

Анализа функције неодређености делимично комплементарних Баркерових радарских сигнала променљиве дужине

Алекса Зејак, Слободан Симић, Игор Симић

Садржај — Један од начина превазилажења проблема следеће зоне радара може бити избор сложеног радарског сигнала који чини низ импулса променљиве ширине. У раду је анализирана функција неодређености једне класе ових сигнала, а то је низ импулса бифазно модулисаних различитим Баркеровим секвенцама. Њена основна карактеристика је квази-периодичност што није одлика функција неодређености класичних сигнала с појединачним Баркеровим секвенцама. То значи да је низ Баркерових секвенци осетљивији на Доплеров помак него појединачне секвенце. Међутим, у области једнозначног мерења Доплерове фреквенције, оваквом обрадом сигнала знатно више се потискују бочни снопови компресионог филтра него било којим другим начином кад се користе појединачне секвенце.

Кључне речи — функција неодређености, делимично комплементарне секвенце, компресија импулса.

I. УВОД

ПРОЈЕКТАНТИ савремених радара и сонара и даље се непрекидно суочавају с контрадикторним захтевима: максимални домет, максимална резолуција по даљини, минимална снага предајника.

Ови захтеви могу бити истовремено задовољени употребом импулса с великим ТВ (*Time Bandwidth*) производом [2, 3]. Овај поступак назван је ширењем спектра у телекомуникацијама, а компресијом импулса у радарској/сонарској техници.

Максимални домет радара одређен је укупном израченом енергијом, која зависи од дужине предајног импулса. Међутим, дужи импулс повећава слепу зону радара, која се још и назива зоном замрачења, било да је примењена компресија импулса или не.

Могућност смањења зоне замрачења код радара са линеарно фреквенцијски модулисаним сигналом (чирп) разматрана је у раду [4].

У раду [1] предложен је радар/сонар заснован на облику сигнала са променљивим трајањем, као могућим решењем за превазилажењем овог проблема. У овом раду анализирана је функција неодређености једне класе оваквих сигнала, где су импулси из поворке бифазно модулисани Баркеровим секвенцама

Алекса Зејак, РТ-РК истраживачко-развојни институт, Фрушкогорска 11, Нови Сад, zejak.aleksa@rt-rk.com

Слободан Симић, Војна академија, Генерала Павла Јуришића Штурма 33, Београд, slobodansimic@sbb.rs

Игор Симић, Ericsson d.o.o, Владимира Поповића 6, Београд, igor.simic@ericsson.com

дужина 3, 4, 5, 7, 11 и 13. На основу функције неодређености испитана је осетљивост овог начина обраде сигнала на Доплеров помак. Дефинисан је интервал Доплерових фреквенција у којем исти даје значајно боље резултате од примене појединачне Баркерове секвенце дужине 13, која даје најбољи резултат међу појединачним секвенцама.

II. НИЗ ИМПУЛСА ПРОМЕНЉИВЕ ШИРИНЕ

Уобичајени облик радарског сигнала с променљивом ширином импулса приказан је на Сл.1.а. Аналитички израз којим је одређен један овакав сигнал $\mu(t)$, дат је једначином (1):

$$\mu(t) = \frac{1}{\sqrt{LT_l}} \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^{N_k} \mu_{T_l}^{q_{l,n}}(t - lT_R - nT_{pi}) \quad (1)$$

