

Adaptacija stripmap SAR algoritama za formiranje radarskih slika

Goran Antonijević, Slobodan Simić i Dimitrije Bujaković

Apstrakt— U ovom radu je opisan postupak adaptacije stripmap SAR algoritama za formiranje radarskih slika. Realizovana je simulacija SAR sirove slike, nakon čega su primenom Doppler Beam Sharpening (DBS) i Range Doppler (RD) algoritama formirane radarske slike generisane scene. Da bi glavne karakteristike kao i nedostaci navedenih algoritama došli do izražaja, u programu MATLAB su generisani ciljevi na jednakim udaljenostima po daljini i azimutu. Objašnjena je pojava varijacije dometa prilikom SAR snimanja, kao i nedostaci koji nastaju pri formiranju radarskih slika. Analiziran je uticaj varijacija daljine na Doppler Beam Sharpening i Range Doppler algoritme. Definisani su uslovi koji treba da budu zadovoljeni da formirana radarska slika ne bi imala određenih degradacija. Objašnjene su i primenjene adaptacije navedenih algoritama za formiranje radarskih slika u scenarijima kada dolazi do prekoračenja navedenih uslova. Na kraju je izvršeno poređenje slika dobijenih adaptacijom algoritama, sa izvorno formiranim radarskim slikama.

Gljučne reči— Synthetic Aperture Radar; Doppler Beam Sharpening; Range Doppler algoritam; Rezolucija po azimutu;

I. UVOD

“SYNTHETIC Aperture Radar” (SAR) je tehnika radarskog snimanja terena u dve dimenzije (daljina i azimut). Navedena tehnika snimanja ima veoma široku primenu u kartografiji, okeanografiji, izviđanju bojišta, klasifikaciji zemaljskih ciljeva, navođenju itd. Za razliku od fotografije, snimljena SAR slika je monohromatska i predstavlja kombinaciju crne i bele boje, kod koje su veći objekti označeni svetlijim nijansama sive boje dok su manji objekti tamniji, a ravne vodene površine predstavljaju potpuno crna polja. Najvažnija prednost SAR radarskih slika u odnosu na slike dobijene optoelektronskim senzorima je da kvalitet SAR slike i mogućnost snimanja ne zavise od doba dana i vremenskih uslova (oblačnost, magla, kiša i sl.) usled sopstvenog izvora zračenja SAR radara, za razliku od optoelektronskih senzora.

Rezolucija SAR slike predstavlja najmanju veličinu piksela koji predstavlja jedan cilj, gde rezolucija u osi daljine ΔR zavisi od širine spektra predajnog signala, dok rezolucija po azimutu ΔCR zavisi od dimenzije antene u osi azimuta D_{az} (1).

Goran Antonijević – 126.brVOJIN, Raška 2, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: kadet.anton@gmail.com).

Slobodan Simić – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: simasimic01@gmail.com).

Dimitrije Bujaković – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: dimitrije.bujakovic@va.mod.gov.rs).

$$\Delta CR_{antene} = \frac{R\lambda}{D_{az}} \quad (1)$$

Povećanjem D_{az} se poboljšava rezolucija po azimutu, ali takav princip poboljšanja rezolucije nije praktičan usled velikih dimenzija korišćene antene u odnosu na pokretnu platformu (avion ili bespilotna letilica). Umesto toga se koristi antena malih dimenzija koja se montira na avion i korišćenjem kretanja radarske platforme sintetiše se dugačak antenski niz dužine D_{SAR} , gde je $D_{SAR} \gg D_{az}$, duž kojeg se vrši prikupljanje eho impulsa i njihovim kombinovanjem se dobija visoka rezolucija u osi azimuta.

$$\Delta CR_{SAR} = \frac{R\lambda}{D_{SAR}} = \frac{R\lambda}{2VT_a} \quad (2)$$

Upravo iz razloga što se SAR slika dobija kombinovanjem više eho impulsa, snimana scena za vreme snimanja T_a ne bi trebala da se menja, na osnovu toga se zaključuje da se SAR radari upotrebljavaju za snimanje nepokretnih ciljeva.

SAR radari imaju dva moda rada *spotlight* i *stripmap*. U *spotlight* modu se vrši snimanje samo jednog određenog dela površine na taj način što se menja ugao nagiba antene duž D_{SAR} , tako da snimana površina bude konstantno ozračena duž D_{SAR} . U modu *stripmap* ugao nagiba antene se ne menja i na taj način se vrši snimanje kompletne površine koja je ozračena duž D_{SAR} .

