се спектар предајног сигнала шири и омогућава компресија импулса на пријему.

Нежељена последица проширења предајног импулса јесте и ширење тзв. *слепе зоне*  $D_z$  (blind zones). Наиме, на даљинама циља мањим од  $D_z$ , где је

$$D_z = \frac{c \cdot T_i}{2} \quad (1)$$

јавља се делимично замрачење његовог одјекса (с-брзина светлости), јер је предајник укључен а пријемник искључен (одјекци од циља настали од импулса који се тренутно предаје појављују се на улазу у пријемник који је блокиран јер предаја још није завршила). Ово подручје се означава као *прва зона замрачења* (eclipsing zone). Може се показати да постоји и *друга зона замрачења* која се налази иза номиналног инструменталног домета [1], а која је повезана са тренутком емитовања следећег предајног импулса, тј. настаје замрачење циљева чији се одјек од претходно послатог импулса враћа у тренутку емитовања новог импулса.

У раду [2] предложен је радар/сонар проширеног спектра са променљивим трајањем импулса као један

од могућих начина за превазилажење проблема замрачења код екстремно дугих импулса. Основна мотивација за рад на овом проблему дата је изворно у [1], а односи се на могућност детекције циљева који се налазе унутар слепе зоне (прва зона замрачења), као и на могућност повећања номиналног инструменталног домета на неку даљину унутар друге зоне замрачења.

Полазни захтев формулисан је у раду [2]: Формирати радарски сигнал који у задатом временском интервалу омогућава да свака позиција по даљини између минималне слепе зоне и максималног једнозначног домета буде бар једном "виђена" без замрачења. Минимална слепа зона одређује минималну дужину предајног импулса чији одјек неће бити замрачен, док је максимални једнозначни домет одређен периодом понављања импулса  $T_r$ .

У овом раду биће извршена анализа утицаја ефекта замрачења на одзив радарског компресионог филтера када се као предајни таласни облик користи поворка фазно кодованих импулса променљиве дужине трајања.

### 2. ЕФЕКАТ ЗАМРАЧЕЊА

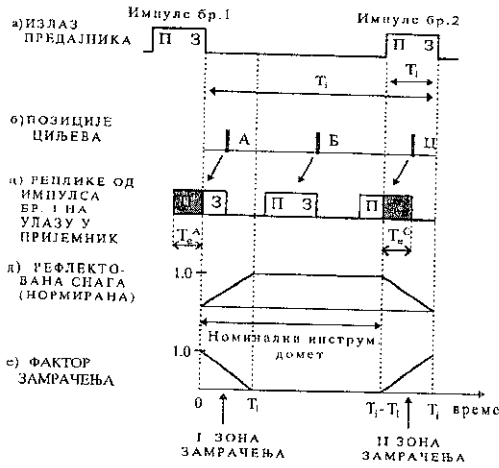
У импулсним радарима, одјек од циља може бити делимично или потпуно замрачен у зависности од релативног времена његовог доласка (у односу на предајни импулс). Замрачење се дефинише као ситуација када је стигао одјек од циља (сигнал реплике), а пријемник је искључен јер је укључен предајник [3,4,5]. На слици 1 приказан је ефекат замрачења сигнала реплике. Предњи и задњи део предајног и пријемног импулса означени су са П и З, респективно.

Циљеви А и Ц су делимично замрачени, док је циљ Б незаамрачен. Циљ А се налази у првој зони замрачења (одговара "слепом зони") а замрачен је због тога што се предњи део импулса бр. 1 (дужине трајања  $T_c^A$ ) после рефлексије од њега, нашао на улазу пријемника који је искључен, јер још траје емитовање задњег дела импулса бр. 1. Циљ Ц се налази у другој зони замрачења а замрачен је зато што се задњи део импулса бр. 1 (дужине трајања  $T_c^C$ ) после рефлексије од њега нашао на улазу у пријемник који је поново искључен јер је почела емисија импулса бр. 2.