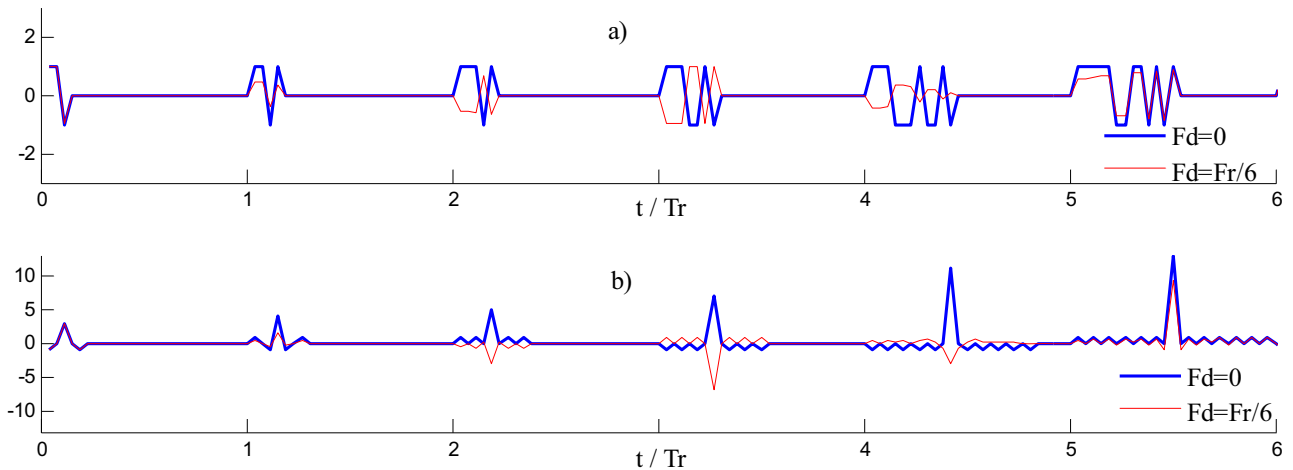
са следећим параметрима:

- L - број импулса у низу
- T_l - ширина l -тог импулса
- N_k - број подимпулса у l -тог импулсу
- $q_{l,n}$ - кодни симбол n -тог подимпулса у l -тог импулсу
- T_R - период понављања импулса (PRI)
- T_{pi} - ширина подимпулса
- $\mu_{T_l}^{q_{l,n}}(t)$ - јединични импулс трајања T_{pi}

Не умањујући општост, претпоставићемо да је први у низу најужи импулс, ширине T_l , а да је последњи у низу најшири импулс: $T_{max}=T_L$. Даље, претпоставићемо да се ширине појединачних импулса у низу повећавају, при чему никоја два немају једнаку ширину.

Уопштено, редослед импулса може се мењати и по некој другој шеми, нпр: од најширег ка најужем или по псеудослучајном распореду. Важно је да изабрани радарски сигнал омогућује довољан домет радара (постиге се приликом емитовања најширег импулса), док најужи импулси обезбеђују видљивост циља на кратким растојањима. Када су у низу само дугачки импулси, циљеви на кратким растојањима могу бити „замрачени“.

Овим типом радарских сигнала може се направити добар компромис између домета и временске контроле осетљивости. Да бисмо детектовали циљ на краћем растојању под истим условима детекције као циљ исте рефлексне површине али на већем растојању, потребно је смањити израчену енергију.



Сл.1. а)Ехо импулси од непокретног и од покретног циља и б)одзиви одговарајућих компресора

У раду [1] предложена је шема пријемника за овакав тип сигнала, која се може схватити и као класична видео интеграција низа импулса. Пријемник се састоји од 6 компресора, прилагођених за сваку Баркерову секвенцу појединачно, 6 линија за кашњење и једног сабирача. На Сл.1.б приказани су одзиви појединачних компресионих филтара, пре уласка у линије за кашњење.

Прво је симулирано присуство непокретног циља, који не узрокује Доплеров помак F_d , у ехо сигналу. У другом случају претпоставили смо присуство покретног циља, који узрокује Доплеров помак $F_d = F_r/6$, при чему је F_r фреквенција понављања импулса, $F_r = 1/T_r$.

На Сл.2 приказана је апсолутна вредност импулса на излазу из пријемника [1], кад је на улазу ехо сигнал од непокретног односно покретног циља.