U [1] su definisani uslovi za jednoznačno određivanje daljine i azimuta prilikom formiranja SAR radarskih slika, kao i mogućnosti da se primenom adekvatne obrade signala smanje potrebne dimenzije antene. Pored uobičajanog pravolinijskog kretanja, radarska platforma može da vrši brzo manevrisanje. Tada je potrebno izvršiti definisanje modela predajnog signala u domenu talasnog broja i odrediti spektralne karakteristike predajnog signala u zavisnosti od tipa manevra, kao što je objašnjeno u [2]. Usled ograničene frekvencije ponavljanja impulsa i usled nedostataka u modelovanju antene dolazi do neodređenosti u određivanju azimuta ciljeva u stripmap modu, pa je na osnovu toga u [3] definisan metod “asimetričnog mapiranja i selektivnog skaliranja” kojim se navedena nejednoznačnost nadomešćuje. U [4] je predložen metod prostornog intenziteta uz primenu CFAR detektora kod HR-SAR sistema za detekciju brodova. Uticaj dekomponovane transfer funkcije na korekciju greške azimuta kod satelitskih SAR sistema je objašnjen u [5] gde je korišćena aproksimacija stacionarne faze.

Rad je organizovan po sledećem: u delu II dat je opis i

karakteristike algoritama za formiranje radarskih slika. Deo III je posvećen nedostacima algoritama za formiranje radarskih slika i uslovima koji određuju navedene nedostatke, dok su u delu IV objašnjeni postupci i dati rezultati adaptacija algoritama za formiranje radarskih slika. Nakon ovoga, dat je zaključak, kao i smer daljih istraživanja.

II. ALGORITMI ZA FORMIRANJE RADARSKIH SLIKA

Kao posledica kretanja radarske platforme dolazi do varijacije daljine do posmatranog cilja duž sintetičkog otvora antene. Obrazac za daljinu zavisno od položaja radara u odnosu na cilj $R(u)$ je dat sledecim izrazom [6]:

$$R(u) = R_p + \frac{u^2}{2R_p} - u \frac{x_p}{R_p} + \frac{x_p^2}{2R_p} \quad (3)$$

Gde je $u=Vt$ položaj radara na x osi duž koje se kreće platforma, R_p udaljenost od radara do cilja u trenutku kada se radar nađe u pravcu posmatranog cilja a x_p je položaj posmatranog cilja na x osi.

Na osnovu (3) uočava se da $R(u)$ aproksimativno ima oblik kvadratne funkcije tokom vremena snimanja T_a (vreme za koje se cilj nalazi u snopu antene, dok se ona kreće duž x ose). Kako je faza prijemnog impulsa pomerena u odnosu na fazu predajnog impulsa proporcionalno daljini $R(u)$, zaključuje se da će apsolutna vrednost faze prijemnog signala, za vreme snimanja T_a , varirati po kvadratnom zakonu. Navedena kvadratna promena faze, duž ose "sporog protoka vremena" (osa azimuta), odgovara linearnoj frekvencijskoj modulaciji (LFM), koja širi prostorni spektar i obezbeđuje visoku rezoluciju duž ose azimuta [7], na osnovu toga se zaključuje da je navedena modulacija indukovana promenom geometrije usled kretanja radarske platforme. Pored uticaja na rezoluciju po azimutu, varijacije u merenju daljine unose i određene nedostatke. Naime navedene varijacije se u literaturi [6] nazivaju "Varijacije daljine". One se mogu podeliti u dve vrste, "Pomeraj daljine" ΔR_w i "Izobličenje daljine" ΔR_c . "Pomeraj daljine" predstavlja razliku između udaljenosti od početka sintetičkog otvora do cilja i udaljenosti od kraja sintetičkog otvora do cilja i ima maksimalnu vrednost kada se cilj nalazi na krajevima površine ozračene radarom:

$$\Delta R_w = \frac{VT_a}{R_p} x_p \quad (4)$$

Navedeni izraz za "Pomeraj daljine" predstavlja linearni član izraza za daljinu $R(u)$ iz (3), gde je $VT_a = U$. "Izobličenje daljine" predstavlja varijaciju kvadratnog člana izraza za daljinu, i ima maksimum u $u = \pm D_{SAR}/2$, a minimum u u :

$$\Delta R_c = \frac{V^2 T_a^2}{8R_p} \quad (5)$$

Navedene varijacije daljine kod određenih SAR algoritama uzrokuju degradiranje formiranih radarskih slika. Iz tog razloga, da bi radarska slika verno predstavljala ozračenu

površinu, potrebno je izvršiti određene adaptacije algoritama za formiranje radarskih slika.