Фактор замрачења  $E$  дефинисан је следећим изразом:

$$E = \frac{T_e}{T_i} \quad (2)$$

где је  $T_e$  трајање замраченог дела одјека. Одзиви филтера на одјеке из прве и друге зоне замрачења, за исту вредност фактора замрачења  $E$ , симетрични су (слика у огледалу). Промена фактора замрачења унутар импулсног периода дата је на слици 1.е, док је промена рефлектоване снаге дата на слици 1.д.



Слика 1. Ефекат замрачења

### 3. СТРУКТУРА ПАКЕТА ИМПУЛСА РАЗЛИЧИТОГ ТРАЈАЊА

Општи облик радарског сигнала са променљивим трајањем импулса дат је у раду [2]. За потребе анализе у овом раду, узећемо да је први импулс у поворци најкраћи, а да је задњи импулс најдужи. Такође ћемо узети да је сваки следећи импулс у поворци дужи од претходног, при чему инкремент дужине није униформан.

Иначе, у општем случају промена дужине трајања импулса може бити по неком другачијем редоследу, на пример: од дужег према краћем, или по псеудослучајном редоследу.

Оваква конфигурација пакета радарских импулса различитог трајања обезбеђује довољан домет дугим импулсима а краћим импулсима обезбеђује

видљивост на краћим растојањима, која би иначе, била у зони замрачења дугог импулса.

У овом раду ограничићемо се на разматрање утицаја ефекта замрачења на одзив пријемника за случај поворке фазно кодованих импулса различитог трајања (Слика 2), при чему ће се као кодне секвенце користити Баркерове бифазне секвенце као и полифазна РЗ секвенца. На слици 2 са  $T_{pi}$  је означено трајање подимпулса, са  $T_i$  је означено трајање  $l$ -тог импулса у поворци, са  $T_i$  је означена периода понављања импулса (PRI), са  $N$ -број подимпулса унутар једног импулса што одговара дужини кодне секвенце, са  $T_w$  - укупна дужина пакета импулса и са  $L$ - број импулса у пакету.

У првом случају који је анализиран у овом раду, сваки импулс из поворке од  $L=6$  импулса је унутаримпулсно кодован бифазном Баркеромовом секвенцом различите дужине. Прецизније, први импулс је кодован Баркеромовом секвенцом дужине 3 (трајање импулса је  $T_{i1}=3T_{pi}$ ), други је кодован секвенцом дужине 4 ( $T_{i2}=4T_{pi}$ ), трећи импулс је кодован секвенцом дужине 5 ( $T_{i3}=5T_{pi}$ ), четврти импулс је кодован секвенцом дужине 7 ( $T_{i4}=7T_{pi}$ ), пети секвенцом дужине 11 ( $T_{i5}=11T_{pi}$ ) и шести импулс је кодован најдужом Баркеромовом секвенцом ( $T_{i6}=13T_{pi}$ ).

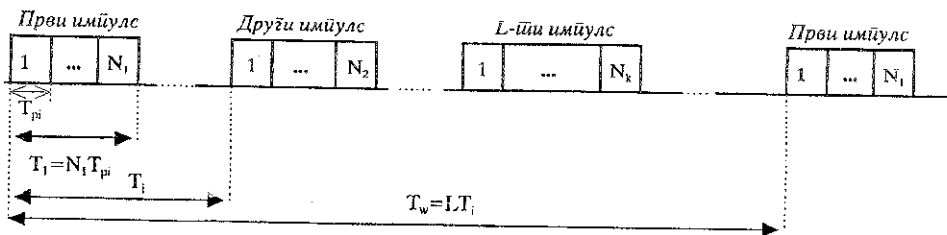
У другом случају, сваки импулс из поворке од  $L=5$  импулса је унутаримпулсно кодован полифазном РЗ секвенцом дужине 4, 9, 16, 25 и 36, респективно.