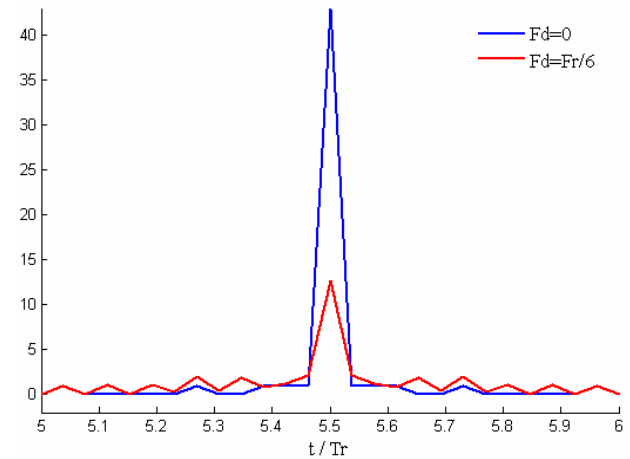
Са Сл.1 и Сл.2 можемо уочити да кад нема Доплеровог помака, сви главни лобови одзива појединачних компресора имају исти предзнак, док бочни лобови узимају вредности из скупа $\{\pm 1\}$. Приликом сабирања свих одзива, амплитуда главног лоба се повећава. Неки од бочних лобова се међусобно поништавају, а амплитуда осталих се не повећава, што као крајњи резултат даје потиснутост бочних лобова на ниво од $-32,67$ dB у односу на главни. Са једном Баркеровом секвенцом, у најбољем случају може се постићи ниво бочних лобова од $-22,28$ dB (Баркер 13).

Када је у ехо сигналу изражен Доплеров помак, који у овом случају износи $F_d = F_r/6$, видимо да главни лобови одзива појединачних компресора немају исти предзнак, већ се исти мења у ритму Доплерове фреквенције. Бочни лобови имају вредности различите од $\{\pm 1\}$. Приликом сабирања свих одзива, амплитуда главног снопа је знатно мања него у претходном случају, а ниво бочних снопова је порастао. Да би одзив оваквог пријемника био прихватљив, главни лобови морају бити истог предзнака, јер се у том случају и знатан број бочних лобова поништава. То значи да полупериод Доплеровог сигнала не сме бити дужи од поворке од 6 секвенци, односно $6 \cdot T_r$.

Ово тврђење можемо исказати следећом релацијом:

$$-F_r/12 \leq F_d \leq F_r/12 \quad (2)$$

Релацију (2) потврдићемо симулацијом у следећем одељку, где ће предмет анализе бити функција неодређености сигнала дефинисаног изразом (1).



Сл.2. Одзив прилагођеног пријемника са интеграцијом низа импулса

III. АНАЛИЗА ФУНКЦИЈЕ НЕОДРЕЂЕНОСТИ

Одзив прилагођеног филтера на доплеровски померен радарски сигнал често се у литератури назива и Доплеровим пресеком *функције неодређености* на фреквенцији F_d . Помоћу ове дводимензионалне функције могу се објаснити многе особине радарских сигнала.