Postupak i kvalitet formiranja radarske slike zavisi od primenjenog algoritma. Algoritmi se razlikuju po mogućnosti rezolucije po azimutu, osetljivosti na promenu noseće frekvencije, računskoj složenosti itd. U ovom radu su analizirana dva bazična algoritma kod stripmap SAR snimanja - "Doppler Beam Sharpening" (DBS) i "Range Doppler" algoritam (RD).

A. "Doppler Beam Sharpening" algoritam

Doppler Beam Sharpening (DBS) je prvi algoritam koji je korišćen kod SAR. Glavna karakteristika ovog algoritma je činjenica da je vreme snimanja T_a konstantno za sve vrednosti daljina R na osnovu ovoga se može zaključiti da se rezolucija po azimutu ΔCR menja i da je proporcionalna daljini R . Na osnovu toga može se reći da se DBS algoritam koristi za relativno gruba snimanja zbog loše rezolucije po azimutu, dok rezolucija po daljini zavisi jedino od širine spektra predajnog signala. DBS algoritam zanemaruje kvadratni član u izrazu za daljinu, i tada se faza prijemnog signala dobija pomoću sledećeg obrasca:

$$\phi(u) \approx -\left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \cdot \left(R_p - u \frac{x_p}{R_p} + \frac{x_p^2}{2R_p}\right) \quad (6)$$

Kada se uvede smena $u=Vt$, Doplerova frekvencija se dobija na sledeći način [10]:

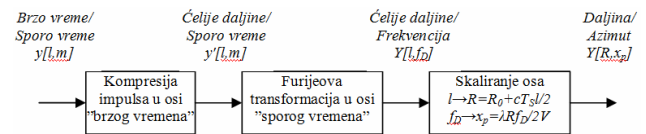
$$f_D = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\partial \phi(t)}{\partial t} \quad (7)$$

Na osnovu toga dobija se odnos između Doplerove frekvencije i položaja cilja u osi azimuta:

$$x_p = \frac{\lambda R_p}{2V} f_D \quad (8)$$

Naime DBS algoritam po osi daljine vrši prilagođenu filtraciju, gde podaci ostaju u vremenskom domenu dok po osi azimuta vrši Furijeovu transformaciju podataka, nakon čega se radi skaliranje na osnovu izraza (8) kojim se vrši transformacija frekvencije u daljinu.

DBS algoritam je ilustrovan na sl. 1.



Sl. 1. Blok diagram Doppler Beam Sharpening algoritma.

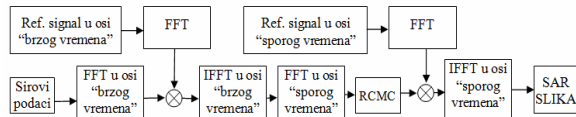
B. "Range Doppler" algoritam

Range Doppler (RD) je algoritam koji obzbeđuje značajno bolju rezoluciju po azimutu u odnosu na DBS algoritam. Glavna karakteristika ovog algoritma jeste da je rezolucija po

azimutu ΔCR konstantna a da se vreme snimanja Ta menja srazmerno dometu R . Iz tog razloga navedeni algoritam je pouzdaniji za visokorezoluciona snimanja. Naime RD algoritam se realizuje pomoću dvodimenzionalne prilagođene filtracije (po daljini i po azimutu).

Kao što je već ranije navedeno, trenutna daljina do cilja, duž ose azimuta se menja po kvadratnom zakonu i kod RD algoritma uzrokuje grešku u merenju daljine koja se u [8] naziva "Range cell migration" (RCM). Iz tog razloga je kod RD algoritma pored dvodimenzionalne prilagođene filtracije potrebno primeniti i korekciju daljine koja se naziva "Range cell migration correction" (RCMC). Navedena korekcija daljine se primenjuje u "Range/Doppler" domenu (po kojem je ovaj algoritam dobio ime) gde se podaci duž ose "brzog vremena" nalaze u vremenskom domenu a podaci duž ose "sporog vremena" nalaze u frekvencijskom domenu. Nakon toga primenom IFFT duž ose "sporog vremena" se dobija radarska slika.

RD algoritam je ilustrovan na sl. 2.



Sl. 2. Blok diagram Range Doppler algoritma.