### 4. УТИЦАЈ ЕФЕКТА ЗАМРАЧЕЊА НА ОДЗИВ ПРИЈЕМНИКА

Структура пријемника за таласни облик у виду поворке импулса променљивог трајања предложена је у раду [2] и састоји се од банке прилагођених филтера на сваки импулс из поворке и линије за кашњење којом се остварује синхронизација одзива сваког појединачног филтера са осталим одзивима пре него што се изврши њихово сабирање.

У случају када постоји замрачење одјека од циља трајања  $T_e=N_e T_{pi}$  долази до ефективног скраћења дужине трајања рефлектованог сигнала на улазу у компресиони филтер, тако да његова дужина износи

$$T_{eC}=N_e T_{pi} - T_e = (N_e - N_e) T_{pi} \quad (3)$$



Слика 2. Пакет фазно кодованих радарских импулса променљиве дужине

У првом случају симулирана је ситуација када је усвојена минимална ширина слепе зоне једнака

$$D_{z, \min} = \frac{cT_e}{2} = \left(\frac{c}{2}\right) N_{ec} T_{pi} = \left(\frac{c}{2}\right) 3T_{pi} \quad (4)$$

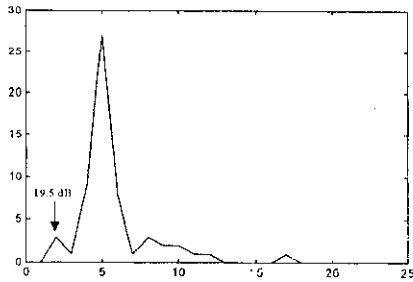
Дакле, одједи првог, другог и трећег импулса од циља који се налази на граници минималне слепе зоне биће незамрачени, док ће одједи четвртог, петог и шестог

импулса бити делимично замрачени тј. скраћени за првих 2, 6 и 8 подимпулса, респективно.

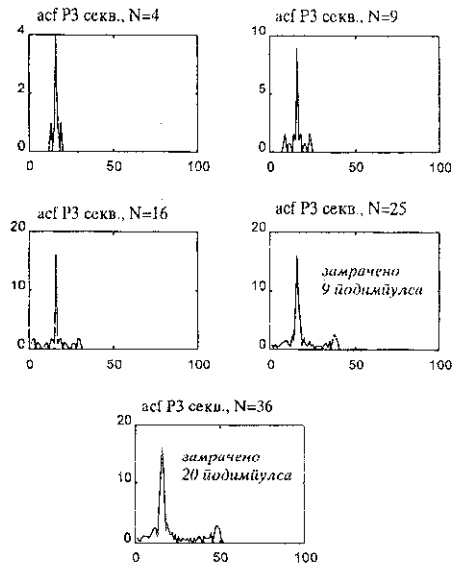
Аутокорелационе функције (acf) тј. одзиви прилагођених филтера из банке на појединачне импулсе из пакета дати су на слици 3, док је на слици 4 дат укупни одзив који је сума појединачних одзива.



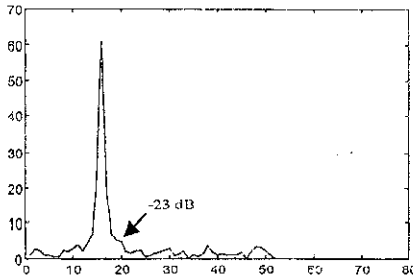
Слика 3. Одзиви појединачних прилагођених филтера на импулсе кодоване Баркером секвенцом за случај када је минимална зона замрачења одређена трајањем трећег импулса у поворци ( $T_3=5T_{pi}$ )



Слика 4. Сума одзива прилагођених филтера за поворку импулса кодованих Баркером секвенцама



Слика 5. Одзиви појединачних прилагођених филтера на импулсе кодоване P3 секвенцом за случај када је минимална зона замрачења одређена трајањем трећег импулса у поворци ( $T_3=16T_{pi}$ )



Слика 6. Сума одзива прилагођених филтера за поворку импулса кодованих P3 секвенцом