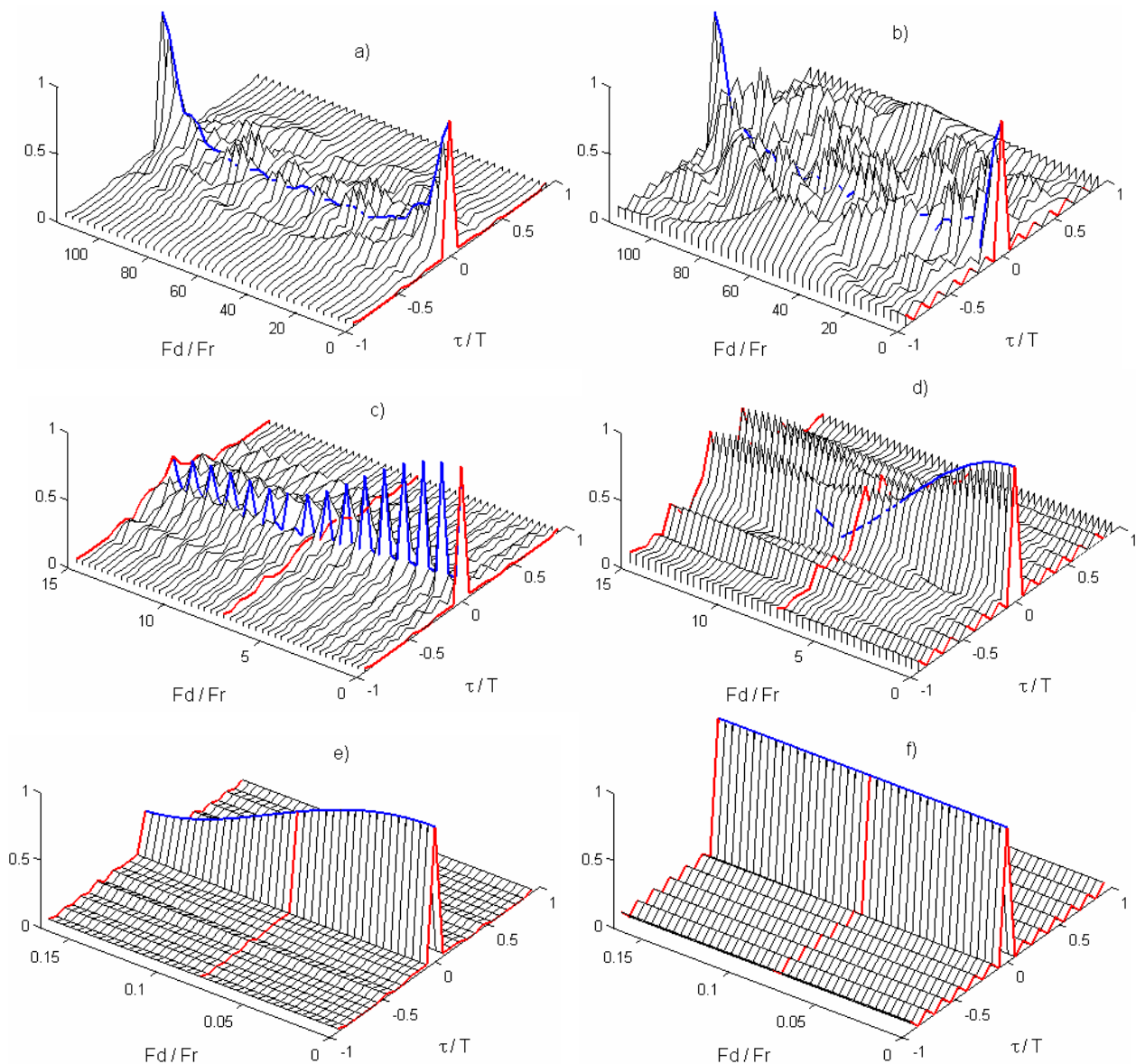
Функција неодређености континуалног сигнала $s(t)$, дата је изразом:

$$A(\tau, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s^*(t - \tau) e^{j2\pi\nu t} dt \quad (3)$$

У дискретном домену, ову функцију можемо схватити као скуп кроскорелација рачунатих при разним Доплеровим помацима узетим из одређеног скупа. Њен дискретни облик је:

$$A(n, m) = \sum_{k=1}^N s(k) s^*(n+k) e^{j\frac{2\pi}{N}mk} \quad (4)$$

$$n = -N+1, -N+2, \dots, N-1; \quad m = f_d T_s, m \in Z$$



Сл.3. Функције неодређености поворке импулса и појединачног импулса

На основу израза (4), генерисана је функција неодређености поворке импулса описане у претходном одељку. Ради поређења с најбољим случајем који се добија кад се примењују појединачне секвенце, генерисана је и функција неодређености импулса модулисаног Баркером секвенцом дужине 13. Функције су генерисане за различите интервале Доплерових помака, нормиране су по амплитуди на максималну вредност 1, а њихови облици су приказани на Сл.3.а–ф.