III. NEDOSTACI ALGORITAMA ZA FORMIRANJE RADARSKIH SLIKA

DBS i RD algoritmi za formiranje radarskih slika se razlikuju u uticaju varijacije daljine na ove algoritme. DBS algoritam ima lošu rezoluciju po azimutu a pored toga je podložan uticaju ovih varijacija. Jedna od ovih varijacija daljine predstavlja "pomeraj daljine". Ovaj oblik varijacije neće imati uticaj na formiranje slike samo ukoliko eho impuls od jednog cilja, duž sintetičkog otvora antene, ostane u istoj rezolucionoј ćeliji daljine. Drugim rečima, kako bi ovaj uslov bio ispunjen, potrebno je da "pomeraj daljine" bude manji od polovine rezolucione ćelije po daljini. Odavde sledi prvi uslov za pravilno formiranje radarske slike kod DBS algoritma:

$$X \leq \frac{\Delta CR^2}{\lambda} \quad (9)$$

Gde je X maksimalna širina scene snimanja, ΔCR rezolucija po azimutu a λ talasna dužina. Navedena maksimalna širina scene snimanja se dobija na sledeći način:

$$X = \frac{\lambda R_p B}{4V} \quad (10)$$

Gde je B maksimalna širina prostornog spektra prijemnog signala i dobija se na osnovu (11):

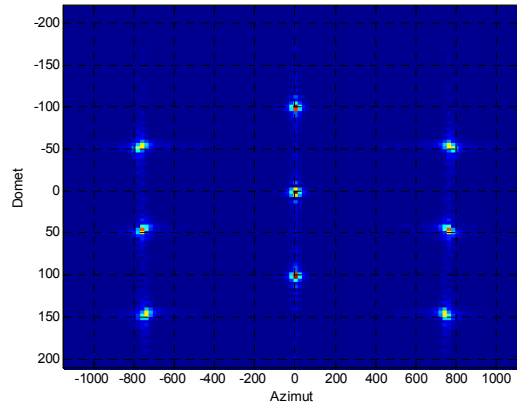
$$B = \frac{2V}{D_{az}} \quad (11)$$

Izraz (9) predstavlja uslov koji je potrebno ispuniti kako ne bi došlo do "zakrivljenja" ciljeva duž ose azimuta. "Izobličenje daljine", kao drugi oblik varijacije dometa se odnosi na varijaciju kvadratne komponente faze prijemnog signala duž ose azimuta. Da "Izobličenje daljine" ne bi uticalo na pravilno formiranje radarske slike potrebno je da greška kvadratne komponente faze bude manja od $\pi/2$. Na osnovu toga dobijamo drugi uslov kod DBS algoritma:

$$\Delta CR \geq \frac{1}{2} \sqrt{\lambda R} \quad (12)$$

Jednačina (12) predstavlja uslov koji treba da bude ispoštovan da ne bi došlo do "zamućenja" ciljeva u osi azimuta. Nakon analize izraza za ΔR_w i ΔR_c , zaključuje se da navedene varijacije daljine zavise od brzine kretanja radarske platforme V , vremena snimanja Ta , i udaljenosti do cilja R . Pošto je kod DBS algoritma Ta konstantno, usled opadanja daljine do cilja R i usled povećanja brzine kretanja radarske platforme V dolazi do izraženih degradacija radarskih slika.

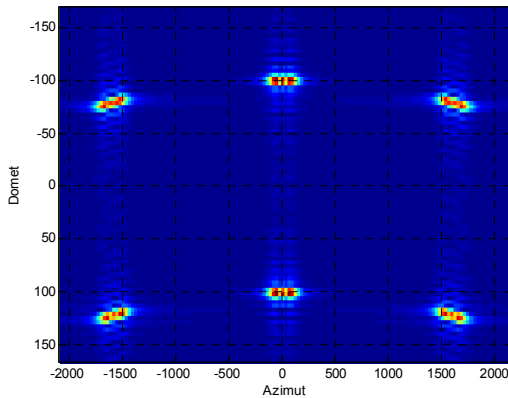
U naredna dva primera će biti prikazano testiranje DBS algoritma. U prvom primeru je izvršena simulacija 9 ciljeva čiji su kordinatni parovi, koji predstavljaju azimut i daljinu, (800 m, 100 m), (800 m, 0 m), (800 m, -100 m), (0 m, 100 m), (0 m, 0 m), (0 m, -100 m), (-800 m, 100 m), (-800 m, 0 m) i (-800 m, -100 m). Naime koordinatni par (0 m, 0 m) predstavlja centar snimane površine po osi daljine i po osi azimuta. Za generisanje SAR radarske slike navedenih ciljeva zadate su sledeće vrednosti parametara: Noseća frekvencija $f_c=1$ GHz, brzina kretanja platforme $V=50$ m/s, udaljenost antene od centra snimane scene $R=7000$ m, vreme snimanja $Ta=1$ s. Na osnovu zadatih parametara, pomoću (2) dobija se da je $\Delta CR=21$ m, $\sqrt{\lambda R}/2=22.9$ m, na osnovu (8) se dobija da je $X=2100$ m a da je $\Delta CR^2/\lambda=1470$ m. Na osnovu dobijenih vrednosti zaključuje se da nisu ispoštovani usovi (9) i (12). Na Sl. 3 je prikazana radarska slika dobijena na osnovu zadatih parametara.