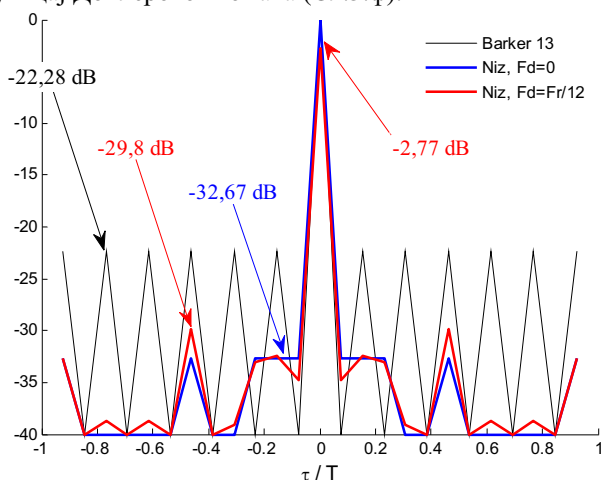
Црвеном бојом приказани су карактеристични пресеци по Доплеровој оси. Плавом бојом приказани су пресеци по временској оси за $\tau=0$, који описују зависност нивоа главног лоба одзива прилагођеног пријемника од Доплеровог помака. У симулацији су постављене следеће вредности параметара: $T_r=117 \cdot T_{pi}$, $T=T_{max}=13 \cdot T_{pi}$. Пошто је ширина спектра низа импулса обрнуто сразмерна с трајањем најужег подимпулса, $B=1/T_{pi}$, из овога следи да је $B=117 \cdot F_r$.

Због тога је за почетак изабран широк опсег Доплерових фреквенција $[0, B]$. Амплитуда функције

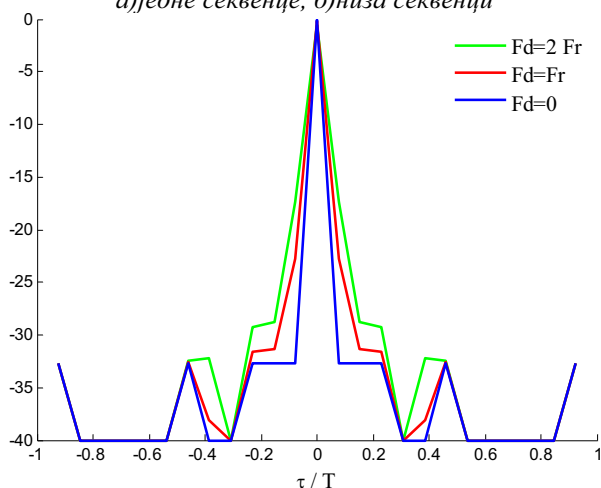
неодређености поворке импулса из (1) приказана је на Сл.3.а, а импулса модулисаног Баркером секвенцом дужине 13, на Сл.3.б. Видимо да су на овако широком скупу Доплерових фреквенција обе функције сличне по облику. У оба случаја главни лоб исчезава кад вредност F_d постане неколико пута већа од F_r . Тада бочни лобови постају доминантни. Максимум главног лоба се појављује на Доплеровој оси с периодом B .

Обзиром да се радари пројектују тако да имају што мање „слепих брзина“, максимални Доплерови помаци најчешће износе неколико F_r , при чему је мерење брзине вишезначно. Због тога смо функције неодређености наведених типова сигнала, израчунали на ужем опсегу Доплерових фреквенција $[0, 15F_r]$. Основна карактеристика функције неодређености низа импулса на овом опсегу је квази-периодичност главног лоба по Доплеровој оси, с периодом једнаким периоду понављања импулса (Сл.3.ц). Ту одлику нема функција неодређености класичног сигнала с Баркером секвенцом дужине 13 (Сл.3.д). Ова појава није добра јер се појављују изразити локални