Sl. 3. Radarska slika dobijena pomocu DBS algoritma.

Analizom Sl. 3 može se primetiti da je prilikom generisanja SAR radarske slike došlo do greške prilikom određivanja daljine, zamućenja i zakrivljenja ciljeva u osi azimuta, osim za ciljeve koji se nalaze na azimutu 0, gde jedino oni imaju tačno određenu daljinu i nalaze se tačno na zadatim vrednostima azimuta.

U drugom primeru je izvršena simulacija 6 ciljeva čiji su kordinatni parovi, koji predstavljaju azimut i daljinu, (1600 m, 100 m), (0 m, 100 m), (-1600 m, 100 m), (1600 m, -100 m), (0 m, -100 m), (-1600 m, -100 m). Za generisanje SAR radarske slike navedenih ciljeva u drugom primeru su zadate sledeće vrednosti parametara: Noseća frekvencija $f_c=1$ GHz, brzina kretanja platforme $V=150$ m/s, udaljenost antene od centra snimane scene $R=15000$ m, vreme snimanja $T_a=1$ s. Na osnovu zadatih parametara, pomoću (2) dobija se da je $\Delta CR=15$ m, $\sqrt{\lambda R}/2=33.5$ m, na osnovu (10) se dobija da je $X=4500$ m i $\Delta CR^2/\lambda=750$ m. Na osnovu dobijenih vrednosti zaključuje se da nisu ispoštovani usovi (9) i (12). Na Sl. 4 je prikazana radarska slika dobijena na osnovu zadatih parametara.



Sl. 4. Radarska slika dobijena pomocu DBS algoritma.

Na Sl. 4 vidimo da je prilikom generisanja SAR radarske slike došlo do greške prilikom određivanja daljine osim za ciljeve koji se nalaze na azimutu 0, koji imaju tačno određenu daljinu. Pored ovoga, može se primetiti i izraženo zamućenje ciljeva u osi azimuta.

U prvom primeru generisanja SAR slike pomoću DBS algoritma, do prekoračenja uslova (9) i (12) je došlo promenom udaljenosti antene od centra snimane scene (R), dok je u drugom primeru do prekoračenja uslova došlo promenom vrednosti brzine radarske platforme (V). Značajno je napomenuti da je u drugom primeru uzrok izuzetno izraženog zamućenja ciljeva u odnosu na njihovo zakrivljenje, uticaj povećanja brzine kretanja (V), jer je činjenica da u izrazu (4), koji unosi zakrivljenje ciljeva figurira V , dok u izrazu (5), koji unosi zamućenje ciljeva figurira V^2 .

Kod RD algoritma je značajna činjenica da je rezolucija po azimutu ΔCR konstantna što govori da se vreme snimanja T_a menja srazmerno daljini R . Na osnovu (4) zaključuje se, da

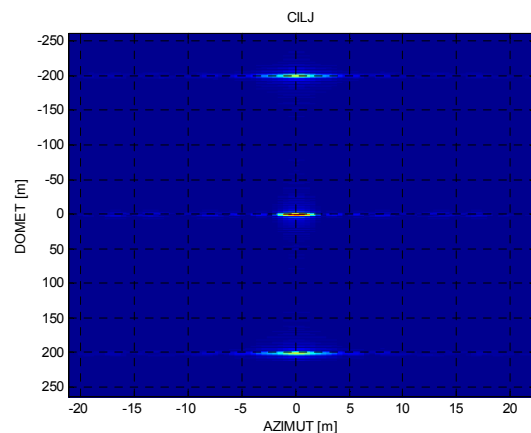
kod RD algoritma, promenom R se ne utiče na zakrivljenost ciljeva po azimutu i tada je $\Delta R w = const$. Ali kada se analizira (5) može se zaključiti da promena R nije srazmerna promeni T_a^2 i u tom slučaju $\Delta R c$ nije konstantna, što govori da se promenom R kod RD algoritma utiče na zamućenje ciljeva u osi azimuta [9].

RD algoritam daje uzak pik na izlazu iz prilagođenog filtra za ciljeve koji se nalaze u okolini dometa R_p , koji je zadat u njegovom referentnom signalu u osi daljine. Ako se snimana površina značajno poveća u osi daljine, sa povećanjem udaljenosti od sredine scene dolazi do navedenog zamućenja ciljeva u osi azimuta, jer se time razdešava prilagođeni filter, dok će ciljevi u centru ozračene površine biti dobro fokusirani. Naime, dubina scene u osi daljine, nad kojom može da se primeni RD algoritam bez značajnijeg zamućenja ciljeva u osi azimuta, se naziva “Depth of focus” (DOF) [6] i definisan je kao:

$$DOF = \frac{4(\Delta CR)^2}{\lambda} \geq SD \quad (13)$$

Ukoliko je dubina scene “Swath depth” (SD), veća od DOF, dolazi do zamućenja ciljeva u osi azimuta.

U trećem primeru je izvršena simulacija 3 cilja čiji su kordinatni parovi, koji predstavljaju azimut i daljinu, (0 m, 200 m), (0 m, 0 m), (0 m, -200 m). Za generisanje SAR radarske slike navedenih ciljeva pomoću RD algoritma, zadate su sledeće vrednosti parametara: Noseća frekvencija $f_c=2$ GHz, brzina kretanja platforme $V=500$ m/s, udaljenost antene od centra snimane scene $R=30000$ m, dužina antene u osi azimuta $L_a=3.5$ m. Na osnovu zadatih parametara, pomoću (2) se dobija da je $\Delta CR=1.97$ m, dubina scene (SD) je određena položajem ciljeva i iznosi 400 m i dubina fokusa se dobija na osnovu (13) i iznosi $DOF=104$ m. Na osnovu dobijenih vrednosti zaključuje se da nije ispoštovan uslov (13). Na Sl. 5 je prikazana radarska slika dobijena pomoću RD algoritma na osnovu zadatih parametara.



Sl. 5. Radarska slika dobijena pomocu RD algoritma.

Na Sl. 5 se vidi da je došlo do zamućenja ciljeva u osi

azimuta koji su udaljeni od centra scene.

IV. REZULTATI ADAPTACIJA ALGORITAMA ZA FORMIRANJE RADARSKIH SLIKA

Primena SAR sistema sa navedenim algoritmima, vrlo često ne zadovoljava uslove (9) i (12). Ključni parametri za formiranje radarske slike zavise od mnogih faktora i ne mogu se prilagoditi zadovoljenju postavljenih uslova. Iz tog razloga je potrebno izvršiti adaptacije navedenih algoritama da bi formirana radarska slika verno predstavljala snimanu površinu, gde će kvalitet formirane radarske slike biti nezavistan od ispunjenja postavljenih uslova.

Pojava zakrivljenja ciljeva u osi azimuta kod DBS algoritma nastaje usled skaliranja ose azimuta na osnovu jednačine (8) gde figurira vrednost R_p koja predstavlja udaljenost od radara do centra snimane scene.

Ciljevi koji se nalaze na različitim vrednostima azimuta će imati drugačije vrednosti Doplerovih frekvencija f_D i daljina R u odnosu na cilj koji se nalazi u centru scene. Pošto se za skaliranje svih vrednosti Doplerovih frekvencija, koristi jedna ista udaljenost od radara do centra scene R_p , skalirane vrednosti x_p neće imati tačne vrednosti. Navedeni nedostatak se nadomešćuje tako što će se, za svaku vrednost rezolucione ćelije po daljini, vršiti skaliranje odgovarajuće frekvencije sa odgovarajućom vrednosti daljine R' .

Greška u određivanju dometa se otklanja računanjem pomeraja za svaku vrednost rezolucione ćelije:

$$R'' = \sqrt{R^2 + x_p^2} \quad (14)$$

Nakon računanja greške u određivanju dometa unosi se pomeraj kolona daljine za svaku rezolucionu ćeliju po azimutu za $R''-R$.

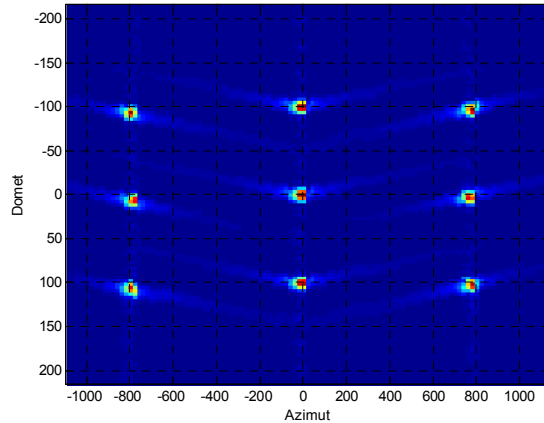
Zamućenje ciljeva u osi azimuta je direktna posledica varijacije faze u prijemnom signalu. Zamućenje se izbegava kompenzacijom kvadratne komponente faze prijemnog signala (15). Ova tehnika se naziva "Azimuth dechirp" [6] i primenjuje se nakon kompresije impulsa u osi daljine što je prikazano na Sl. 1.