минимуми главног лоба између двају умножака F_r . То значи да је низ Баркерових секвенци осетљивији на Доплеров помак него појединачне секвенце што смо и очекивали анализирајући Сл.1 и Сл.2 у претходном одељку. Изузетно, када се не толерише ниједна „слепа брзина“, мерење брзине постаје једнозначно, а F_d не излази ван опсега $[-F_r/2, F_r/2]$. Како бисмо проверили тврђење (2) из претходног одељка, израчунали смо функције неодређености наведених типова сигнала у опсегу Доплерових фреквенција $[0, 1/6 \cdot F_r]$. Основна одлика функције неодређености низа импулса на овом опсегу је опадање главног лоба по Доплеровој оси, али уз истовремено низак ниво бочних лобова (Сл.3.е). У функцији неодређености Баркерове секвенце дужине 13, на овом интервалу, не примећујемо значајнији утицај Доплеровог помака (Сл.3.ф).



Сл.4. Доплерови пресеци ϕ -је неодређености а)једне секвенце, б)низа секвенци



Сл.5. Доплерови пресеци ϕ -је неодређености низа Баркерових секвенци

Да би се боље уочио утицај Доплеровог помака на одзив прилагођеног пријемника с интеграцијом низа импулса, на Сл.4 приказани су Доплерови пресеци функција неодређености са Сл.3.е и Сл.3.ф. Када је $F_d = F_r/12$, главни лоб одзива прилагођеног пријемника је опао за 2,77 dB, а бочни лобови су порасли за приближно исти износ. Међутим, то је још увек значајно бољи резултат него код појединачне Баркерове секвенце дужине 13. При већим

Доплеровим помацима, опадање главног лоба постаје изражено, а притом бочни лобови расту.

Због квази-периодичности, функција неодређености низа Баркерових секвенци испољава слично понашање око неколико првих умножака F_r , али уз лошије резултате. На Сл.5 приказани су Доплерови пресеци функције са Сл.3.ц, на прва 2 умношка F_r . Приметно је издизање блиских бочних лобова и ширење главног лоба уз његово незнатно смањење.

IV. ЗАКЉУЧАК

Оваквим начином обраде сигнала опсег једнозначног мерења Доплерових фреквенција смањује 6 пута са $[-F_r/2, F_r/2]$ на $[-F_r/12, F_r/12]$, јер се период понављања импулса на излазу из пријемника повећава 6 пута. У овом опсегу, функција неодређености низа Баркерових секвенци има значајно боље карактеристике од функције неодређености било које појединачне секвенце.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је делимично реализован у оквиру пројеката које је финансирало Министарство за науку и технолошки развој републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Aleksa Zejak, "Radar waveforms with variable pulse duration utilising partial complementarity of barker's sequence set", у зборнику радова 49 конференција ЕТРАН, свеска 2, Будва 2005, стр. 109-112..
- [2] С.Е. Cook, М. Bernfeld, "Radars signals - an introduction to theory and application". Academic Press, New York, 1967.
- [3] А.В. Rihaczek, "Principles of high-resolution radar", McGraw-Hill, New York, 1969.
- [4] Zrnić, В.М., Zejak, Ј.А. "Target detection enhancement for the chirp radar in the eclipsing zone", Proc of IEEE International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications ISSSTA 2000, New Jersey, Sept. 2000, pp.269-273.

ABSTRACT

Radar signal with variable pulse duration is a possible solution for overcoming the eclipsing problem in radars. In this paper the ambiguity function of Barker sequences train with variable lengths is analysed. Its main feature is quasi-periodicity. It isn't case when several Barker sequence is applied. It follow that Barker sequences train is more sensitive than several Barker sequence according to Doppler shift. However, sidelobe reduction with this method is much better than any other sidelobe reduction procedure for a single Barker sequence in an un-ambiguity Doppler shift range.

AN ANALYSIS OF THE AMBIGUITY FUNCTION OF PARTIAL COMPLEMENTARY BARKER RADAR SIGNALS WITH VARIABLE DURATION

Aleksa Zejak, Slobodan Simić, Igor Simić