$$y'[l, m] = y[l, m] \exp \left\{ j \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \left[\frac{v \left(m - \frac{M-1}{2} \right) T}{2 \left(R_0 + \frac{c(l-1)T}{2} \right)} \right]^2 \right\} \quad (15)$$

Gde je $y[l, m]$ predstavlja matricu snimljenih sirovih podataka, gde su sa l označeni semplovi u osi daljine a m semplovi u osi azimuta, Tf predstavlja interval semplovanja ose daljine, T interval semplovanja ose azimuta, R_0 udaljenost od radara do prve rezolucione ćelije po daljini, M broj semplova duž ose azimuta. Nakon primenjenih adaptacija na DBS algoritam i primene Blekmanove prozorske funkcije, koja omogućuje zadovoljavajuće potiskivanje bočnih lobova, dobijaju se radarske slike bez navedenih nedostataka.

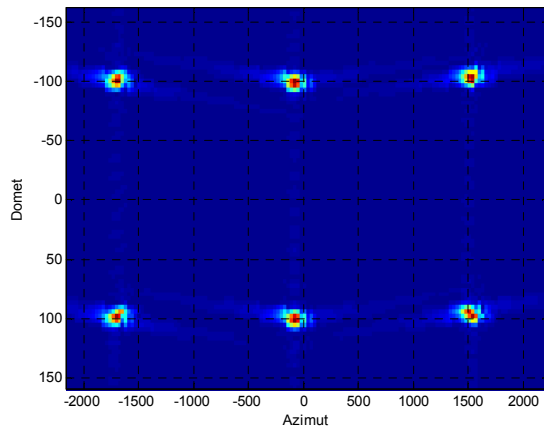
Na Sl. 6 je prikazana radarska slika dobijena primenom adaptacije DBS algoritma nad zadatim ciljevima i pod

uslovima koji su definisani u prvom primeru.



Sl. 6. Radarska slika dobijena nakon adaptacije DBS algoritma.

Na Sl. 7 je prikazana radarska slika dobijena primenom adaptacije DBS algoritma nad ciljevima i pod uslovima koji su definisani u drugom primeru.



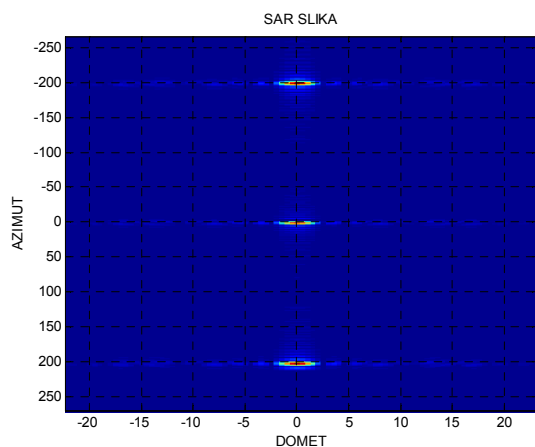
Sl. 7. Radarska slika dobijena nakon adaptacije DBS algoritma.

Na Sl. 6 i Sl. 7 ciljevi se nalaze na tačnim pozicijama po dometu i azimutu i bolje su fokusirani u odnosu na ciljeve na Sl. 3 i Sl. 4 koje su dobijene DBS algoritmom bez navedenih adaptacija.

Na osnovu Sl. 5 koja predstavlja radarsku sliku dobijenu primenom RD algoritma, vidi se da je došlo do zamućenja ciljeva u osi azimuta, koji su udaljeni od centra scene. Uzrok toga je činjenica da je maksimalna udaljenost između ciljeva (SD) skoro četiri puta veća od DOF. Da bi postavljeni uslov za DOF (13) bio ispoštovan potrebno je povećati rezoluciju po azimutu ΔCR , ili povećati predajnu frekvenciju f_c . Umesto promene navedenih vrednosti parametara, uslov za DOF može biti ispunjen na drugi način. Naime ako je dubina scene "Swath depth" N puta veća od DOF, potrebno je navedenu scenu podeliti na N delova u osi daljine "Subswath depth"

centriranih oko dometa R_{01} , $R_{02} \dots R_{0N}$. Nad svakim delom scene će se zasebno primeniti RD algoritam. U ovom slučaju neće biti zamućenja ciljeva u osi azimuta, jer je dubina svakog od N delova scene manja ili jednaka DOF. Radarska slika će se dobiti slaganjem N manjih radarskih slika dobijenih na prethodno naveden način.

Na Sl. 8 je prikazana radarska slika dobijena primenom adaptacije RD algoritma nad zadatim ciljevima i pod uslovima koji su definisani u trećem primeru.



Sl. 8. Radarska slika dobijena nakon adaptacije RD algoritma.

Na Sl. 8 može se primetiti da su udaljeni ciljevi od centra scene dobro fokusirani iako nije zadovoljen uslov (13). Jedini nedostatak ove adaptacije jeste računaska složenost, jer je potrebno N puta izvršiti RD algoritam u cilju dobijanja radarske slike sa dobrom rezolucijom.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazane su karakteristike DBS i RD algoritama na osnovu simulacija SAR radarskih slika. Analizirani su nedostaci koji nastaju prekoračenjem zadatih uslova u obliku zakrivljenja ciljeva, zamućenja ciljeva kao i greške u određivanju dometa kod DBS algoritma. Navedene su i objašnjene metode kojima su navedeni nedostaci nadomešteni. Pokazano je da je moguće dobiti radarsku sliku koja verno predstavlja snimanu površinu iako nisu ispunjeni uslovi zbog vrednosti osnovnih parametara kod SAR. Pored toga u navedenim simulacijama je primenjena Blekmanova prozorska funkcija kod adaptacija DBS algoritma. Najefikasniji rezultat adaptacije je dobijen kod RD algoritma, gde je bilo potrebno da se isti algoritam izvrši više puta kako bi se ostvarila dobra fokusiranost ciljeva u radarskoj slici. Sa druge strane, velika računaska kompleksnost ovog algoritma predstavlja njegovu manu. U nastavku istraživanja biće posvećena naročita pažnja drugim algoritmima za formiranje SAR radarske slike, pre svega „Range Migration“ algoritmu.

LITERATURA

- [1] X. V. Yang, V. M. Patel, A. P. Petropulu, "Spaceborne SAR antenna size reduction enabled by compressive sampling," IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), Washington DC, DC, USA, 7-9 Dec. 2016.
- [2] L. Weiping, H. Yang, T. Zongxi, "Analyses of signal characteristics of highly-maneuvering platform SAR and time-domain imaging method," Signal and Image Processing (ICSIP), IEEE International Conference on, Beijing, China, 13-15 Aug. 2016.
- [3] G. Di Martino, A. Iodice, D. Riccio, G. Ruello, "Filtering of Azimuth Ambiguity in Stripmap Synthetic Aperture Radar Images," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (Volume: 7, Issue: 9, Sept. 2014).
- [4] C. Wang, F. Bi, W. Zhang, L. Chen, "An Intensity-Space Domain CFAR Method for Ship Detection in HR SAR Images," IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters (Volume: 14, Issue: 4, April 2017).
- [5] K. Eldhuset, "High-resolution Spaceborne SAR Processing Using the Decomposed Transfer Function," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems (Volume: PP, Issue: 99), 27 March. 2017.
- [6] M.A. Richards, "Fundamentals of Radar Signal Processing," chapter 8, Georgia Institute of Technology, New York 2005.
- [7] B.R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB," chapter 12, Chapman & Hall/CRC, Huntsville, Alabama, 2000.
- [8] C. Romero, "High Resolution Simulation of Synthetic Aperture Radar Imaging," California Polytechnic State University, San Luis Obispo 2010.
- [9] M. Schlutz, "Synthetic Aperture Radar Imaging Simulated in MATLAB," California Polytechnic State University, San Luis Obispo 2009.
- [10] J.V. Zyl, Y. Kim, "Synthetic Aperture Radar Polarimetry" chapter 1, "Synthetic Aperture Radar (SAR) Imaging Basics," John Wiley & Sons, Hoboken 2011.

ABSTRACT

This paper describes the process adaptation of stripmap SAR algorithms for forming radar images. It was carried out a simulation of SAR raw images, and after that with using Doppler Beam Sharpening and Range Doppler algorithms are formed radar images of generated scene. In order to have come to the fore main features and deficiencies of those algorithms in the program MATLAB targets were generated symmetrically at equal values of ranges and azimuth. It was explained the phenomenon of range variation in SAR, as well as defects that occur in the formation of radar images. It was analysed the influence of the variation in range of the Doppler Beam Sharpening (DBS) and the Range Doppler (RD) algorithms. It was defined conditions which should be met to forming radar image would have not certain degradation. There were explained and applied adaptation of mentioned algorithms for the formation of radar images in scenarios when it comes to exceeding the above conditions. At the end it was made comparison of images obtained by adapting algorithms, and originally formed with the radar images.

Adaptation stripmap SAR algorithms for the forming of radar images

Goran Antonijević, Slobodan Simić and Dimitrije Bujaković